



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

MALÁ FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA

SMALL SCALE PHOTOVOLTAIC POWER PLANT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Hamerský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	Tomáš Hamerský
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce:	doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Malá fotovoltaická elektrárna

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní práce bude hodnocení energetické bilance rodinného domu využívajícího tepelné čerpadlo a malý fotovoltaický systém. V průběhu zpracování práce bude pozornost věnována zpracování přehledu spotřebičů a jejich příkonu. Navržena bude fotovoltaická elektrárna pro krytí potřeb hodnoceného RD. Dále budou hledány vhodné varianty řízení a stanovení priorit zásobování vybraných spotřebičů. Jednotlivé varianty budou posouzeny po stránce technické a ekonomické.

Cíle bakalářské práce:

1. Zpracovat podrobný přehled spotřeby energií zvoleného RD s tepelným čerpadlem.
2. Provést návrh fotovoltaické elektrárny pro zvolený objekt.
3. Zhodnotit možné varianty řešení systému s ohledem na využití akumulace, prodeje přebytků el. energie, řízení priorit odběru.
4. Pro jednotlivé hodnocené varianty zpracovat technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam literatury:

KAŇOVSKÝ, Jiří. 2015. Energetické systémy v moderní výstavbě: Zborník příspěvků z 2. mezinárodní vědecké konference Obnovitelné zdroje energie 2011. 1. TU Bratislava, SK: Slovak University of Technology in Bratislava. ISBN 978-80-89402-39-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Obsahem této bakalářské práce je návrh malé fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům využívající tepelné čerpadlo. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část dává základní pohled na jednotlivé koncepty spojené s fotovoltaickou elektrárnou, kde jsou stručně popsány jednotlivé pojmy a principy zařízení spojená s provozem. Praktická část je zaměřena na stanovení energetické bilance rodinného domu ve formě elektřiny a tepla, dále je zjištěno dopadající sluneční záření v lokaci objektu pro fixní a natáčecí systémy. Závěrem je stanovení možných variant fotovoltaického systému, za účelem zjištění optimální varianty.

Klíčová slova

Fotovoltaika, fotovoltaická elektrárna, akumulace, zvyšování účinnosti, spotřeba elektrické energie, spotřeba tepelné energie, výpočet slunečního záření, doba návratnosti

Abstract

The content of this bachelor thesis is the design of a small photovoltaic power plant for family house using a heat pump. The thesis is divided into the theoretical and practical part. The theoretical part provides a basic view of individual concepts connected with the photovoltaic power plant, where the individual concepts and principles of each device combined with operation are briefly described. The practical part is focused on determination of the energy balance for family house in the form of electricity and heat, as well as the incident solar radiation in the location of the object for fixed and positioning systems. In a conclusion, there is a determination of the individual variants of the photovoltaic system in order to determine the optimal variant.

Keywords

Photovoltaics, photovoltaic power plant, accumulation, increase efficiency, electricity consumption, heat energy consumption, calculation of solar irradiation, payback period

Bibliografická citace

HAMERSKÝ, T. *Malá fotovoltaická elektrárna*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 104 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Malá fotovoltaická elektrárna* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu literatury.

V Brně dne 26. 5. 2017

.....

Poděkování

Tímto chci poděkovat doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které byli nápomocné při psaní této bakalářské práce. Vděčnost patří i mé rodině, za podporu při studiu.

Obsah

1	Úvod	16
2	Slunce – energetický zdroj	17
2.1	Fúze probíhající ve Slunci	18
2.2	Probíhající reakce.....	18
2.3	Výpočet sluneční konstanty	19
2.4	Dopadající záření na Zemi.....	20
2.5	Dopadající záření na Českou republiku.....	21
3	Fotovoltaika	22
3.2	Stručná historie fotovoltaiky.....	23
3.3	Výroba a čištění křemíku	24
3.4	Výroba monokrystalického křemíku.....	24
3.5	Funkce FV článku.....	25
3.6	Konstrukce FV článku.....	26
3.7	Konstrukce FV panelu	27
3.8	Maximální FV výkon na VA charakteristice.....	28
3.9	Maximální možná účinnost FV přeměny.....	28
4	Teoretický návrh fotovoltaické elektrárny.....	29
4.1	Bezpečnost FV systému.....	30
4.2	Technické řešení FVE	32
4.3	Zapojení FV systémů.....	33
4.4	Legislativa.....	34
5	Pohled na jednotlivá zařízení FV systému.....	37
5.1	Fotovoltaické panely.....	37
5.2	Regulátor napětí	38
5.3	Inventor.....	39
5.4	Akumulátory.....	39
5.5	Alternativní možnosti využití elektrické energie	42
6	Možnosti zvyšování účinnosti FVE.....	45
6.2	Koncentrační prvky	46
6.3	Sledovače Slunce.....	48
6.4	Minimalizace vznikajících ztrát	49

7	Přehled spotřeby energií v RD	53
7.1	Přehled spotřeb elektrické energie	53
7.2	Přehled spotřeb tepelné energie	59
8	Dopad slunečního záření v lokaci RD.....	63
8.1	Přímé sluneční záření	63
8.2	Difúzní sluneční záření	66
8.3	Výkon dopadající na osluněnou plochu	67
9	Návrh a zhodnocení jednotlivých variant FVE.....	74
9.1	Základní koncepční výpočty FVE	74
9.2	Ukázkový výpočet pro 3. variantu.....	74
9.3	Varianta 1	78
9.4	Varianta 2.....	82
9.5	Varianta 3.....	87
9.6	Zhodnocení jednotlivých variant.....	92
10	Závěr	93
	Použité zdroje	94
	Seznam jednotek a symbolů	100
	Seznam zkratk.....	104

1 Úvod

V dnešní době je požadováno, aby v celkovém energetickém mixu byl určitý podíl OZE. Fotovoltaika je zdroj obnovitelný, a díky technologickému pokroku bude i nadále tento zdroj narůstat. Vzhledem k tomu, že se budoucí alternativní energetika bude vyvíjet formou decentralizace a tvoření soběstačných (hybridních) systémů, pak je výroba elektrické energie právě pomocí FV systému jednou z dostupně výhodných možností. V současné době se cena $1 W_p$ instalovaného výkonu FV panelů pohybuje kolem 20 až 25 Kč [11].

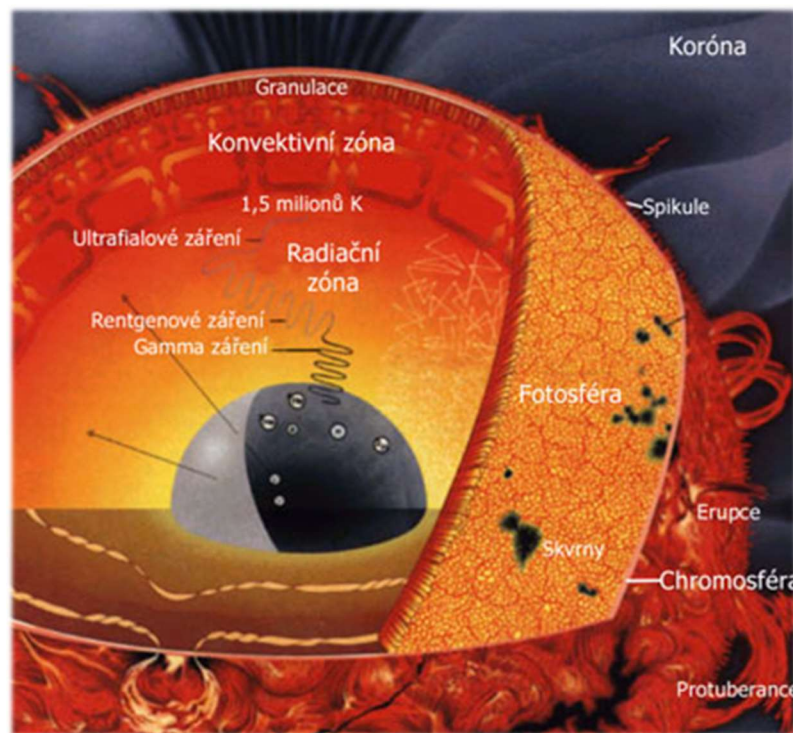
V rešeršní části je zmíněné Slunce jako alternativní zdroj obnovitelné energie. Dále jsou zahrnuty základní fotovoltaické principy, představení a pohled na jednotlivé komponenty FV systému. V kapitole zabývající se teoretickým návrhem FVE je zmíněno zapojení, bezpečnost a rovněž legislativa s možností dotační podpory. Možností, jak dosáhnout vyšších energetických zisků, je stručně věnována kapitola zabývající se možnostmi zvyšování účinnosti FVE, resp. snižování ztrát stíněním, teplotou, DC rozvodech atp.

Praktická část je rozdělena na tři hlavní kapitoly. První kapitola je zaměřena na určení spotřeb energií v RD, který již využívá TČ. Cílem je zde zjistit spotřebu elektrické energie v jednotlivých měsících za účelem optimálního návrhu instalovaného výkonu FV systému. Rovněž je určeno potřebné množství tepelného, resp. chladícího výkonu, který je potřeba dodávat do objektu k udržení požadované průměrné vnitřní teploty. Druhá kapitola posuzuje celkové dopadající záření a dopadající výkon na m^2 plochy v lokaci RD pro fixní konstrukci, vertikální natáčení, kde dochází ke sledování azimutu Slunce za stálého sklonu α , a natáčení ve dvou osách, kde dopadající záření dopadá kolmo na ozářenou plochu. Ve třetí kapitole je následně zvolen energetický systém ve formě 3 možných variant, kde je u každé varianty posuzováno technicko-ekonomické zhodnocení, řízení priorit odběru a doba návratnosti investic.

2 Slunce – energetický zdroj

Sluneční záření lze považovat za nejdostupnější a nejčistší zdroj energie, který současně pozitivně ovlivňuje život a existenci na Zemi. Historie pro přímé využití energie záření je relativně krátká, o to větší rozvoj v současnosti prožívá zejména díky faktu, že se jedná o obnovitelný zdroj energie. [1]

Sluneční energie je rovněž zodpovědná za vznik dnes používaných technologií pro výrobu právě z OZE na Zemi vyjma geotermální energie, která vzniká v zemském jádře. Například větrná energie vzniká především vlivem nerovnoměrných teplot, rozdílem tlaků a rotací Země. Koloběh vody v přírodě je způsobován odpařováním hladin oceánů, kde na pevnině vzhledem k větším teplotám může docházet ke kondenzaci vodních par. V neposlední řadě mohla vzniknout biomasa, která se postupem času přeměnila na dnešní fosilní paliva např. uhlí, ropu či zemní plyn.



Obrázek 1 – Pohled na průřez a jednotlivé vrstvy Slunce [1]

Slunce je koule žhavého plazmatu, která neustále produkuje ohromné množství energie. Jeho výkon je zhruba $4 \cdot 10^{26}$ W, z čehož na Zemi dopadá pouze 45 miliardtin. Stárí se odhaduje na 4,6 miliard let, což ho řadí mezi hvězdy středního věku v přirozené posloupnosti. Předpokládá se, že bude svítit ještě nejméně po stejně dlouhou dobu. Slunce nemá homogenní složení, avšak chemické složení je závislé na hloubce.

Pokud bychom chtěli složení Slunce vyjádřit v hmotnostních poměrech, tak můžeme říci, že je složeno přibližně ze 75 % vodíku a 25 % helia. Celkově vzniklá energie se skládá ze tří částí, kde k největšímu uvolnění energie dochází v jádře slunce kde probíhá termojaderná fúze. Další množství energie vzniká na povrchu v oblasti koróny ve formě elektromagnetického záření. Poslední část energie je zastoupena ve slunečním větru, kde dochází k emitaci protonů, α částic a elektronů. [1], [2]

Tabulka 1 – Hlavní parametry slunce [3]

Vybrané parametry Slunce		
Hmotnost	$1,989 \cdot 10^{30}$	kg
Poloměr	696010	km
Teplota povrchu	5780	K
Teplota jádra	$15 \cdot 10^6$	K
Tlak v jádru	$1,7 \cdot 10^{15}$	Pa
Sluneční konstanta I_0 (proměnlivá $\pm 1\%$)	1360	$W \cdot m^{-2}$
Intenzita záření z $1 m^2$ povrchu Slunce	$6,328 \cdot 10^7$	$W \cdot m^{-2}$
Střední vzdálenost Slunce od Země = Astronomická jednotka (AU)	$149,6 \cdot 10^6$	km

2.1 Fúze probíhající ve Slunci

Světlo ze Slunce pochází z fúzního procesu, který se děje v jádře Slunce. Každou sekundu se tam sloučí $600 \cdot 10^6$ tun vodíku¹, který je reakcí převeden na helium, tím se hmotnost sníží o $4 \cdot 10^6$ tun, poté si lze představit obrovský výkon. Spalování vodíku probíhá na Slunci již od samotného vzniku a výpočty ukazují, že zásoby ještě postačí na cca 5 až 7 miliard let. Vyčerpáním vodíku jako paliva se však jádro, které je tvořeno převážně heliem, začne ochlazovat a Slunce se začne hroutit působením své vlastní gravitace. To opět povede k růstu teploty jádra, která způsobí expanzi vnějšího obalu a Slunce se dostane do stádia hvězdy, kterému astronomové říkají červený obr. Po této události již život na Zemi nebude možný. [2]

2.2 Probíhající reakce

Energie uvolněná na Slunci odpovídá přeměně čtyř protonů na jádro helia, při čemž probíhá tzv. protonová reakce, kde se nejprve spojí dva protony $^1H + ^1H$ na jádro těžkého izotopu vodíku známého jako deuterium 2H , a zároveň pozitron e^+ a neutrino ν . Pozitron velmi rychle potká volný elektron e^- a obě částice anihilují za vzniku záření gama γ . Tyto události probíhají velmi zřídka, a to pouze v jedné z 10^{26} proton-protonových srážek, kdy se vytvoří 2H . Četnost reakce je ovlivněna počtem protonů. Jakmile ale deuterium vznikne, rychle se srazí s jiným protonem a vytvoří lehký izotop helia známý jako 3He . V konečné fázi se dvě jádra 3He mohou v určité době setkat a vytvořit alfa částici 4He a dva protony. [4]

¹ Vodík (H), je nejrozšířenější a nejjednodušší prvek, tvořící většinu hmoty ve vesmíru. Přibližně 99 % vodíku se vyrábí z fosilních paliv, především zemního plynu. Dále se vyskytuje v blízkosti sopek nebo jej můžeme získat elektrolýzou z vody. [48]

V současné době je vodík nejčastěji používán jako surovina při chemické výrobě čpavku a ropné rafinaci. Celosvětová roční produkce vodíku je přibližně 50 milionů tun. [48]

Kapitola 5.5.3. popisuje tzv. akumulaci elektrické energie do vodíku, a následnému využívání v palivových článcích, tak, že výsledné produkty jsou pouze teplo a voda pak lze říci, že vodík je ekologicky nezávadným palivem.

2.3 Výpočet sluneční konstanty

Vezmeme-li Slunce jako dokonalou kouli, potom se záření z této kulové plochy šíří všemi směry stejně, a tím jej rozptyluje do prostoru. Chceme-li vyčíslit jaká intenzita záření dopadá na vnější obal atmosféry Země, můžeme tak učinit se zjednodušením, kdy se zanedbá především eliptický pohyb Země okolo Slunce a samotná velikost Země včetně atmosféry. Za těchto podmínek lze použít energetickou bilanci vycházející z celkové energie vyzařené povrchem Slunce $W_{b(\text{Slunce})}$, která se musí rovnat energii, jež musí projít kulovou plochou o poloměru r_{AU} odpovídající vzdálenosti Země od Slunce. Tímto postupem dále můžeme stanovit dopadající záření pro jakoukoliv jinou planetu. [5]

Vyzařovanou energii, rovněž označovanou jako zářivý výkon odcházející z povrchu Slunce lze vyjádřit jako plochu Slunce vynásobenou celkovou intenzitou záření vypočtenou ve vztahu (2) [6]. Poloměr Slunce a velikost astronomické jednotky se nachází v tabulce 1.

$$\frac{\pi \cdot r_{\text{Slunce}}^2}{4} \cdot W_{b(\text{Slunce})} = \frac{\pi \cdot r_{AU}^2}{4} \cdot W_{b(AU)} \quad (1)$$

Rovnice popisuje energetickou bilanci zachování energií, kde ze Slunce odchází záření, které následně prochází vakuem a poté dopadá na povrch atmosféry Země

Po upravení rovnice a vyjádření výsledného přijímaného výkonu (intenzity záření) na kulové ploše dostaneme:

$$W_{b(AU)} = \frac{r_{\text{Slunce}}^2}{r_{AU}^2} \cdot W_{b(\text{Slunce})} = \frac{696010^2 [m]}{(149,6 \cdot 10^6)^2 [m]} \cdot W_{b(\text{Slunce})} \cong 2,165 \cdot 10^{-5} \cdot W_{b(\text{Slunce})} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (2)$$

Pro určení intenzity záření z povrchu Slunce potřebujeme aplikovat Stefan-Boltzmannův zákon viz rovnice (3), který popisuje výsledný vyzařovaný výkon černého tělesa. V tomto vztahu je zahrnuta sumární hodnota intenzity záření při zachování energie všech fotonů. Ke zjištění Stefan-Boltzmannova vztahu se používá Planckův zákon.

$$W_b = \int_0^\infty W_\lambda \cdot d\lambda = \sigma \cdot T^4 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (3)$$

Stefan-Boltzmannův zákon pro zjištění záření od dokonale černého tělesa

Po dosazení do rovnice (3) dostáváme:

$$\begin{aligned} W_{b(\text{Slunce})} &= \sigma \cdot T^4 = 5,6696 \cdot 10^{-8} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}] \cdot 5780^4 [K] = 6,328 \cdot 10^7 W \cdot m^{-2} \\ &\cong 63 \quad [MW \cdot m^{-2}] \end{aligned} \quad (4)$$

Výsledek říká, že z 1 m² povrchu Slunce, bude vyzařeno cca 63 MW · m⁻² zářivé energie

Použijeme-li číselného výsledku z výpočtu (4), který dosadíme do rovnice (2), pak bude výsledný přijímaný výkon $W_{b(AU)}$ na 1 m² kulové plochy roven sluneční konstantě I_0 dopadající na povrch atmosféry Země. *Poznámka:* sluneční konstanta na Marsu je 586,2 W · m⁻².

$$W_{b(AU)} = 2,165 \cdot 10^{-5} [-] \cdot 6,328 \cdot 10^7 [W \cdot m^{-2}] = 1370,012 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (5)$$

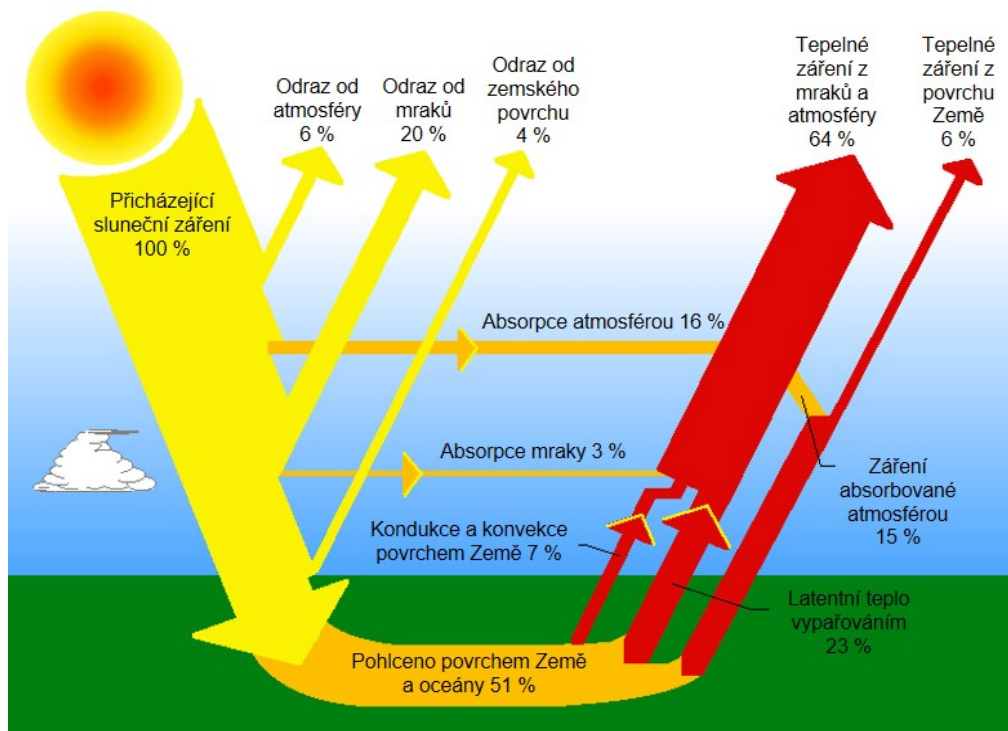
2.4 Dopadající záření na Zemi

Záření ze Slunce lze využívat přímou přeměnou, kde přímo získáváme elektrickou energii, nebo nepřímou přeměnou, kde je snaha záření přeměnit na teplo, které bude konat práci a práce poté generovat elektrickou energii – klasický případ je zde solární věžová nebo žlabová elektrárna.

Intenzita dopadajícího záření na povrch Země, tj. na plochu pod vrstvou atmosféry je ovlivněna znečištěním atmosféry, nadmořskou výškou (sloupec atmosféry), azimutem, sklonem panelu a poměrnou dobou slunečního svitu. Jinými slovy lze říci, že na povrchu Země je intenzita přímého slunečního záření na plochu kolmou ke směru paprsků I_{Pn} menší, než je na povrchu atmosféry I_0 . Část rozptýleného záření v atmosféře poté dopadá na povrch Země jako difúzní záření I_D . [7]

To napomáhá faktu známému jako skleníkový jev, u kterého dochází k ohřívání povrchu planety Země a vytváření tedy vhodných podmínek pro život. Krátkovlnné tepelné záření může proniknout k povrchu a poskytovat OZE. Naopak dlouhovlnné záření není dostatečně schopné opouštět atmosféru, jelikož je pohlcováno tří a více atomovými molekulami vyskytujícími se v atmosféře např. H_2O – vodní páry, O_3 – ozon, CO_2 – oxid uhličitý, CFC – halogenderiváty uhlovodíků, CH_4 – methan atd.

Maximální střední intenzita, která dopadne na povrch Země je kolem $1 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. Avšak z geografického hlediska můžeme říci, že nejvíce solární energie dopadne v pouštních oblastech např. Arizona, Kalifornie (USA), Sahara (Afrika), Tibet atd. Za jeden průměrný den v takových oblastech může dopadnout mezi 4 až $6 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ sluneční energie. Z celkového slunečního záření dopadne na pevninu cca 15 %.



Obrázek 2 – Bilance dopadajícího záření na Zemi [8]. Zjednodušeně lze konstatovat, že dle zákona zachování energie 100 % přijde ze Slunce a 100 % poté odejde ze Země ve formě vyprodukovaného záření.

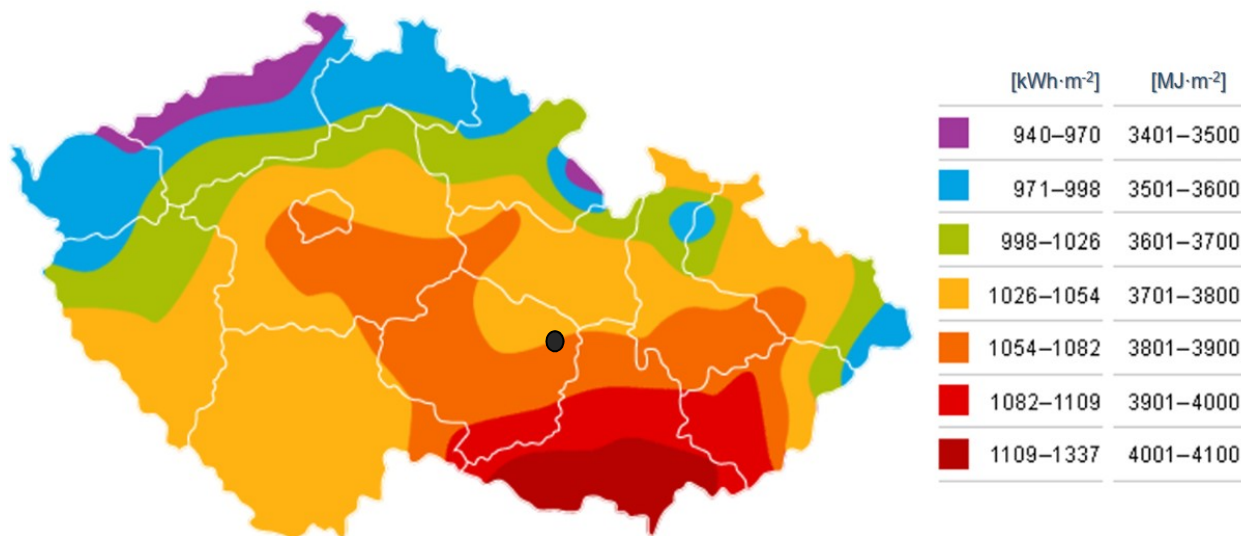
2.5 Dopadající záření na Českou republiku

Podmínky pro využívání energie záření jsou na území České republiky poměrně dobré i když zde nepanují takové podmínky jako v pouštních či rovníkových oblastech. Průměrná nadmořská výška celého území ČR je 300 m n.m. Teoretická doba slunečního svitu je až 1700 hodin za rok, naopak skutečná doba slunečního svitu se pohybuje okolo 1050 h za rok [9]. Vhodnost lokality pro nejefektivnější využívání vystihuje mapa globálního slunečního záření viz *obrázek 3*.

V podmínkách ČR může za jeden letní slunečný den dopadnout $6 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$. Pokud nesvítí a je zataženo tak je možné, že může dopadnout i méně než $1 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ sluneční energie. Za jeden rok lze říci, že hodnota dopadu záření bude v rozmezí 950 až $1340 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ z čehož největší část cca 75 % je v letním období.

Údaje o dopadeném záření jsou důležité pro předběžné výpočty budoucí energetické bilance fotovoltaického systému, a tedy i návratnosti investice. [10] Například, máme-li 5 FV panelů s instalovaným výkonem 1 kW_p a běžnou účinností kolem 15 % o celkové ploše 8 m^2 poté může být roční zisk cca 1,1 MWh elektrického výkonu.

Nicméně chceme-li zjistit kolik $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ dopadne za den nebo měsíc pro konkrétní oblast viz *kapitola 8*, pak na základě vyrobené elektrické energie můžeme určit reálnou dobu návratnosti, kde se touto problematikou zabývá *kapitola 9*.



Obrázek 3 – Mapa slunečního svitu pro Českou republiku [10], kde černý puntík značí umístění FV panelů na rodinný dům. Dopad záření dle tabulky v pravé části obrázku je přibližně $1050 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ ročně.

3 Fotovoltaika

Přímá přeměna slunečního záření za účelem výroby stejnosměrného elektrického proudu, kde se využívá fotoelektrického jevu na velkoplošných polovodičových fotodiodách – FV článcích, které jsou spojovány do celků – FV panelů.

3.1.1.1 Výhody

Rozvíjející se oblast pro využívání čistého zdroje elektřiny, kde se pořizovací náklady vlivem nových technologií snižují a účinnost roste.

Zde můžeme do jisté míry hovořit o úspoře primárních fosilních paliv, kde neprodukujeme žádné emise, pokud nebudeme brát v potaz samotné čištění křemíku a následnou výrobu FV článku.

Fotovoltaika může fungovat na těžko přístupných místech jako jsou např. ostrovy, hory, pouštní oblasti nebo vesmír (to jsou rovněž místa s vyšším dopadem slunečního záření). Mohou se jimi pokrýt fasády či střechy domů, stožáry, stany atd.

Pro soběstačnost objektu je nutné zapojení s akumulátory, které se za slunného počasí nabíjejí a objekt je pak schopný fungovat i když nedopadá žádné sluneční záření.

Je zde možnost navyšování výkonu pomocí koncentračních prvků, které mohou navýšit výnosnost až o 107 % viz *kapitola 6*.

Jedná se o OZE, který je dotován formou dotací, a při výrobě či vlastní spotřebě je možné získávání tzv. zelených bonusů či výkupních cen viz *kapitola 4.4*.

Snadná a rychlá doba plánování a instalace. Není zde kladen nárok na obsluhu.

3.1.1.2 Nevýhody

Nevýhodou jsou stále vysoké investiční náklady celého FV systému, pokud by tedy FV systémy nebyly podporované, nebyly by ani ekonomicky výhodné.

FVE jako takové mohou způsobit tzv. blackout (rozsáhlý výpadek elektřiny) z důvodu možného významného přetoku elektřiny do elektrizační rozvodné sítě ČR, např. vlivem nestálostí počasí (to stejné platí i pro větrné elektrárny).

Poplatek za každou protočenou kilowatthodinu elektrické energie na podporu OZE, ve výši 0,495 Kč·kWh⁻¹.

Od roku 2013 je zaveden tzv. recyklační poplatek, který je povinen platit každý provozovatel FVE viz *kapitola 4.4.4*.

Výnosnost je pro každou oblast jiná, především ale závisí na počasí, ročním období, stavu povrchu panelů atp.

Samotná výroba FV článku je ekonomicky, energeticky a časově náročná. Energetickou návratnost stručně popisuje *kapitola 3.7.1*.

V průběhu let se např. u polykrystalických či amorfních panelů může ztratit cca 0,3 % na účinnosti. Pro podmínky, kde panují vyšší teploty bez pohybu větru je zde možná degradace elektrických vlastností na FV článku, které se projeví rovněž na poklesu účinnosti cca 0,5 %. [1]

Zaručená účinnost panelů se nejčastěji uvádí na 25 až 30 let, poté dojde ke snížení výkonu cca o 20 %, avšak samotná životnost panelů se odhaduje až na 50 let.

Současné akumulátory (olověné) jsou stavěné na dobu provozu do 10 let. Po této době je nutná výměna akumulátoru za nové – zpětné investiční náklady.

3.2 Stručná historie fotovoltaiky

Historie fotovoltaiky začíná objevením fotoelektrického jevu, který prezentoval Alexandre Edmond Becquerel francouzské Akademii věd na jejím zasedání v pondělí 29. července 1839. [12]

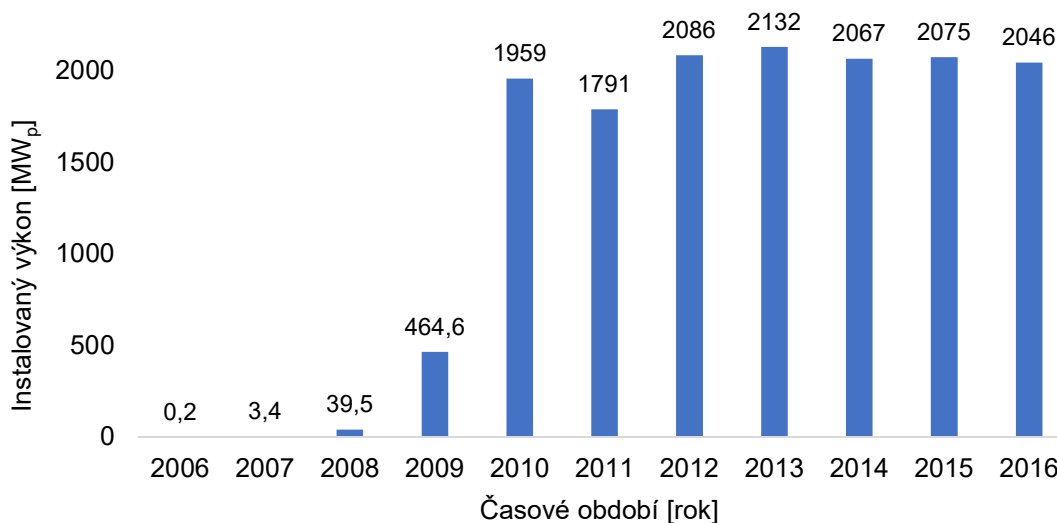
Fyzikální princip fotoelektrického jevu teoreticky popsal Albert Einstein ve své práci roku 1905, kde na elektromagnetické pole aplikoval kvantovou teorii, popsanou Maxem Planckem. Einstein za tuto práci obdržel Nobelovu cenu v roce 1921. [12]

Russell Shoemaker Ohl roku 1940 náhodně vyrobil PN přechod na bázi křemíku, účinnost se pohybovala kolem 1 %. Objev si nechal patentovat. [13]

Jako zdroj elektřiny se začaly fotovoltaické články používat od roku 1958 na kosmických družicích. Pro představu celkový výkon FV panelů na Mezinárodní kosmické stanici (ISS) je 110 kW_p. [14]

Skutečného rozšíření se však fotovoltaika dočkala teprve se zavedením různých systémů podpory. Prvním byl dotační program v Japonsku následovaný systémem výkupních cen v Německu. Obdobné systémy byly následně zavedeny v řadě dalších zemí. [12]

K největšímu rozvoji fotovoltaických systému v České republice dochází na přelomu roku 2010, kde dochází k tzv. solárnímu boomu zobrazeném v *grafu 1* s tím, že všechny elektrárny takto postavené mají zaručeny zvýhodněné výkupní ceny elektřiny a to 15 Kč·kWh⁻¹ po dobu 20 let [15]. Současné výkupní ceny jsou zmíněné v *kapitole 4.4.2*. Z celkového energetického mixu České republiky tvoří FV systémy cca 10 %.



Graf 1 – Zobrazení průběhu ročního instalovaného výkonu FVE v ČR [16]

3.3 Výroba a čištění křemíku

V současné době jsou nejvíce využívány FV panely na bázi křemíku², který je schopný využívat dopadající záření o vlnové délce 0,2 až 1,2 μm (největší citlivosti je dosaženo u vlnové délky cca 0,9 μm [17]). Křemík získaný z přírodních zdrojů se musí chemicky upravit, to se děje redukcí uhlíkem v obloukové peci za teplot okolo 2000 °C. Zjednodušeně tuto reakci popisuje *rovnice (6)*, která říká, že pro vyrobení čistého křemíku bude vlivem chemických procesů rovněž uvolněno určité množství CO₂.



Cílem je získat téměř čistý křemík, kde bude podíl nečistot řádově v ppm pro výrobu FV článku. Pro integrované obvody je obsah nečistot požadován v ppb. Jednou z nejvíce používaných technologií čištění je chlórový cyklus. Dosažená čistota se posléze ověřuje měřením rezistivity, kde nižší rezistivita, než je očekávaná, znamená přítomnost příměsí, a tedy nižší čistotu křemíku. Po dokončení procesu čištění obvykle vzniknou hrudky čistého křemíku, které se ukládají do polotovaru a jsou dále posílány do procesu k dalším úpravám, kde bude docházet k vytváření námi požadovaných struktur křemíku. [18]

3.4 Výroba monokrystalického křemíku

Výroba monokrystalického křemíku probíhá tzv. Czochralskiho metodou, kde se do taveniny o teplotě 1415 °C umístí monokrystal pro vyvolání tvorby nukleace zárodků, který je umístěný na tyči. Následně dochází k pomalému tažení kelímku z taveniny (jednotky milimetrů za hodinu) a současně dochází k otáčení tyče proti směru otáčení kelímku. Vše se děje za sníženého tlaku v inertní atmosféře (většinou argonové), současně je tavenina udržována při dané teplotě systémem ohřevů. Pro vizualizaci je zde *obrázek 4*.

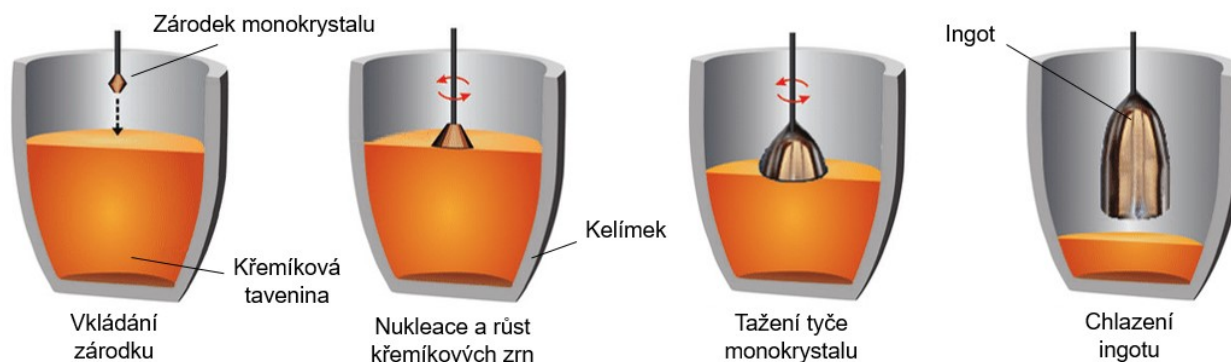
U tažení se musí brát v potaz, že hranice křemíkových krystalů spolu se vzniklými poruchami v mřížce tvoří pro elektrony tzv. potenciálové bariéry. Přítomnost těchto bariér je vhodné minimalizovat dodržováním striktních postupů při výrobě, a kladením důrazu na to, aby se nukleace tvorby zrn šířila do všech stran rovnoměrně. [18]

Tímto způsobem je poté vytáhnutá tyč o délce 1 m a průměru 0,1 až 0,45 m (záleží na výběru průměru kelímku). Takto vzniklý monokrystalický křemík se nazývá ingot. Následně dochází k odřezání konců, které se vrací ke zpětnému využití. Ingot se poté příčně řeže na destičky, nejčastěji rozměru čtverce 154 mm se skosenými rohy o tloušťce blízké se 100 μm. [19], [20]

Poté dochází k lapování, aby se ucelila plocha znehodnocená řezáním a dotování trojmocným nebo pětímocným prvkem – bude popsáno dále.

Výroba polykrystalického křemíku je jednodušší a časově úspornější co se týče výroby, vzhledem k tomu, že nukleace zárodku může začít z více stran a orientace křemíkových krystalů může nabývat do více směrů. [18]

² Křemík (Si) je jedním z nejvíce rozšířenějších prvků v zemské kůře. Slouží především pro výrobu skla, keramických a stavebních materiálů. Vzhledem k pásovým strukturám má vlastnosti polovodiče, s příměsí jiného prvku nastává děrová (elektronová) vodivost a snížení eklektického odporu, to má za následek využívání jako hlavního materiálu pro FV panely a elektronické součástky [68]



Obrázek 4 – Znázornění jednotlivých fází výroby monokrystalického křemíku [21]

3.4.1 Vodivost typu N

Lapovanou destičku křemíku vložíme do trouby s plynem obsahujícím fosfor (P). Za teplot 800 °C proběhne difuze fosforu do povrchové vrstvy plátků polovodiče. [18]

Křemík typu N je negativní, vzhledem k tomu, že přidáváme pětimocný fosfor do čtyřmocného křemíku. V polovodiči jsou pak navíc volné elektrony, které mají záporný náboj, proto tedy vodivost negativní – vodivost elektronová. Pětimocné prvky se označují jako donory (dárce). [20]

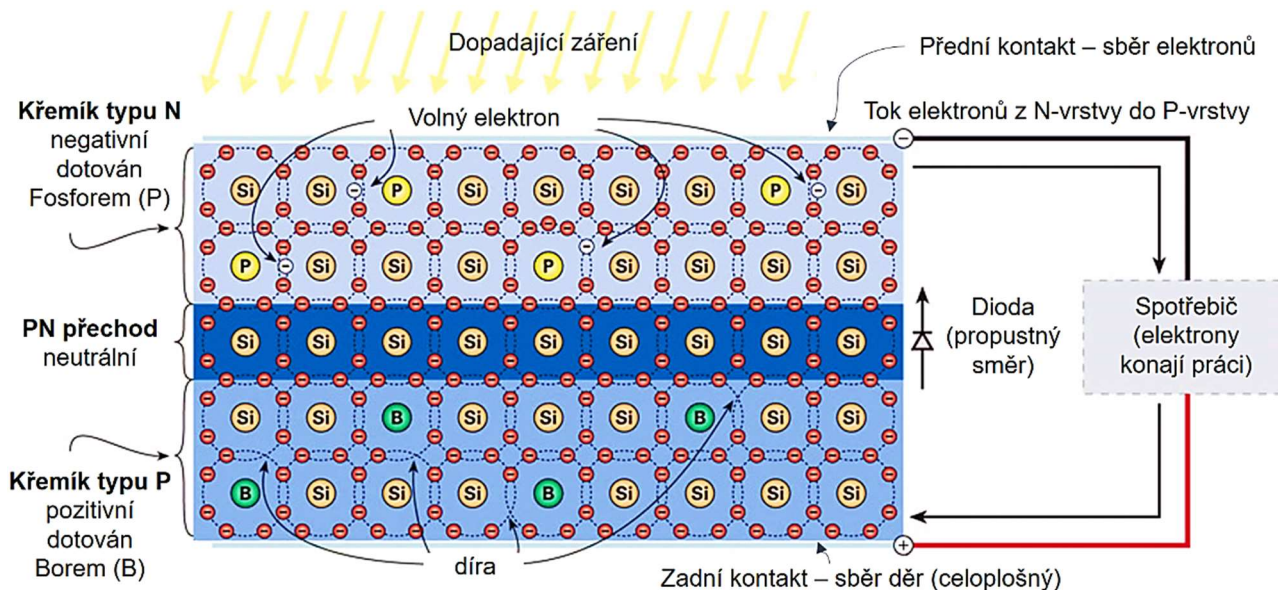
3.4.2 Vodivost typu P

Křemík typu P je pozitivní, jelikož se do čtyřmocného křemíku přidává trojmocný prvek, např. bor, poté mohou v polovodiči vznikat díry – vodivost děrová, která je způsobená fiktivní částicí s kladným elementárním nábojem (částice s chybějícím elektronem). Trojmocné prvky se označují jako akceptory (příjemci). [20]

3.5 Funkce FV článku

Funkce článku bude vysvětlena pro křemíkový krystalický solární článek, který je v dnešní době nejpoužívanější. Dopadem fotonu na FV článek se vytvoří pár pohyblivých nábojů elektron-díra. Hustota proudu je tvořena těmito nosiči. Aby FV článek mohl fungovat jako zdroj elektrického proudu, musí dojít k separaci elektronů od děr. Pokud se tak nestane a zrekombinují dříve, než dosáhnou oblasti PN přechodu, neuplatní se při generaci napětí. Nosiče, generované mimo tuto oblast musí k oblasti se silnějším elektrickým polem difundovat [1]. Náboje se pohybují ve směru k elektrodě se stejnou polaritou – elektron k záporné N a díra ke kladné P viz *obrázek 5*.

Nerovnoměrnost rozdělení nosičů náboje posléze vytváří elektrický potenciál cca 0,5 V, čímž vzniká elektrické pole. Připojí-li se na elektrody článku elektrický obvod se spotřebičem, začnou elektrony procházet vodičem z N vrstvy do vrstvy P, elektrický obvod je uzavřen a článek plní funkci stejnosměrného zdroje elektřiny, poté hovoříme o tzv. vlastní vodivosti. [15], [20]



Obrázek 5 – Pohled na průřez křemíkového článku v propustném směru se spotřebičem [22]

3.6 Konstrukce FV článku

Přední kontakt (-) bývá vytvořen ve tvaru mřížky či hřebínku tak, aby zakrýval co nejmenší část plochy, celkem zabírá cca 3 až 6 % plochy článku. Zadní kontakt (+) bývá u standardních panelů celoplošný, aby mohl lépe absorbovat díry. Kontakty se na článek nanášejí sítotiskem nebo vakuovými napařováním.

Pro speciální články určené například pro systémy s velkou koncentrací záření se dělají kontakty vnořené do materiálu polovodiče. Tak se zvětší plocha styku mezi kontaktem a polovodičem, a tím i průřez kontaktu kvůli větším proudovým hustotám, které článkem protékají. [18]

Na přední straně FV článku bývá vytvořena transparentní antireflexní úprava povrchu kvůli minimalizaci odrazu, aby se využilo maximum dopadajícího záření. Tloušťka této vrstvy se pohybuje řádově v nanometrech. Články s nejvyšší účinností se tedy jeví jako černé, nicméně je zde možný výběr i barevného odstínu [18]. Vybrané druhy článku používaných pro FV panely s jejich hlavními vlastnostmi se nacházejí v kapitole 5.1.

Například klasický monokrystalický článek o rozměru 156 mm je schopný za podmínek STC³ dodávat výkon kolem 4 W_p viz rovnice (7), při určitém výstupním DC napětí 0,5 V a proudu 8 A.

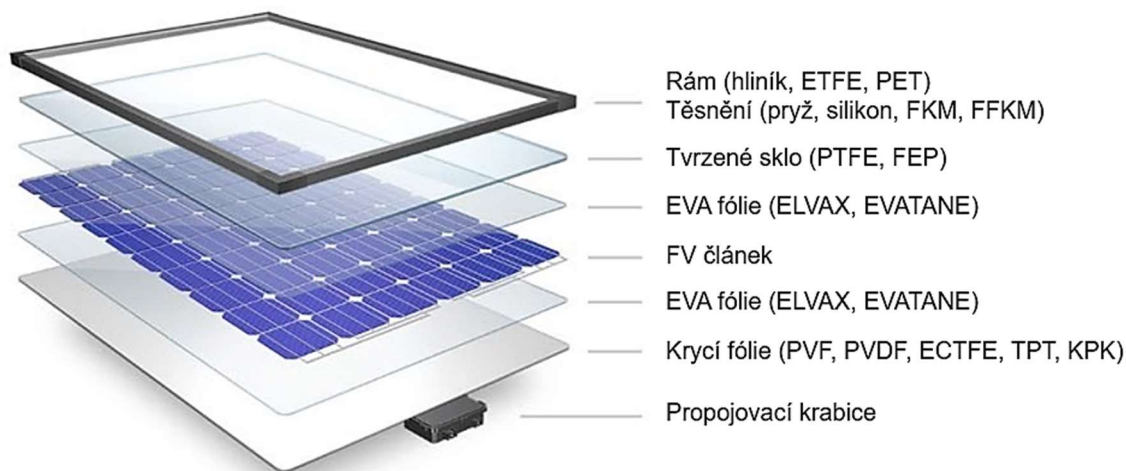
³ Za standardních testovacích podmínek (STC) jsou měřeny charakteristiky FV panelů a článků, při dané intenzitě záření rovné 1000 W·m⁻², které dopadá kolmo na ozářený FV panel, tím je stanoven jeho instalovaný výkon. Povrchová teplota panelu je 25 °C, spektrum záření je AM 1,5. [64]

3.7 Konstrukce FV panelu

Jak již bylo zmíněno, FV panel se skládá z jednotlivých článků. Abychom dosáhli potřebného napětí a proudu, zapojují se sluneční články sérioparalelně tak, že vznikne solární modul [23].

Články se zapojují do panelů o výkonech od 10 do 315 W_p , avšak pro klasickou aplikaci do FV panelů je instalovaný výkon v rozmezí 160 až 260 W_p což odpovídá propojení 60 FV článků [1]. Pro představu jeden FV panel o instalovaném výkonu 240 W_p má za ideálních podmínek hodnotu svorkového DC napětí 30 V při proudu 8 A.

Životnost panelu je podmíněná vystavenému prostředí a časové degradaci. Aby mohl fotovoltaický panel co nejdéle fungovat, tak jsou použity ochranné vrstvy zobrazené na *obrázku 6*. Jako hlavní požadavek je zabránění pronikání vlhkosti k PN přechodu, což řeší zapouzdřovací fólie typu EVA. Dále je kladen důraz na mechanickou odolnost proti přímému poškození např. vlivem počasí – padání kroupů, které zajišťuje tuhý rám a tvrzené sklo společně s vhodným uložením těsnění a krycí fólií. [24] Solární panely jsou odolné vůči kroupám do rozměru kolem 25 mm při rychlosti 23,1 $m \cdot s^{-1}$ a jsou schopny poskytovat výkon v určitém rozmezí teplot viz *kapitola 6.4.2.1*.



Obrázek 6 – Řešení konstrukce s možnostmi použití materiálu pro FV panel [25], [24]

3.7.1 Primární energetická návratnost

Metoda EPBT definuje dobu návratnosti energie nutné k výrobě FV panelu (ingot, článek, modul), který následně sám elektrickou energii vyrábí. Lze říci, že pro 1 kW_p instalovaného výkonu, kde se roční výnos pohybuje okolo 1,1 MWh se posléze energetická návratnost pohybuje kolem 4 až 6 let (u tenkovrstvých je možná návratnost do 1 roku z důvodu úspory materiálu). [26]

3.7.1.1 Recyklace FV panelu

FV panely lze recyklovat termicky nebo mechanicko-chemicky. U termické recyklace se nejprve demontuje rám, kabely atd. Dále se postupuje do pece, kde při teplotě přes 500 °C plastové části shoří, a zbylý materiál lze znovu použít k výrobě křemíku. Použitím recyklátu se sníží energetická náročnost výroby křemíku až o 70 %, kde je výtěžnost až 85 % polovodičových prvků. U mechanicko-chemické metody se panely rozdrtí. Vzniklá drť se dále chemicky upravuje, a tím dochází k separaci křemíku a kovů. [27]

3.8 Maximální FV výkon na VA charakteristice

Pokud bychom chtěli tento výkon znázornit na volt-ampérové (VA) charakteristice, pak by se vždy nacházel v tzv. bodu maximálního výkonu (MPP).

$$P_{MPP} = U_{mpp} \cdot I_{mpp} \quad [VA] \quad (7)$$

U_{MPP} – napětí při jmenovitém výkonu [V]

I_{MPP} – proud při jmenovitém výkonu [A]

3.9 Maximální možná účinnost FV přeměny

Maximální účinnost přeměny slunečního záření je dána vlastnostmi materiálu, ze kterého je FV článek vyroben. Materiál ovlivňuje jeho rozložení spektrální citlivosti, jelikož při dopadu záření FV článek využívá energii různých vlnových délek s různou účinností. Dále je do této účinnosti možné započítat poměr mezi maximálním výkonem a výkonem daným napětím naprázdno.

Z rovnice (8), vyplývá, že maximální účinnost, které lze dosáhnout je maximálně do 30 % (platí pro články na bázi křemíku). *Tabulka 5, v kapitole 5.1.* dává přehled o možných účinnostech vybraných druhů krystalického křemíku. [17]

$$\eta_{max} = \eta_r \cdot \eta_{cp} \cdot \eta_e \cdot FF = 0,7 \cdot 0,95 \cdot 0,42 \cdot FF = 0,279 \cdot FF \quad [-] \quad (8)$$

η_r – poměr výkonu odraženého záření k výkonu dopadajícímu – odrazivost křemíku je 0,3 [-], pak je tedy možná přeměna záření s účinností pouze 0,7 [-]

η_{cp} – Carnatova účinnost tepelného cyklu vychází z poměru teploty okolí k povrchové teplotě Slunce, pak je rovna 0,95 [-]

η_e – příspěvek k účinnosti vlivem nepřizpůsobení křemíku ke spektru slunečního záření 0,42 [-]

3.9.1 Činitel naplnění (FF)

Udává poměr mezi maximálním výkonem a výkonem daným napětím naprázdno a proudem nakrátko. Závisí na kvalitě pájených kontaktů, morfologii materiálu, odporu aktivní polovodičové vrstvy atd. V praxi se hodnota může pohybovat okolo 0,7 až 0,9. [17]

$$FF = \frac{P_{MPP}}{U_{OC} \cdot I_{SC}} = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{U_{OC} \cdot I_{SC}} = \eta_e \quad [-] \quad (9)$$

U_{OC} – napětí naprázdno resp. svorkové napětí bez připojené zátěže [V]

I_{SC} – proud nakrátko resp. fotoelektrický proud [A]

4 Teoretický návrh fotovoltaické elektrárny

Solární elektrárny se instalují po celém světě od malých výkonů – jednotky kW_p až po elektrárny s maximálními výkony⁴ – stovky MW_p. Vzniklý stejnosměrný elektrický proud lze použít ke transformaci na střídavý elektrický proud, napájení spotřebičů, dobíjení akumulátorů, akumulace energie do vodíku atd.

FV systémy mohou být konstruovány jako ostrovní nebo síťové. Ostrovní systémy nejsou napojeny na rozvodnou síť a zásobují jen malou oblast, někdy to může být i jeden spotřebič. Využívá se zde akumulace elektrické energie viz *kapitola 5.4.* k pozdějšímu využití. Naproti tomu síťové systémy jsou napojeny pomocí inventuru viz *kapitola 5.3.* na veřejnou distribuční síť.

Možné zvyšování účinnosti FV systému viz *kapitola 6* má za následek generování většího výkonu, a tím ovlivňování zisku.

Důležitým faktorem je správný výběr lokace pro maximalizaci výnosu. Se kterým souvisí zmapování prostoru, zda se nevyskytují nevýhodná zastíněná místa. Jelikož i částečné zastínění panelů má za následek citelné snížení energetických zisků.

Pro systémy instalované na volném prostranství je důležité správné dimenzování rozestupů mezi panely, jelikož když se Slunce nachází nízko nad obzorem, tak nastává pro tyto systémy vážný problém z důvodu vzájemného zastínění. [1]

Samozřejmě je zde i možnost využití tzv. předběžného návrhu FV systému zdarma, kde se firma o vše postará.

⁴ Největší FVE na světě se nachází v Číně o výkonu 850 MW_p při celkové rozloze 27 km² se na této ploše nachází cca 4 miliony FV panelů [70]. Celkový instalovaný výkon fotovoltaiky v Číně je 77,42 GW_p (ke konci roku 2016) [71].

Pro celou planetu je instalovaný výkon FVE 227 GW_p (ke konci roku 2015), což představuje cca 1,3 % z celého energetického mixu [72]. Pro rok 2016 se mluví o celkovém nárůstu instalovaného výkonu kolem 310 GW_p (36 % nárůst za rok) [73].

Na Zemi je cca 22 milionů km² pouští, např. Sahara, má rozlohu 7 milionů km². Lze říci, že jen z jedné desetiny Sahary by dnešní technikou bylo možné získat až 50 TW_p, což je cca 2krát více než lidstvo potřebuje. [73]

4.1 Bezpečnost FV systému

Základem je použití kvalitní elektroniky pracující bezchybně i při vyšších teplotách s dobrým systémem chlazení či pasivního odvětrávání, pokud je nutné.

Před samotným zapojením je důležitá kontrola správnosti zapojení a izolace kabeláže. Dále je třeba alespoň jednou ročně kontrolovat veškerý použitý FV systém pro eliminaci možných škod.

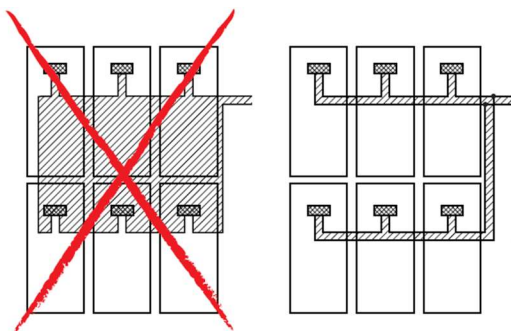
Dbát na správné dimenzování jednotlivých zařízení dle hodnot jmenovitého proudu a napětí vzhledem k instalovanému výkonu celého systému, to platí rovněž pro správnou volbu průřezu vodiče viz *tabulka 6*. Optimální volba nutných pojistek (proudové a teplotní – vratné/nevratné), aby mohli v případě potřeby včas zareagovat.

Jsou-li zapojeny panely v propustném směru s měničem pak nelze odpojovat akumulátory (měnič se může poškodit vyšším napětím otevřeného obvodu FV systému). Před odpojením baterií je třeba vypnout FV zdroj. To stejné platí i při instalaci FV zdroje, musí se připojit jako poslední. [28]

Vzhledem ke vznikajícím ztrátám na účinnosti systému, je třeba dávat pozor na teplotu, které jsou jednotlivé komponenty FV systému vystaveny.

Důraz na správné zapojení pólů jednotlivých komponentů. Obzvláště pro akumulátory platí, že nikdy nesmí dojít ke spojení pólů baterie s žádným vodivým materiálem. V případě spojení kontaktů dojde k okamžitému přivaření vodivého spoje velkým proudem, což vede k prudkému ohřátí baterie a následné destrukci. [28]

S ohledem na možnou indukci vysokého napětí se nesmí vytvářet z vodičů smyčky. *Obrázek 7* zobrazuje správné uspořádání propojovacích kabelů. Je třeba dále brát v potaz, že možné nečistoty v zásuvkách, špatně upevněné či povolené kontakty, vystavení vlhkému prostředí atd. mohou způsobit poškození, v extrémních případech i požár. [28]



Obrázek 7 – Zapojení propojovacích kabelů s ohledem na elektromagnetickou indukci [29]

4.1.1 Požární bezpečnost

Pokud nastane požár, tak nastává problém z toho důvodu, že u běžných systémů nelze vypnout DC vedení (mezi moduly a měničem). Pak se postupuje jako při zásahu pod napětím, což znamená použití práškové nebo CO₂ hasící směsi. V případě požáru střechy je teplota natolik vysoká, že FV moduly nemají již prakticky žádný výkon. [30]

Nicméně FV systémy lze hasit i vodou při dodržení nutných zásad dle normy o pravidlech hašení pod napětím *DIN VDE 0132* [29].

4.1.2 Ochrana před bleskem

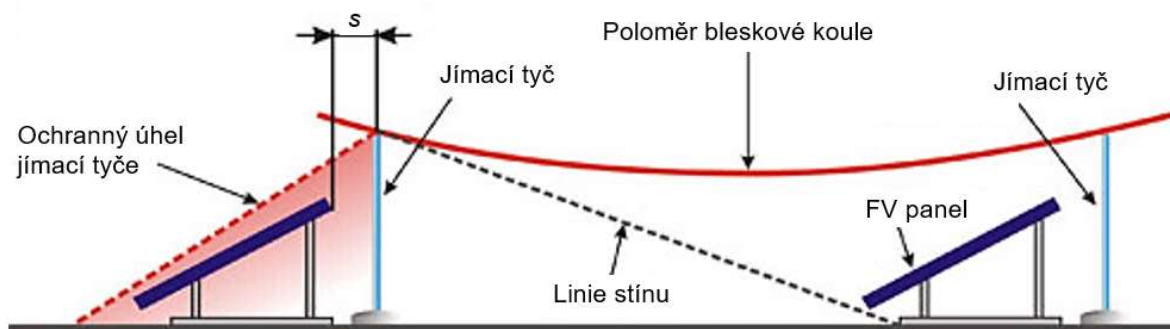
FV panely jako takové nezvyšují riziko úderu bleskem za předpokladu, že nebudou přímo spojeny s hromosvodní ochranou.

Jímací soustava by měla být tak vysoká, aby blesková koule nepropadla, a zároveň by neměla zastínit panely. Vnější jímací soustava bude spojena se stávající jímací soustavou (pokud existuje) a přes svody spojena se zemí.

Je naprosto nezbytné dodržet dostatečnou vzdálenost s mezi jímací tyčí a FV panely, okapy, anténami nebo jiným kovovým materiálem. [31]

Není-li možné dodržet dostatečnou vzdálenost s viz *obrázek 8*, pak je třeba spojit nosné rámy s jímací soustavou na více místech. Dále je zapotřebí zajistit, aby úder blesku nesměřoval přímo do panelu. Toho lze docílit vztyčením pomocných jímačů a jejich uchycením přímo na rám panelu. Jsou-li použité trasy z kovových žlabů, nesmí se spojit s hromosvodem, ale s ekvipotenciálním vyrovnáním. Na ně se připojí i nosné rámy FV panelů.

Pro návrh rozmístění jímačů se použije metoda valivé bleskové koule dle normy ČSN EN 62305-3. [32]



Obrázek 8 – FV panely chráněné oddáleným hromosvodem [32]

4.2 Technické řešení FVE

Obecně lze konstatovat, že téměř 80 % z celkových investic tvoří FV panely, inventory a nosné konstrukce. Je tedy důležité najít takové technické řešení, které bude plnit dané požadavky, a zároveň poskytovat maximální využitelnost. Jednotlivé instalace můžeme rozdělit do těchto ukazatelů: [1]

4.2.1 Dělení FV systému

- Ostrovní (off-grid)
 - Přímé napájení – regulátor napětí DC → DC
 - Systém s akumulací elektrické energie – soběstačný systém
 - Hybridní ostrovní systém – výroba pomocí jiných OZE
- Síťové (on-grid)
 - Invertor DC → AC
 - Prodej výkonu do distribuční sítě

4.2.2 Nosná konstrukce

- Pevný (statický) systém upevnění – nastavení optimálního sklonu pro celý rok
- Natáčecí systémy
 - Jednoosé – možné natáčení v jedné rovině – vertikálně, horizontálně
 - Dvouosé – záření je téměř vždy kolmé na ozářenou plochu

4.2.3 Umístění

- Střecha budovy – pouze pevný systém konstrukce
- Integrace do plášťů budov – omezení výkonu při svislé poloze
- Volná plocha – dimenzování rozestupů mezi panely (eliminace zastínění)

4.2.4 Volba DC napětí

Výběr požadovaného DC napětí je důležitý z hlediska koncipování ostatních zapojených zařízení v systému. Podle výkonu se doporučují následující velikosti napětí v systému. [28]

- 12 V systém pro výkony do 2 kW
- 24 V systém pro výkony 2 až 7 kW
- 48 V systém pro výkony nad 7 kW

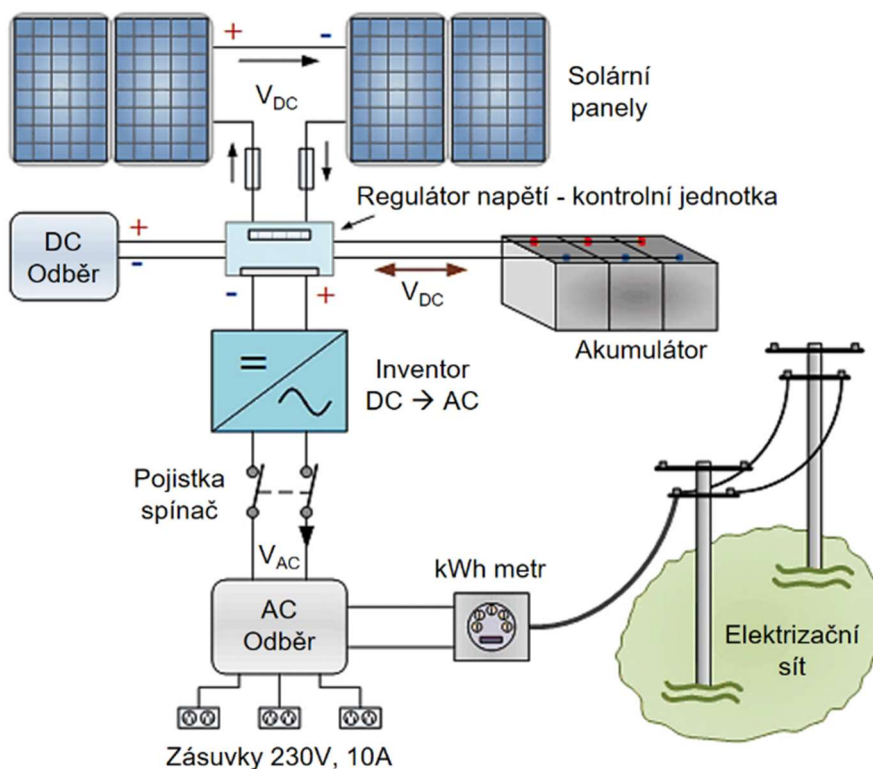
4.3 Zapojení FV systémů

Jak již bylo řečeno u konstrukce FV článků, tak i zde platí, že FV panely můžeme zapojovat buď sériově, paralelně nebo sério-paralelně pro dosažení požadovaného výkonu. [4]

Obrázek 9 zachycuje možné zapojení FV systému, kde stejnosměrné napětí z FV panelů je posíláno do regulátoru napětí DC → DC. Regulátor zároveň slouží jako kontrolní jednotka, která řídí celý FV systém např. zabraňuje přebití DC strany a akumulátoru, poskytuje aktuální informace o stavu napětí a proudu v systému.

Na regulátoru je posléze možné nastavit požadovanou hladinu DC napětí (12 V, 24 V, 48 V), které bude sloužit jako přímý zdroj pro spotřebiče, nebo jako zdroj pro nabíjení akumulátoru. [33]

Pro přeměnu DC napětí na AC napětí je použit inventar. Pokud je objekt připojen na distribuční síť a výkon FV systému není dostačující pro pohon daného objektu (např. v zimních obdobích, noc atd.), pak je možné „míchání“ výkonu generovaného FV panely s výkonem odebraným z distribuční sítě právě pomocí inventaru.



Obrázek 9 – Možné zapojení FV systému [33]

4.3.1 Sériové zapojení

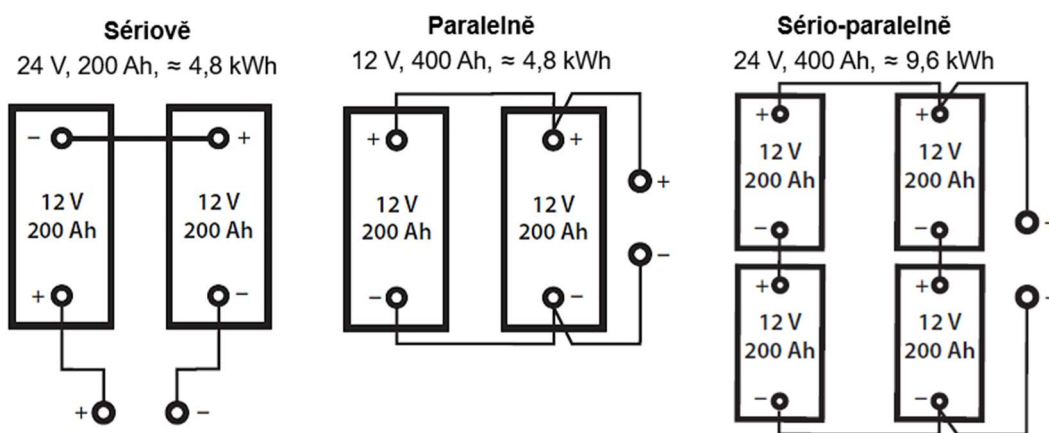
Pro celkové napětí v uzavřené smyčce, kde jsou sériově propojeny jednotlivé komponenty platí, že napětí se sčítá. Obvod není rozvětvený, a proto všemi jeho prvky prochází také stejný proud.

$$U_C = \sum_{i=1}^n U_i \quad [V] \quad \leftrightarrow \quad I_C = konst. \quad [A] \quad (10)$$

4.3.2 Paralelní zapojení

V paralelním zapojení je na všech prvcích stejné napětí, avšak jednotlivými větvemi mohou procházet různé proudy. Celkový proud se posléze rovná součtu proudů procházejících jednotlivými větvemi obvodu.

$$I_C = \sum_{i=1}^n I_i \quad [A] \quad \leftrightarrow \quad U_C = konst. \quad [V] \quad (11)$$



Obrázek 10 – Příklad zapojení akumulátoru [28]

4.4 Legislativa

Energetický regulační úřad (ERÚ) stanoví na každý rok hodnotu zelených bonusů a výkupních cen, za které se bude vykupovat elektřina pro jednotlivé druhy obnovitelných zdrojů energie. Pro rok 2017 je platné cenové rozhodnutí udělené rok předtím, tedy cenové rozhodnutí ERÚ č. 1/2016. [34]

Okrajově zde patří zmínit, že pokud je slunečný den, tak se užívá tohoto zdroje dle nastaveného zákona o využívání OZE, který se posílá do rozvodné soustavy ČR. Pokud jsou tedy FVE v provozu, pak je nutné odstavit nějaký jiný zdroj výroby z důvodu přebytku elektrické energie např. jaderná elektrárna (JE), která mívá v letním období odstávku.

4.4.1 Nová zelená úsporám – dotace

Jedná se o program Ministerstva životního prostředí. Je zde podpora OZE formou jednorázové finanční dotace na výstavbu FVE viz *tabulka 2*. Žádost o dotace je možné podat online nebo na úřadě v místě bydliště, kde jsou poskytnuty patřičné informace. Žadatel o dotaci musí splňovat následující kritéria: [34]

- FVE bude postavena na budově, která je zapsaná v katastru nemovitostí
- Žadatelem může být vlastník nebo stavitel budovy
- Podpora je maximálně do výše 50 % uznatelných nákladů
- Podpora na FVE se poskytuje pouze na systémy připojené k distribuční soustavě
- Instalovaný výkon FV systému nesmí překročit hodnotu vyšší než 10 kW_p
- Vlastní spotřeba vyrobené elektrické energie bude minimálně 70 %
- Měnič musí splňovat Euro účinnost s minimální hodnotou 94 % a systém musí podporovat MPPT na úrovni alespoň 98 %

Tabulka 2 – Podporovaná podoblast pro FV systémy [34]

Podoblast	Typ FV systému	Výše podpory [Kč]
C.3.4	FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 1700 \text{ kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$	55000
C.3.5	FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 1700 \text{ kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$	70000
C.3.6	FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 3000 \text{ kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$	105000

Tabulka 3 – Požadavky na podporované FV systémy [34]

Sledovaný parametr	C.3.4	C.3.5	C.3.6
Celkový využitelný energetický zisk ze systému [kWh·rok ⁻¹]	≥ 1700	≥ 1700	≥ 3000
Minimální míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby [%]	70	70	70
Akumulace přebytků energie do teplé vody	Povinná	Možná	Možná
Minimální měrný objem zásobníku teplé vody nebo akumulační nádrže [l·kW _p ⁻¹]	80	-	-
Akumulace přebytků energie do akumulátorů [-]	Možná	Povinná	Povinná
Minimální měrná kapacita akumulátorů [kWh·kW _p ⁻¹]	-	1,75	1,75

4.4.2 Zelený bonus a výkupní ceny

Zelený bonus je příplatek k tržní ceně elektřiny, který může získat výrobce elektřiny tím, že bude vyrobenou elektřinu spotřebovávat. Zelený bonus je garantován na 1 rok.

Výkupní cena je částka, kterou provozovatel regionální distribuční soustavy platí výrobcí elektřiny. Výkupní cena je garantována na 20 let dopředu, kde je možný případný meziroční nárůst s ohledem na index cen průmyslových výrobců (minimálně 2 %, maximálně 4 %) [35].

Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření platné k roku 2017 se nacházejí v následující tabulce.

Tabulka 4 – Výkupní ceny a roční zelené bonusy pro FV systémy [36]

Datum uvedení výroby do provozu	Instalovaný výkon FVE [kW_p]	Výkupní ceny [$\text{Kč}\cdot\text{kWh}^{-1}$]	Zelené bonusy [$\text{Kč}\cdot\text{kWh}^{-1}$]
2013	≤ 5	3,236	2,536
	≤ 30	2,632	1,932

4.4.3 Daň z přidané hodnoty

U FV instalací na rodinných domech, bytových domech, panelových domech apod. platí § 48 novelizovaného zákona o dani z přidané hodnoty. Platí zde tedy snížená 15 % sazba DPH, a to jak na montážní práce, tak na samotné technické prostředky FVE. [34]

4.4.4 Recyklační poplatek

Provozovatelé velkých i malých FVE uvedených do provozu od roku 2013 musí mít podle zákona o odpadech uzavřenou smlouvu s recyklační firmou dle vyhlášky č. 325/2005 Sb., o nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady. Recyklační poplatek je stanoven ve výši $8,50 \text{ Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$ FV panelu po dobu pěti let (tj. $1,7 \text{ Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$ ročně). Pro FVE postavené do roku 2013 se počítá s hmotností panelů $0,11 \text{ kg}\cdot\text{W}_p^{-1}$, od roku 2013 se počítá se skutečnou hmotností panelů. Nicméně pro provozovatele FVE do výkonu 30 kW_p se chystá nová vyhláška, kde by mohla být tzv. „fixní jednorázová částka“ za recyklaci panelů. [37]

4.4.5 Tarifní sazby

Tarifní sazby se mohou dělit na jednotarifové – elektřina je po celý den odebírána za stejnou cenu a dvoutarifové – denní odběr elektřiny je zde rozdělen na vysoký tarif (VT) a nízký tarif (NT). Další možné dělení je pro domácnosti a podnikatele. Pro získání cíleně výhodné tarifní sazby je nutné splnění daných požadavků. V ČR je celkem 9 možných tarifních sazeb, kde přehled vybraných tarifů je následující: [38]

- D02d – běžná domácnost se střední spotřebou, cca 65 % domácností
- D25d – pro ohřev vody boilerem, NT: 6 hodin, VT: 18 hodin
- D56d – pro ohřev vody tepelným čerpadlem, NT: 22 hodin, VT: 2 hodiny, kde tepelný výkon TČ musí pokrýt minimálně 60 % tepelných ztrát objektu

5 Pohled na jednotlivá zařízení FV systému

5.1 Fotovoltaické panely

Komerčně dostupné křemíkové články můžeme dělit na tři skupiny, které se liší svými vlastnostmi, a tím i cenou. Srovnání jednotlivých článků z pohledu účinnosti a výtěžnosti na m² plochy se nachází v následující tabulce. [39]

Tabulka 5 – Porovnání účinností FV článků [1]

Materiál	Max. laboratorní účinnost FV článku [%]	Max. provozní účinnost FV článku [%]	Typická účinnost FV modulu [%]	Užitná plocha potřebná na 1 kW _p [m ²]
Koncentrační	40,7	35	28	3,4
Monokrystalický	24,7	21,5	16	6,0
Polykrystalický	18,5	15	14	6,9
CIS, CIGS	19,5	11	10	9,6
CdTe	16,5	10	7	13,7
Amorfní křemík	12,7	8	6	16,0

5.1.1 Panel monokrystalického křemíku

Typ výroby tohoto typu článku byl popsán v kapitole 3.4., kde jsou z válcové tyče oddělovány destičky. Z toho vychází tvar článku, který má kruhové nebo zakulacené rohy. Vzhledem k homogenní struktuře, která se rozpíná rovnoměrně, je také barva křemíku homogenní. Účinnost dosahuje nejvyšších hodnot při kolmém směru slunečního záření vzhledem k ozářenímu. Vzhledem k výrobě tohoto typu křemíku je zde vyšší pořizovací cena. [40]

5.1.2 Panel z polykrystalického křemíku

Tvar článku je čtvercový nebo obdélníkový z důvodu plošného tváření krystalu. Vzhledem k menší čistotě křemíku je růst krystalu do více směrů – tím nastává nehomogenní složení. Vzhledem k tomuto faktu je zde mírnější snížení na účinnosti vzhledem k úhlu dopadajícího záření na osluněný FV panel, než u monokrystalického křemíku. Tento typ je poté vhodnější pro panely se statickou konstrukcí. Pokud je požadavek na výrobu výkonu v zimních měsících, pak se jeví polykrystalický křemík výhodnějším. Díky rychlejší a jednodušší výrobě, je zde menší pořizovací cena. [40]

5.1.3 Amorfní tenkovrstvý křemík

Obecně pro tenkovrstvé typy článků se používají materiály jako a-Si – amorfní křemík, CdTe – telurid kadmia, GaAs – arsenid galia, CIS – selenid mědi a india nebo CIGS – selenid mědi india a galia atd.

Tenkou vrstvou se zde rozumí tloušťka dosahující až 1 μm. Díky malé tloušťce je zde větší úspora na materiál, a také více možností co se aplikací týče.

Konkrétně pro amorfní články platí, že dosahují relativně malé účinnosti, která se dále při používání v průběhu prvního roku ještě sníží cca o 1 %. Pozitivem je, že nejsou tak citlivé na potřebu přímého záření – mohou se tedy instalovat na svislé stěny. Nicméně pokud chceme u tenkovrstvých článků zvětšit účinnost, tak použijeme více vrstev křemíku (dvě až tři vrstvy nad sebou), pak máme vícevrstvý článek. [1], [40]



Obrázek 11 –

Zobrazení používaných FV panelů (z levé strany: monokrystalický, polykrystalický, tenkovrstvý) [69]

5.2 Regulátor napětí

5.2.1 Solární regulátor

Klasický solární regulátor je ve své podstatě stabilizátor napětí a automatická nabíječka akumulátorů. Solární regulátor sníží DC napětí ze solárních panelů na požadovanou hladinu, která je optimální pro dobíjení akumulátorů a spotřebičů. Jakmile jsou akumulátory plně nabité, regulátor se postará, aby byly odpojeny od FV panelů, pak nedojde k tzv. "přebíjení" a snižování životnosti. Po naprogramované době se zjišťuje aktuální stav akumulátorů, které se tak mohou udržovat v optimálně nabitém stavu. Pokud napětí na panelech poklesne pod hodnotu napětí, která je únosná pro nabíjení akumulátorů opět dojde k odpojení akumulátoru.

Pokud je k tomu regulátor uzpůsoben, pak v době přebytku elektrické energie dojde k automatickému připojení spotřebiče s velkým příkonem. [41]

Účinnost solárního regulátoru se pohybuje za ideálního stavu kolem 95 %. Ztráty zde mohou vznikat podstatě v maximálních bodech, kde je buď velká sluneční intenzita či skoro žádná. Regulátor pak dodává pouze takový nabíjecí proud, který mu dodají FV panely.

5.2.2 MPPT měnič

MPPT měnič využívá sledovací zařízení, které sleduje bod maximálního výkonu s účinností kolem 98 %. Princip práce je pak stejný jako u klasického solárního regulátoru s tím, že je tento měnič schopný efektivně pracovat s napětím i proudem. Většina dnešních moderních měničů má již zabudovaný solární regulátor pro nabíjení akumulátorů. [41]

5.2.2.1 Sledování polohy pracovního bodu MPP

Jak již bylo řečeno, že se změnou závislosti na intenzitě záření a povrchové teplotě se mění vlastnosti FV článku. Tento fakt má vliv na průběh VA charakteristiky, čímž je ovlivňována poloha pracovního bodu MPP.

MPPT měnič využívá citlivost změn projevených na VA charakteristice. To se děje pomocí algoritmu, který vyhodnocuje derivaci okamžitého výkonu podle napětí. Hodnota derivace je buď kladná (derivace roste) nebo záporná (derivace klesá). Cílem je udržovat bod MPP, tedy kladný směr derivace. Kontrolní jednotka dle zjištěného směru růstu či poklesu vyšle signál inventoru (který se uzpůsobí aktuální zátěži), nebo servo motorům, které natočí modul tak, aby byl právě v bodě MPP. [17]

5.3 Inventor

Jak již bylo zmíněno, tak FV panely vyrábí pouze stejnosměrný proud, který je nutno změnit na proud střídavý pomocí inventoru (měnič, střídač), aby bylo možné připojit elektrárnu do distribuční sítě.

U dnešních střídačů se hodnota účinnosti pohybuje v rozmezí 94 až 98 %, nicméně střídač těchto hodnot může dosáhnout pouze za optimálních podmínek, zpravidla při jmenovitém DC napětí, to se umožňuje pomocí hledání bodu maximálního výkonu MPPT. [1]

Pro konkrétní použití se vyrábějí inventory ostrovní a síťové. Ostrovní generují svůj vlastní kmitočet, který odpovídá kmitočtu v rozvodné síti kde je frekvence 50 Hz, 230 V. Naopak síťové měniče synchronizují svůj kmitočet a napětí s aktuálními parametry rozvodné distribuční sítě např. pro nízké napětí (NN) je třífázová střídavá síť 3 PEN ~ 50 Hz 400 V. Současné moderní střídače již mohou mít zabudovanou jednotku pro nabíjení solárních akumulátorů.

5.3.1 Euro účinnost

Vzhledem k nestálosti počasí se vstupující DC napětí mění, pak je důležité, aby na tyto výkyvy ve výkonu byl střídač uzpůsoben, a tím mohl fungovat s vysokou účinností v celém pracovním rozsahu. To se řeší pomocí tzv. zabudovaných výkonových stupňů, které zaručí stálý chod. Každý výkonový stupeň má určenou svoji hodnotu účinnosti [42]. Poté je zaveden pojem Euro účinnost dle následující rovnice:

$$\eta_{Euro} = 0,03 \cdot \eta_{5\%} + 0,06 \cdot \eta_{10\%} + 0,13 \cdot \eta_{20\%} + 0,1 \cdot \eta_{30\%} + 0,48 \cdot \eta_{50\%} + 0,2 \cdot \eta_{100\%} \quad [\%] \quad (12)$$

$\eta_{100\%}$ - účinnost střídače při jmenovitém výkonu [%]

$\eta_{50\%}, \eta_{30\%}, \eta_{20\%}, \eta_{10\%}, \eta_{5\%}$ - účinnost střídače při nižších hodnotách zatížení [%]

5.4 Akumulátory

Pro soběstačný FV systém je potřeba akumulační zdroj energie, který se v případě přebytků energie nabíjí a v případě nedostatku energii poskytuje pro pozdější využití. Pro představu je zde několik případů, jak dochází k transformaci elektrické energie, která se nabíjí (akumuluje) do dané formy energie:

- Chemická, elektrochemická – Pb, Li-ion, vodíkové hospodářství atd.
- Mechanická – vodní spád (potenciální energie), stlačený vzduch (tlaková energie), setrvačnick (kinetická energie)
- Elektrostatická – superkapacitor
- Tepelná – ohřev do TUV

Při vybíjení, je naakumulovaná energie transformována zpět na elektrickou pro téměř okamžité využití.

Akumulátor slouží jako přenosné zařízení, které může být opětovně vybíjeno a nabíjeno vzhledem k dané životnosti, která je určena počtem cyklů v závislosti na hloubce vybití, okolní teplotě, době akumulace, hladině elektrolytu atd. [43], [44]

Baterie se obecně vyrábějí v určitém rozsahu DC napětí např. 2 V, 6 V, 12 V. Pokud tedy chceme dosáhnout určitého napětí, pak je to možné pomocí sériového zapojení viz *kapitola 4.3*.

Jelikož je akumulátor v ostrovním systému klíčový prvek, pak správný výběr ovlivní chování, životnost a případné další investice do možných obnov a oprav celého systému.

Volba potřebné akumulované kapacity viz *rovnice (49)* je zohledněna vzhledem k hloubce vybíjení akumulátoru viz *kapitola 9.2.3*. [45]

Na trhu lze nalézt velké množství nejrůznějších baterií, které se liší technologií nebo účelem jejich použití. Komerčně dostupné akumulátory pro běžné použití v solárních aplikacích jsou olověné, nicméně dnešním trendem jsou i baterie, které jsou na bázi lithia a disponují tak delší životností, ovšem na úkor vyšší pořizovací ceny. [46]

5.4.1 Elektrochemické akumulátory

Akumulátory této kategorie jsou schopny opětovného nabití ve stovkách až tisících cyklů. Elektrické napětí na jednom elektrochemickém článku se pohybuje podle typu akumulátoru v hodnotách 1,1 až 2,5 V. Proto se běžně využívají akumulátory sestavené sériově do baterií pro dosažení většího napětí. [43]

Vybitý akumulátor se nabíjí tak, že se reakční produkty převedou elektrickým proudem opět na původní reaktanty.

Při vybíjení je záporná elektroda katodou (-) a kladná elektroda anodou (+), reaktant oxiduje a vzniklé volné elektrony předává záporné elektrodě.

Pro nabíjení platí, že záporná elektroda je anodou a kladná elektroda katodou. U elektrochemických akumulátoru lze konstatovat, že hmotnost akumulátoru může vypovídat o jeho „kvalitě“ (nižší hmotnost ukazuje na horší provedení či méně elektrolytu).

Negativem je citlivost na hluboké vybití tzn. odstavení při nastavené minimální kapacitě cca 20 až 40 %. [44]

Druhy elektrochemických akumulátorů: Pb – olověný, Li-ion – lithium iontové, NiCd – nikl kadmiové, NiMH – nikl metal hydridový, LiFePO₄ – lithium železo fosfátový atd.

5.4.1.1 Olověný akumulátor

Olověný akumulátor je nejpoužívanějším typem akumulace ve FV systémech. Elektrolyt může být v olověných bateriích ve třech formách – tekutina, kyselinou nasáklá skelná vata (AGM) nebo gel.

Nejčastějším typem elektrolytu je forma zředěné kyseliny sírové, která v roztoku disociuje na kladné vodíkové ionty a záporné síranové ionty. [44]

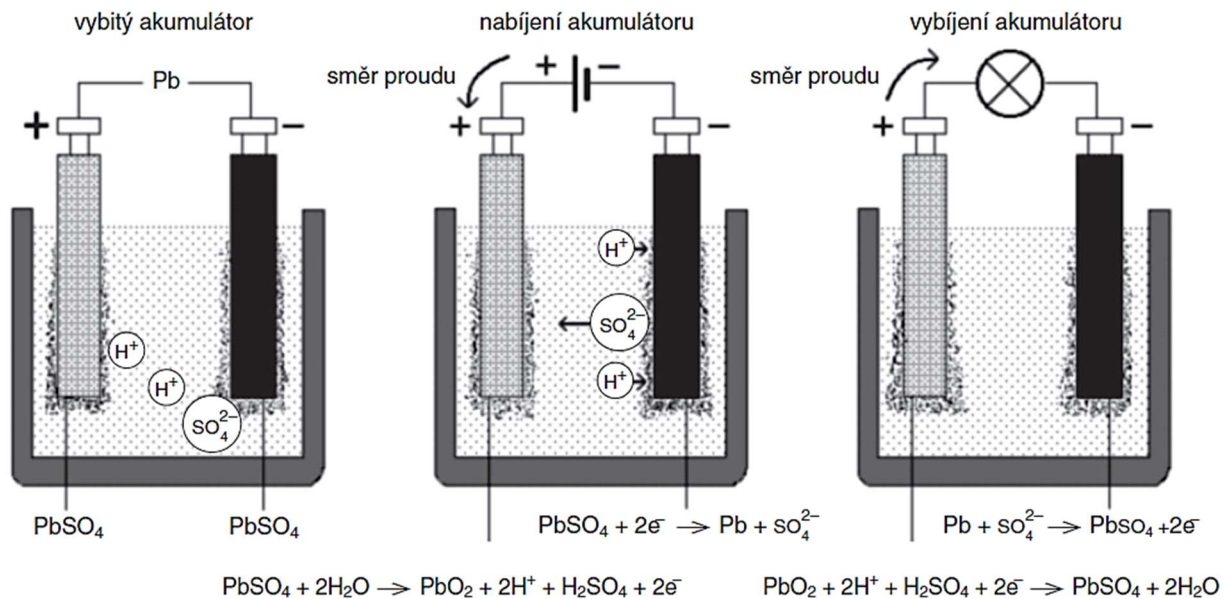
Olověné baterie se mohou dále dělit dle způsobu použití na startovací (autobaterie – pro FV systém se nedoporučuje) nebo na trakční, které jsou konstruované na nižší vybíjecí proud, větší počet cyklů a možné větší hlubší vybití viz *graf 2*.

Negativem je citlivost na změny teploty – kapacita baterie klesá o 1 % s poklesem teploty o 1 °C, naopak při zvýšených teplotách kapacita mírně roste, ale zkracuje

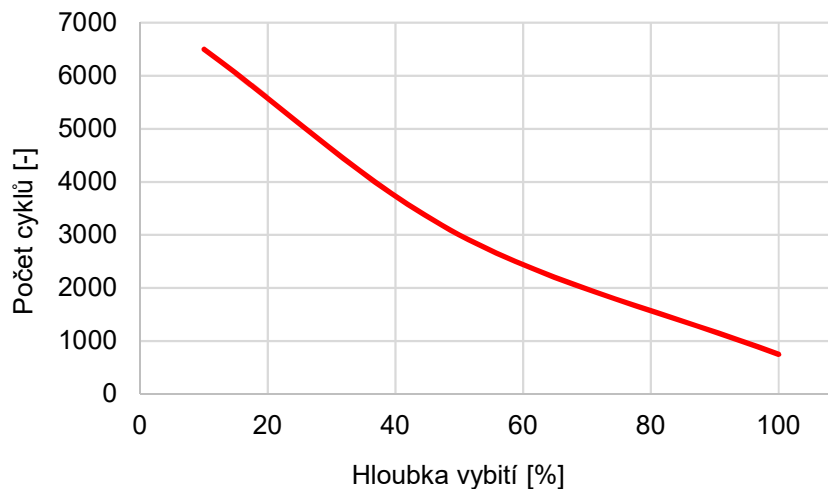
se životnost baterie. Menší měrný výkon, který se pohybuje kolem $0,05 \text{ kW}\cdot\text{kg}^{-1}$ (respektive na 1 kW potřebujeme baterii o hmotnosti 20 kg). Doba nabíjení/vybíjení se pohybuje okolo 5 až 10 hodin, kde je charakteristickým znakem maximální nabíjecí či vybíjecí proud.

Pro představu lze říci, že za jeden měsíc při teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$ dojde k poklesu kapacity cca o 5 %. Optimem pro tento druh baterií je tedy pokud možno stálá pokojová teplota. Pokud je akumulátor nabit na více jak 80 % jeho kapacity a dále se nabíjí, pak může doházet ke tvorbě tzv. plynovacího napětí, které lze omezit snížením nabíjecího proudu. [41]

AGM a gelové akumulátory jsou označovány jako bezúdržbové, tzn. není zde nutné dolévat elektrolyt. Současně je zde možný větší rozsah provozních teplot a větší počet celkových cyklů – to je ale na úkor vyšší ceny. Životnost baterie se liší typem, nicméně 10letý provoz vypovídá o cca 3500 cyklech [45].



Obrázek 12 – Schéma olověného akumulátoru [44]



Graf 2 – Životnost olověného akumulátoru, kde se od hloubky vybití odvíjí počet cyklů [45]

5.4.2 Superkapacitor

Energie je akumulována do elektrického pole nabitého kondenzátoru, kde se uchová elektrický náboj vlivem elektrostatické síly na povrchu elektrod. Elektrolyt je tvořen vodnou bází nebo bezvodným organickým rozpouštědlem.

Superkapacitor se využívá tam, kde je požadavek na okamžitou dodávku elektrické energie např. dodávka špičkového výkonu, kompenzování výkonu vzhledem nestálosti slunečního záření, brzdění či akcelerace elektromobilu atd.

Superkapacitor lze využít ve spolupráci s olověnými bateriemi, kde díky tomuto zapojení lze posléze odebírat vyšší výkon, než na jaký jsou akumulátory dimenzovány. Tím se snižuje zatížení akumulátoru, načež dochází k prodloužení jeho životnosti.

Výhodou je velký měrný výkon cca $10 \text{ kW}\cdot\text{kg}^{-1}$, krátká doba nabíjení/vybíjení max. do 10 sekund, dlouhá doba životnosti (počet cyklu kolem 10^6). [44]

V současné době jsou na trhu 2,7 V články, které lze sestavovat sériově pro dosažení požadované hodnoty DC napětí. Kapacita dnešních kapacitorů se pohybuje až do 3000 F. [44]

5.4.2.1 Energie kondenzátoru

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_k^2 \quad [J] \quad (13)$$

C – kapacita kondenzátoru [F]

U_k – napětí na kondenzátoru [V]

5.5 Alternativní možnosti využití elektrické energie

Jedna z možností, jak využívat elektrický výkon FV panelů v případě rodinných domů, je transformace elektrického výkonu do tepelné energie, např. výroba tepla formou tepelného čerpadla nebo elektrického boileru, či výroba chladu pomocí klimatizace.

5.5.1 Akumulace formou – TEPLŮ

Podstatou je akumulace elektrické energie na teplo, které bude využíváno na ohřev teplé užitkové vody (TUV). Přenos tepelné energie z nižší teploty na požadovanou teplotu vyšší je obecně možno realizovat různými způsoby, avšak pro praktické použití jsou vhodné jen ty, které jsou snadno realizovatelné a vyžadují minimální množství hnací energie, což je podmínka pro dosažení vysoké energetické efektivity. Vzniklé teplo již nemůže být zpětně transformováno na elektrickou energii.

Vyrobené teplo se akumuluje do akumulčních nádob (např. boiler), kde jsou kladeny požadavky na nízké tepelné ztráty do okolí. Hodnota tepelných ztrát závisí na rozdílu teplot (teplé vody vůči prostředí), měrné tepelné kapacitě vody a na akumulovaném objemu dle rovnice (25). Pro představu akumulční nádoba na TUV o objemu 150 l může do svého okolí odevzdat cca $1,3 \text{ kWh}\cdot\text{den}^{-1}$.

Výhodou FV systémů na ohřev TUV oproti fototermickým systémům je, že zde není nutná údržba a nemůže dojít k přehřívání systému, což je u fototermických kolektorů problémem, jelikož může dojít k odpaření ohřívajícího média.

5.5.1.1 Tepelné čerpadlo

TČ odnímá tepelnou energii při nízké teplotě a za přívodu elektrické energie (pro pohon kompresoru) ji při vyšší teplotě opět předává. TČ využívá vlastnosti termodynamického cyklu vypařování, komprese a kondenzace, kde probíhá cirkulace vhodné pracovní látky⁵ v uzavřeném okruhu. Používané typy TČ: země – voda, voda – voda, vzduch – vzduch, vzduch – voda.

Pro případ tepelného čerpadla voda-voda platí, že pokud se přivede studená voda o teplotě cca 8 °C do výměníku tepla (výparníku), ve kterém cirkuluje pracovní látka, která odebírá přiváděné studené vodě potřebné výparné teplo tak, že pracovní látka přechází z kapalného do plynného stavu (tím rovněž dojde k ochlazení napájecí vody z cca 8 °C na cca 5 °C).

Kompresor koná mechanickou práci, kde stlačuje plynnou pracovní látku na vyšší tlakovou úroveň, což má za následek posunutí bodu varu k vyšším hodnotám a růst teploty na cca 60 °C.

Pracovní látka postupuje do kondenzátoru, kde odevzdává svoji tepelnou energii otopnému systému, který ohřívá na požadovanou teplotní úroveň – maximálně však na 45 až 55 °C, tím dojde k ochlazení chladiva a jeho přechodu do kapalného stavu teplotu kolem 45 °C.

Následně pracovní látka prochází přes expanzní ventil, kde dochází k expanzi na nižší tlakovou úroveň, tedy na nižší teplotu cca 5 °C, což má za následek odpařování pracovní látky (vzhledem k nižšímu bodu varu).

Posléze může docházet k opětovnému stlačování kompresorem a opakování cyklu v závislosti na požadavcích odběru teplé vody.

Zjednodušeně lze říci, že TČ spotřebovává přibližně jednu třetinu svého výkonu ve formě elektrické energie. Zbývající dvě třetiny posléze tvoří teplo, které je odnímáno z ochlazované látky (voda, vzduch, země), tento fakt popisuje tzv. topný faktor viz rovnice (26). V kapitole 7.2 se v tabulce 16 pro představu nacházejí parametry a technické údaje již používaného TČ Spirála WW 05.

Výhodou je vzhledem k čerpání spodní vody téměř konstantní hodnota COP_t v průběhu celého roku. [47]

5.5.1.2 Elektrický boiler (elektrokotel)

Pokud bychom chtěli vyjádřit topný faktor elektrokotle, tak by odpovídal hodnotě $COP_t=1$. Ve spodní části nádoby se nachází topné těleso ve tvaru spirály, která se vlivem elektrického příkonu ohřívá (klade odpor a ten se projevuje teplem). Ohřátá voda poté stoupá vzhůru vlivem menší měrné hmotnosti vůči neohřáté vodě, naakumulované teplo je pak vhodné odebírat z horní části nádoby. Výhodou je nižší pořizovací cena, avšak z hlediska budoucích úspor se TČ jeví jako lepší varianta. Elektrokotel může rovněž sloužit jako záložní zdroj tepla pro domácnost či jako samotná akumulární nádoba.

⁵ Pracovní látkou je myšleno chladivo, v případě TČ se jedná nejčastěji o solanku (roztok tekuté soli cca 3,5 %_{hm} a vody) např. CaCl₂. Požadavek chladiva je kladen na nízký bod varu, který za atmosférického tlaku musí být pod 0 °C. Volba chladiva se odvíjí od provozních podmínek TČ (teplota a tlak) v okruhu.

5.5.2 Akumulace formou – CHLAD

Tato možnost je vhodná především v letním počasí, kde v těchto dnech vzhledem k vysoké intenzitě slunečního záření, dochází rovněž k růstu teplot v izolovaných objektech, a to má za následek tepelnou nepohodu. Pro tyto případy je posléze vhodné zapojení klimatizace, která bude odebírat elektrický výkon vzniklý FV systémem, tím konat práci a produkovat chlad.

Klimatizační zařízení slouží ke komplexní úpravě přiváděného vzduchu, kde může být zahrnut jak ohřev, tak chlazení přiváděného vzduchu, tím se klimatizační zařízení používá jak ke krytí tepelných ztrát prostoru, tak k odvodu tepelné zátěže.

5.5.3 Akumulace formou – VODÍK

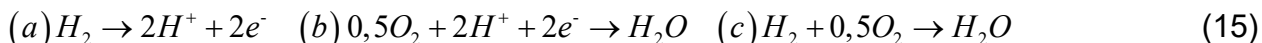
Jedná se o začínající trend hybridního systému, kde se využívá zapojení fotovoltaiky (slouží zde pouze jako zdroj DC napětí), elektrolyzátoru, nádoby pro uložení vodíku a palivového článku viz *obrázek 13*.

V elektrolyzátoru dochází k elektrolyze vody, kde jsou přeměňovány molekuly vody za vzniku vodíku a kyslíku. To se děje dle následující reakce:



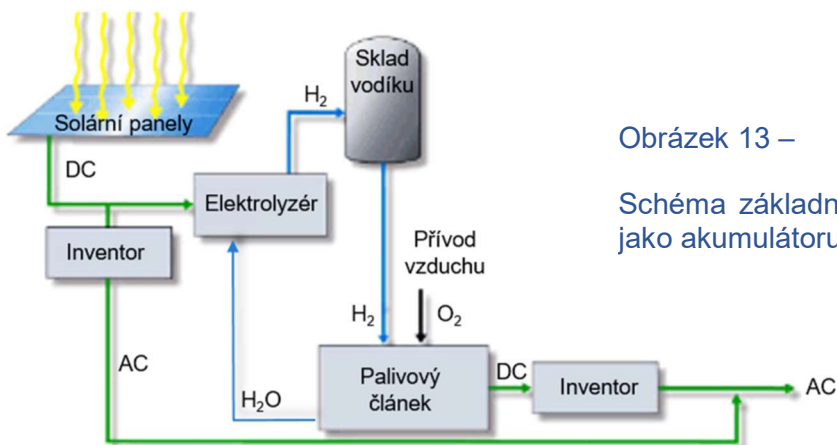
Energetická účinnost elektrolyzátoru se pohybuje kolem 50 až 60 %. Následně vzniklý vodík se musí uskladnit, a to buď ve formě plynu nebo kapaliny. Nejčastěji však dochází ke stlačování vodíku do tlakových nádob.

Naakumulovaný vodík je posléze možné využívat jako palivo pro palivový článek. Na anodu se přivádí vyrobený vodík a na katodu kyslík – výsledným produktem této reakce je přeměna chemické energie na elektrickou energii a teplo. *Rovnice (15)* zde popisuje reakci probíhající na anodě (a), reakci probíhající na katodě (b) a celkovou reakci (c).



Katoda a anoda jsou z vodivého materiálu, který je pokryt vrstvou katalyzátoru. Elektrolyt nesmí propouštět elektrony, ale ionty (protony).

Účinnost palivových článků se pohybuje kolem 40 až 60 %, zbytek je tvořen odpadním teplem, které může být dále využíváno. Při celkovém zapojení systému, který bude fungovat na bázi vodíku se účinnost pohybuje mezi 10 až 20 % elektrické energie, avšak lze konstatovat, že účinnost systému roste se zvyšujícím se výkonem. [48]



Obrázek 13 –

Schéma základního řešení použití vodíku jako akumulátoru [48]

6 Možnosti zvyšování účinnosti FVE

Maximální možná účinnost FV přeměnou je zmíněna v kapitole 3.9. Je zřejmé, že počasí nelze v současné době ovlivňovat, co ale ovlivnit lze, je možnost zvýšení celkové dopadající intenzity slunečního záření na FV panel. To se děje pomocí používání koncentračních prvků, sledovačů Slunce, oboustranných FV panelu atd. Grafy 10 až 12 zobrazují navýšení výkonu při použití vybraných možností.

Jako základním faktem věci je správné nastavení úhlu α sklonu FV panelu vzhledem k dané době kdy ho chceme využívat, tedy vzhledem k tomu, kde se nachází Slunce. Z ekonomického pohledu lze říci, že se složitějšími konstrukcemi (natačecí systém) rostou investiční náklady. Při použití tzv. superkoncentrátoru zmíněném v kapitole 6.3.1., je možné navýšení výsledné výtěžnosti až o 107 % za slunného dne [49].

6.1.1 Optimální sklon a orientace FV panelu

Optimální úhel pro maximální využití sluneční energie záření se v průběhu roku mění viz graf 14 – zde je snahou, aby dopadající sluneční záření svíralo s plochou FV panelu úhel kolmý pro nejlepší dosažení účinnosti (bude dále popsáno).

V zimních měsících je Slunce blízko horizontu tzn. zde je výhodnější větší sklon, naopak v letních měsících, kde je Slunce ve výšce nad obzorem je výhodný menší sklon. Dle obrázku 19 je patrné, že největších výkonů se bude dosahovat pro orientaci azimutového úhlu α_s ve směru jih s optimálním sklonem panelu mezi 30° až 40° vůči vodorovné rovině v celoročně statickém stavu [1].

Například při nastaveném sklonu FV panelu 0° dojde ke snížení celoročního výnosu elektrického výkonu kolem 15 %, pro sklon 90° (fasády budov) pokles kolem 30 % viz graf 15.

6.1.2 Údržba panelů

Každé nadbytečné znečištění panelů vede ke snížení výkonosti. V místech, kde je vysoká prašnost a malé srážky, nabývá tento problém na významnosti. Nicméně pro příklad lze uvést pokus, kde byl jeden panel umístěn v průmyslové zóně (neudržovaný), druhý panel byl udržovaný. Rozdíl na výnosu byl kolem 2 % ve prospěch udržovaného panelu [17]. Pro eliminaci usazování nečistot je možné na funkční plochu nanést antiadhezní vrstvu. Panely je samozřejmě možné omést či omýt vodou a setřít gumovou stěrkou. [28]

6.1.3 Fotovoltaika v zimě

V případě úplného zakrytí FV panelů sněhem samozřejmě klesne výkon na nulu. Nicméně ze zkušenosti však vyplývá, že k takové situaci dochází zcela minimálně, a to z důvodu hladkého povrchu FV panelů, kde navíc při nastavení úhlu sklonu po nich sníh snáze sklouzne. Rovněž platí, že i při zatažené obloze se panely zahřívají a jejich povrchová teplota je vyšší než okolní teplota. K poškození panelů sjíždějícím sněhem nedochází. [50]

6.2 Koncentrační prvky

Pomocí těchto prvků je možné využívat koncentrovanější slunečního záření, které bude dopadat na plochu FV panelu. Charakteristickým znakem je zde koncentrační poměr c , též označován jako počet "sluncí", kde např. hodnota 5 znamená, že plocha koncentrátoru je 5krát větší než plocha FV článku.

Pokud investor uzná za vhodné uplatnění koncentračních prvků, pak by měl brát v potaz možné zastínění koncentrátorem. Z toho důvodu bývají koncentrační prvky používány spolu s natáčecím systémem – sledovačem Slunce. Dále je kladen důraz na to, že s rostoucím koncentračním poměrem c rostou požadavky na chlazení článků či užití článků, které nebudou na bázi křemíku např. GaAs.

6.2.1 Zrcadlové koncentrátor

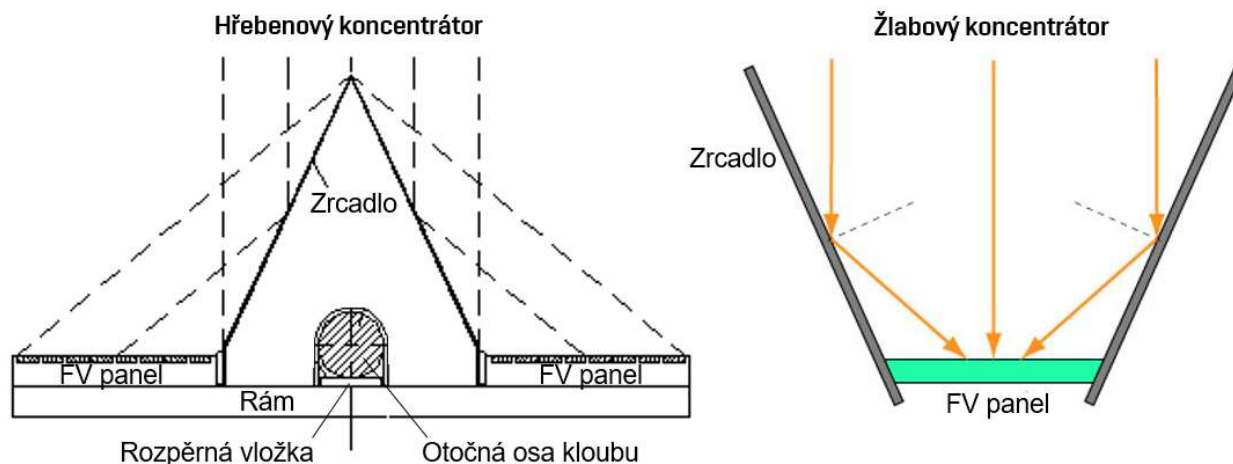
Koncentrátor pro FV aplikace nevyžadují speciální a drahá zrcadla. Nicméně, je zde kladen důraz na odolání povětrnostním vlivům, vysokou odrazivost pro fotony v intervalu vlnových délek cca 300 až 1100 nm.

Koncentrátor můžeme dělit na žlabové $c \approx 2,4$ a hřebenové $c \approx 1,6$ viz *obrázek 14*. Z hlediska konstrukce je hřebenový koncentrátor výhodnější, jelikož lépe redukuje momenty sil způsobené větrem, a také zde dochází k menšímu zahřívání panelů vlivem lepšího proudění vzduchu (povrchová teplota článku je tak o cca 10 °C nižší).

Pomocí zrcadlových koncentrátorů je možné celkové navýšení výroby elektrické energie cca o 10 až 30 %. [49], [51]

6.2.1.1 Materiál zrcadlových ploch

- válcovaný plech z nerezavějící oceli se speciální povrchovou úpravou
- válcovaný hliníkový plech chráněný polymerní vrstvou (PVF)
- stříbrem pokryté akrylátové fólie
- hliníkem pokryté akrylátové fólie
- diamantové fólie



Obrázek 14 – Schéma příčného řezu hřebenovým a žlabovým koncentrátorem záření [49], [52]

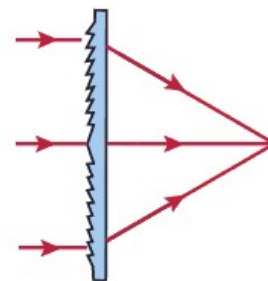
6.2.2 Oboustranné (bifaciální) FV panely

Konstrukce je obdobná jako u klasických jednostranných panelů. Rozdílem je, že zadní strana panelu nemá plošné kontakty ale mřížkované a zadní průhledné sklo. To umožňuje využívat i odražené světlo dopadající na zadní plochu panelu, čímž lze dosáhnout navýšení množství vyrobené elektrické energie o 10 až 15 %.

Oboustranné FV panely využívající krystalický křemík propouští fotony s vlnovou délkou větší než 1,1 μm . To se projevuje snížením teploty proti klasickým panelům. Při aplikaci s hřebenovými koncentrátory byly naměřeny u oboustranných panelů teploty o 5 až 12 $^{\circ}\text{C}$ nižší než u panelů jednostranných. Takto redukovaná teplota pak umožňuje navýšit množství vyrobené energie o 3 až 5 %, ale zároveň snižuje degradaci polymerů v ochranném obalu panelů a zvyšuje tak životnost. [49], [49]

6.2.3 Fresnelovy čočky

Bodové Fresnelovy čočky umožňují zvýšení koncentrace slunečního záření až s koncentračním poměrem $c \approx 500$. Pro klasické FV aplikace se využívají lineární, kde je $c \approx 5$. Fresnelovy čočky jsou efektivní pouze za splnění požadovaných podmínek např. optimální ohnisková vzdálenost, využívání intenzity přímého slunečního záření dopadající na plochu kolmou (jinými slovy, je třeba natáčecí systém), kvalitní materiál atd. Lze rovněž říci, že pokud převládá difúzní záření, jsou čočky nefunkční. [52], [53]



Obrázek 15 – Řez Fresnelovou čočkou [52]

6.2.4 Optické čočky

Koncentrovaná sluneční energie je usměrňována do malého bodu pomocí optických čoček, kde může být $c \approx 1000$.

Do ohniska soustavy je umístěn malý FV čip na bázi sloučenin např. GaAs, který má pracovní teplotu kolem 100 $^{\circ}\text{C}$.

Stejně jako u Fresnelových čoček, tak i zde je nutný natáčecí systém ve dvou osách a efektivnost pouze za přímého záření. Průměr bodu (FV čipu), do kterého jsou sluneční paprsky koncentrovány, se pohybuje od 2 do 10 mm [54].

Například FV čip na bázi GaAs o průměru 4,8 mm s aktivní plochou 18,1 mm^2 a koncentračním poměrem $c \approx 300$ je schopný dodávat jmenovité napětí 3,12 V při jmenovitém proudu 0,78 A. Výkon FV čipu je posléze cca 2,43 W_p , kde je účinnost čipu 38 % (za podmínek STC). Pro představu můžu říci, že kdyby FV čip měl teoreticky plochu 1 m^2 (kde potřebný průměr optické čočky je cca 191 m), pak lze jednoduchým výpočtem zjistit, že výkon by dosahoval hodnot až 134 $\text{kW}_p \cdot \text{m}^{-2}$ – nicméně takto rozměrný FV čip s ještě rozměrnější čočkou není možné vyrobit, natož efektivně provozovat. [55]

6.3 Sledovače Slunce

Jak z názvu vyplývá, tak se jedná o sledování pohybu slunce tj. od východu Slunce do jeho západu. Sledovače můžeme dělit na aktivní a pasivní způsob natáčení.

Pasivní natáčecí systémy jsou založené na tepelné roztažnosti látky, kde se vlivem největší intenzity dopadajícího záření, látka rovnoměrně rozptýlí v možném objemu a panel je „automaticky“ natočen do vodorovné polohy.

Aktivní sledovače využívají naprogramované servomotory napojené na mikroprocesorovou jednotku. Je možné nastavit program tak, aby sledoval aktuální natočení úhlu sklonu vzhledem k poloze Slunce, nebo natáčení založené na sledování času a pořadí dne v roce. Procesor vyhodnocené informace zašle servomotorům, které celou konstrukci natočí tak, aby byl FV modul v optimální poloze viz *obrázek 16*.

Nicméně s tím, jak klesá cena panelů, tak může být ekonomicky výhodnější koupit více FV panelů než polohovacích zařízení [39].



Obrázek 16 – Hlavní typy používaných natáčecích systému [56]

6.3.1 Superkoncentrátor

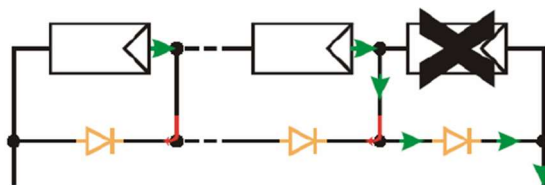
Princip spočívá ve dvouosém natáčení, kde se zároveň využívá koncentrátorů záření a speciálních bifaciálních panelů. Energetické zisky superkoncentrátoru jsou oproti fixní instalaci vyšší o cca 107 %. Vzhledem k tomu, že se jedná o relativně složitou konstrukci, která se musí častěji udržovat, tak je zřejmé, že zde budou i velké pořizovací náklady. Tato varianta řešení je pak vhodnější pro oblasti s větším dopadem záření, jinak se nemusí ekonomicky vyplatit. [39]

6.4 Minimalizace vznikajících ztrát

6.4.1 Ztráty stíněním

Pokud jsou v sérii zapojené rozdílně ozářené moduly, pak větví prochází takový menší proud jako zastíněným modulem. Zastíněný článek pak nevyrábí proud, avšak ozářené články jsou aktivní a celý proud modulu prochází neaktivním článkem, ve kterém se elektrická energie přemění na tepelnou energii. V takovém případě se neaktivní článek chová jako spotřebič. Pak nastává problém vzhledem k sério-paralelnímu propojení jednotlivých článků. V nejhorším případě může dojít k roztavení článku, a tím k poškození celého modulu.

Abychom tomuto předcházeli, pak je zapotřebí použití obtokových diod (např. Schottkyho dioda), kterými se odkloní proud mimo zastíněný článek, jak je tomu na *obrázku 17*. Dioda se obvykle připojuje ke každým 6 článkům v závěrném směru. Když tedy dojde k zastínění, proud poteče přes obtokovou diodu a články jsou chráněné před poškozením (FV modul má obtokové diody již integrované). [57]



Obrázek 17 – Přemostění proudu pomocí obtokových diod [57]

6.4.2 Ztráty v teple

Vzhledem k dopadu slunečního záření na relativně tmavý FV panel vzniká určité množství tepla z toho důvodu, že se nezužítkovalo všechno dopadlé záření.

Základem je možná pasivní cirkulace vzduchu okolo propojených panelů. Toho lze dosáhnout dostatečnými mezerami mezi jednotlivými panely.

Pokud je k FV panelu připojen spotřebič a dochází k odběru proudu, tak se tímto může snížit povrchová teplota panelu.

Vznikající odpadní teplo by bylo vhodné nějakým způsobem využít pro dosažení lepší účinnosti, kde bude zahrnuta jak výroba elektřiny, tak tepla pomocí vhodného technologického řešení FV panelu. Otázkou však zůstává, zda se tato výrobní kombinace ekonomicky vyplatí. Nicméně v dnešní době již existují i takové koncepty zmíněné v *kapitole 6.4.2.2*.

Vlivem teploty lze paradoxně říci, že pro FV systém, který vyrobí nejvíce energie v letním období, tak má nejnižší účinnost, naopak v zimním období má účinnost nejvyšší, ale výnosnost je podstatně nižší.

Například pro střídač o výkonu 100 kW s běžnou účinností kolem 95 % je necelých 5 kW ztrát v teple. Zde je pak nezbytné chlazení pomocí ventilátorů, nebo pomocí vodního chlazení, kde by na těchto tzv. „horkých místech“ bylo vhodné umístěných výměňkových ploch, kde bude proudit studená napájecí voda, která se bude postupně ohřívat a akumulovat do akumulační nádrže pomocí oběhového čerpadla.

6.4.2.1 Vliv teploty na FV modul

Vlivem zvýšené teploty se zvýší difúzní hodnota minoritních nosičů náboje a zmenší se energetická mezera polovodiče, což vede ke zvýšení hustoty proudu. Tento nárůst je však zanedbatelný. Významnější je v tomto případě pokles napětí naprázdno.

FV článek na bázi křemíku je schopný fungovat cca od -40 do 80 °C. Při déle trvajícím sluneční intenzitě nebo zhoršených podmínkách chlazení článku (bezvětrí), kdy teplota vzduchu dosahuje 40 °C, dochází ke zvýšení povrchové teploty až na 80 °C. Při takto vysokých teplotách dochází k podstatným tepelným ztrátám což má za následek změnu elektrických vlastností článku, tedy snížení zatěžovací a výkonové charakteristiky směrem k nižším hodnotám svorkového napětí. [1], [17]

Z následující rovnice vyplývá, že pokud dojde ke změně teploty o 1 °C, tak dojde k poklesu výkonu o $-0,45$ %. Například pro povrchovou teplotu 80 °C, je pokles výkonu kolem 25 %. Pro FV článek na bázi GaAs dochází k poklesu výkonu o $-0,106$ %·K⁻¹ [55].

$$\frac{dP}{d\vartheta} \cong \frac{\Delta P}{\Delta \vartheta} = -0,45 \left[\frac{\%}{^{\circ}\text{C}} \right] \quad (16)$$

dP – změna výkonu vlivem změny teploty [%]

$d\vartheta$ – změna teploty – rozdíl povrchové teploty článku vůči teplotě za podmínek STC [°C]

6.4.2.2 Termický FV panel

Jedná se o druh hybridního typu FV a fototermického panelu, kde probíhá tzv. kogenerace, tedy výroba elektřiny a tepla.

Firma DualSun má patent, který využívá klasický FV panel, a tím v podstatě slouží jako deskový výměník. Ze zadní strany panelu o užité ploše $1,58$ m² a objemu $1,70$ l protéká vhodná pracovní látka např. etylenglykol. Maximální provozní tlak ve výměníku je 120 kPa při teplotě $74,7$ °C.

Tlaková ztráta na jeden panel je kolem 6 kPa na každých 200 l·h⁻¹. Instalovaný elektrický výkon je 250 W_p, tepelný výkon je 912 W_t. Přičemž samotná tloušťka tohoto panelu činí pouze 4 cm. [58]

6.4.3 Ztráty v DC rozvodech

Ztráty ve vodičích jsou dány velikostí odporu vodiče a velikostí tekoucího proudu. Z tabulky 6 vyplývá, že s klesajícím odporem a proudem klesají ztráty napětí, a tím i celkový přenesený výkon. Při výpočtu nelze zapomenout na to, že v rozvodu je nutno počítat s dvojnásobnou délkou vodičů, než odpovídá vzdálenosti zdroje od spotřebiče (proud teče tam a zpět). [28]

Eliminace těchto ztrát je pomocí zvolení patřičného průřezu, který rovněž napomáhá bezpečnosti v rozvodných větvích FV systému.

6.4.3.1 Odpor vodiče

$$R = \rho_{Cu} \cdot \frac{L}{S} \quad [\Omega] \quad (17)$$

ρ_{Cu} – rezistivita materiálu vodiče, pro měď je průměrná rezistivita $17,5 \cdot 10^{-9} \text{ } [\Omega \cdot \text{m}^{-1}]$

L – délka vodiče [m]

S – průřez vodiče [m^2]

6.4.3.2 Pokles napětí vlivem odporu vodiče

$$U = R \cdot I \quad [V] \quad (18)$$

I – proud protékající vodičem [A]

6.4.3.3 Ideální výkon přenášený vodičem

$$P_{id} = U \cdot I \quad [W] \quad (19)$$

6.4.3.4 Ztrátový výkon

Dosazením rovnice (17) do rovnice (20) se získá ztrátový výkon.

$$P_{ztrát} = R \cdot I^2 \quad [W] \quad (20)$$

Tabulka 6 – Ztráty v nízkonapěťových DC systémech vlivem délky a průřezu vodiče

Průřez [mm^2]	Průměr [mm]	Odpor na 100 m [Ω]	Pokles napětí [V]	Ztrátový výkon [W]	Pokles výkonu [%]
2	1,60	0,88	7,00	56,00	23,33
10	3,57	0,18	1,40	11,20	4,67
20	5,05	0,09	0,70	5,60	2,33

Vstupující parametry: vodič: Cu, délka: 100 [m], proud: 8 [A], napětí: 30 [V], výkon: 240 [W]

Zde patří zmínit, že pokud bude napětí 100 V, tak bude pokles výkonu při průřezu 2 mm^2 pouze 7 %. Z toho vyplývá, že je lepší přenášet vyšší napětí pro eliminaci ztrát, ovšem na úkor vyšší bezpečnosti. To je rovněž důvod proč se FV panely zapojují sériově.

Praktická část

7 Přehled spotřeby energií v RD

Rodinný dům se nachází ve vesnici Domanín, který je v kraji Vysočina. Souřadnice RD jsou 49,544714 severní šířky a 16,229974 východní délky, nadmořská výška je 581 m n.m. V domě se nachází celkem 6 osob.

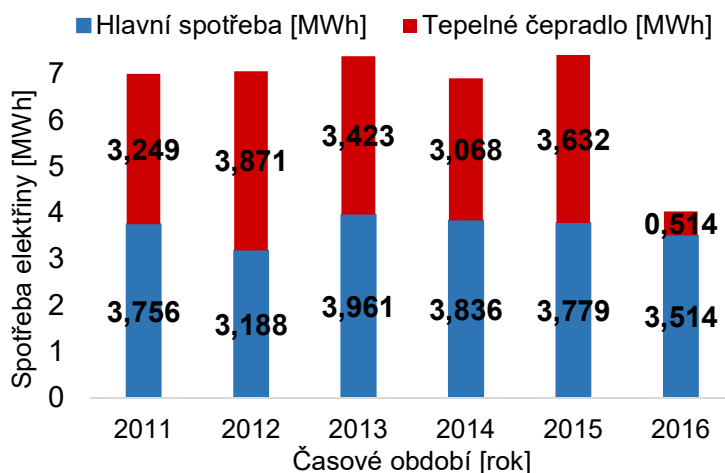
V objektu se nachází TČ, které slouží k výrobě tepelné energie viz *kapitola 7.2.*, čímž je současně ovlivněna spotřeba elektrické energie. Zjištění spotřeby elektrické energie v jednotlivých měsících je důležité z hlediska optimalizace navrhovaného výkonu FVE.

7.1 Přehled spotřeb elektrické energie

Současným dodavatelem elektřiny do objektu je eYello, k.s., v ČR pod značkou Yello Energy, který spadá do skupiny E.ON. Cena tarifu D56d za VT a NT je od tohoto dodavatele stejná, pro výpočty kalkulace cen je dále ve výpočtech použita cena za elektřinu ve výši 2,744 Kč·kWh⁻¹, částka rovněž zahrnuje veškeré poplatky.

Velikost hlavního jističe je 3×20 A, kde poplatek činí 208 Kč za měsíc. Přehled spotřeby elektrické energie v jednotlivých letech se nachází v *grafu 3*.

Pro rok 2016 je patrné, že spotřeba za provoz TČ byla v porovnání s jinými roky mnohonásobně menší, to je způsobeno odstavením TČ po dobu cca 8 měsíců, kde byl následně problém s pracovní látkou, po odstranění oprav se TČ uvedlo zpět do provozu.



Graf 3 – Spotřeba elektrické energie za jednotlivé roky

7.1.1 Přehled jednotlivých spotřebičů a odběru

V následujících tabulkách se nachází používané spotřebiče, které jsou využívány v RD. Výpočet je proveden na základě průměrné denní doby používání daného spotřebiče v měsíci únoru. Měření příkonu probíhalo pomocí měřiče Voltcraft Energy Logger 4000F.

7.1.1.1 Technické parametry měřiče příkonu

- Maximální měřený výkon je 3500 W, při napětí 230 V, frekvenci 50 Hz a střídavém proudu 15 A.
- Přesnost měřeného výkonu pro měření standby spotřeby do 2 W ± 15 %, pro výkon od 2 do 3500 W je přesnost ± 5 %.

7.1.1.2 Výpočet spotřeby elektřiny

Potřebná spotřeba se určí pomocí známého příkonu, který je odebírán po daný časový úsek. Modelový výpočet je proveden pro rychlovarnou konvici za jeden průměrný den, kde je průměrná doba spuštění 3 minuty při provozu 4krát za den. Dále je zmíněna cena za tento provoz. Celková spotřeba elektrické energie je stanovena na základě součtu odebrané energie za dané období.

$$P_{spotř.} = P_i \cdot h_t = 1860 \cdot \frac{3 \cdot 4}{60} = 372 \quad [Wh] \quad (21)$$

P_i – příkon spotřebiče [W]

h_t – doba spuštění spotřebiče [h]

7.1.1.3 Cena za odebranou elektrickou energii

Kalkulace ceny je provedena na základě odebrané elektrické energie násobené cenou za elektřinu.

$$C_{el} = P_{spotř.} \cdot K_T = \frac{372}{1000} \cdot 2,744 = 1,02 \quad [Kč] \quad (22)$$

K_T – základní cena za 1 kWh elektřiny dle tarifní sazby [$Kč \cdot kWh^{-1}$]

Tabulka 7 – Přehled spotřeby elektrické energie v kategorii výroba tepla

Spotřebič	Příkon [W]	Denní spotřeba [kWh/den]	Měsíční spotřeba [kWh]	Náklady na provoz [Kč/den]	Podíl na měsíční spotřebě [%]
Tepelné čerpadlo	1361	11,81	333,58	32,40	90,91
Čerpadlo – studna	900	0,47	13,14	1,28	6,38
Čerpadlo – TČ	22	0,07	1,90	0,18	0,92
Čerpadlo – TUV	22	0,04	1,03	0,10	0,50
Čerpadlo – radiátory	7	0,01	0,38	0,04	0,18
Kotel – čerpadlo	48	0,05	1,33	0,13	0,65
Kotel – spalínový ventilátor	50	0,03	0,93	0,09	0,45
Celkem	2410,00	12,47	352,28	34,22	100,00

Tabulka 8 – Přehled spotřeby elektrické energie v kategorii **vaření**

Spotřebič	Příkon [W]	Denní spotřeba [kWh/den]	Měsíční spotřeba [kWh]	Náklady na provoz [Kč/den]	Podíl na měsíční spotřebě [%]
Elektrický sporák	4000	4,87	137,44	13,35	85,55
Elektrická trouba	1530	0,33	9,26	0,90	5,77
Rychlovarná konvice	1860	0,37	10,51	1,02	6,54
Toustovač	735	0,10	2,77	0,27	1,72
Digestoř	115	0,02	0,68	0,07	0,42
Celkem	8240,00	5,69	160,66	15,60	100,00

Tabulka 9 – Přehled spotřeby elektrické energie v kategorii **chlazení**

Spotřebič	Příkon [W]	Denní spotřeba [kWh/den]	Měsíční spotřeba [kWh]	Náklady na provoz [Kč/den]	Podíl na měsíční spotřebě [%]
Lednice s mrazákem	28,33	0,68	19,21	1,87	100,00
Celkem	28,33	0,68	19,21	1,87	100,00

Tabulka 10 – Přehled spotřeby elektrické energie v kategorii **domácí nástroje**

Spotřebič	Příkon [W]	Denní spotřeba [kWh/den]	Měsíční spotřeba [kWh]	Náklady na provoz [Kč/den]	Podíl na měsíční spotřebě [%]
Vysavač	1587	0,16	4,48	0,44	56,47
Mlýnek na obilí	358	0,02	0,51	0,05	6,37
Mixer	496	0,02	0,47	0,05	5,88
Šlehač	450	0,02	0,42	0,04	5,34
Odšťavňovač	850	0,03	0,80	0,08	10,08
Holící strojek	5,1	0,00	0,00	0,00	0,06
Fén na vlasy	1332	0,04	1,25	0,12	15,80
Celkem	5078,10	0,28	7,94	0,77	100,00

Tabulka 11 – Přehled spotřeby elektrické energie v kategorii **pracovní nástroje**

Spotřebič	Příkon [W]	Denní spotřeba [kWh/den]	Měsíční spotřeba [kWh]	Náklady na provoz [Kč/den]	Podíl na měsíční spotřebě [%]
Kompresor	1100	0,01	0,41	0,04	14,97
Bruska	1100	0,01	0,26	0,03	9,35
Vrtačka	1100	0,06	1,55	0,15	56,12
Přímočará pila	1100	0,02	0,52	0,05	18,71
Šicí stroj	100	0,00	0,02	0,00	0,85
Celkem	4500,00	0,10	2,77	0,27	100,00

Tabulka 12 – Přehled spotřeby elektrické energie v kategorii **kancelářská technika**

Spotřebič	Příkon [W]	Denní spotřeba [kWh/den]	Měsíční spotřeba [kWh]	Náklady na provoz [Kč/den]	Podíl na měsíční spotřebě [%]
Stolní počítač	120,2	0,13	3,74	0,36	19,83
Notebook	38,5	0,35	9,79	0,95	51,97
Modem – router	4,9	0,12	3,32	0,32	17,64
Nabíjení mobilu, tabletu	5, 10	0,07	1,96	0,19	10,40
Nabíječ baterií	3 ÷ 10	0,00	0,03	0,00	0,16
Celkem	176,60	0,67	18,84	1,83	100,00

Tabulka 13 – Přehled spotřeby elektrické energie v kategorii **zábava**

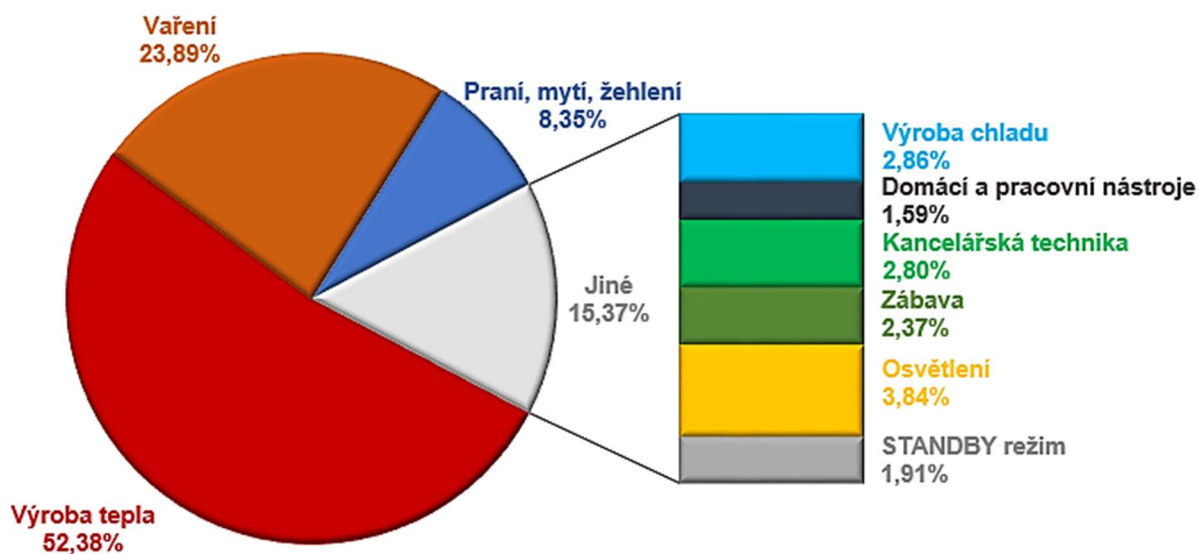
Spotřebič	Příkon [W]	Denní spotřeba [kWh/den]	Měsíční spotřeba [kWh]	Náklady na provoz [Kč/den]	Podíl na měsíční spotřebě [%]
Televize Gogen	118,1	0,29	8,11	0,79	50,84
Televize Sony – LCD	46	0,16	4,55	0,44	28,52
Rádio LG – Hifi	28	0,08	2,37	0,23	14,88
Rádio Phillips	5	0,03	0,92	0,09	5,76
Celkem	197,10	0,56	15,95	1,55	100,00

Tabulka 14 – Přehled spotřeby elektrické energie v kategorii **praní, mytí, žehlení**

Spotřebič	Příkon [W]	Denní spotřeba [kWh/den]	Měsíční spotřeba [kWh]	Náklady na provoz [Kč/den]	Podíl na měsíční spotřebě [%]
Myčka na nádobí	452	0,90	25,54	2,48	45,36
Pračka	310	0,81	22,99	2,23	40,84
Žehlící lis	1650	0,28	7,77	0,75	13,80
Celkem	2412,00	1,99	56,30	5,47	100,00

Tabulka 15 – Přehled spotřeby elektrické energie v kategorii **osvětlení**

Spotřebič	Příkon [W]	Denní spotřeba [kWh/den]	Měsíční spotřeba [kWh]	Náklady na provoz [Kč/den]	Podíl na měsíční spotřebě [%]
Úsporná žárovka	4, 8, 10, 12	0,69	19,42	1,89	75,22
LED žárovka	4, 6, 8	0,23	6,40	0,62	24,78
Celkem	387,00	0,91	25,82	2,51	100,00

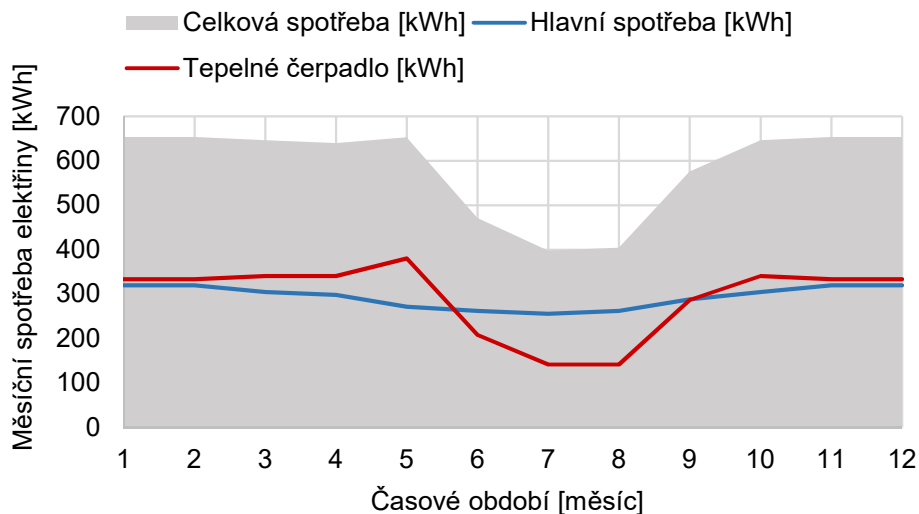


Graf 4 – Přehled průměrné denní spotřeby za elektrickou energii v měsíci únor roku 2017

Průměrná denní spotřeba elektrické energie byla spočítána pro měsíc únor, kde spotřeba činí 23,147 kWh. Zde patří zmínit, že téměř 53 % z této denní spotřeby odebírá TČ, naopak pro letní období bude spotřeba objektu jiná, což popisuje souhrnný roční graf 5.

7.1.2 Celková roční spotřeba elektrické energie

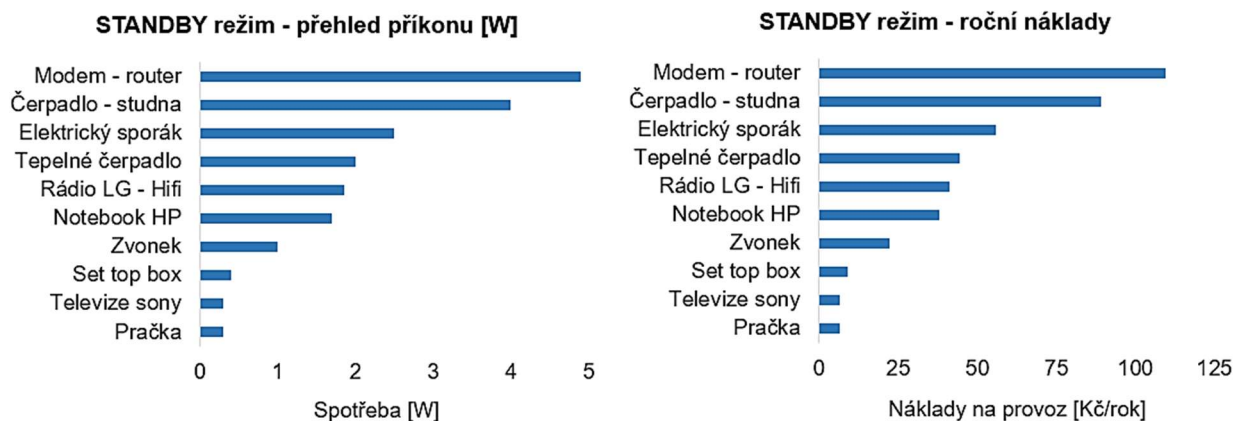
Celková roční spotřeba vychází na 7,108 MWh, kde 3,576 MWh spotřebuje provoz TČ viz kapitola 7.2.3., což odpovídá hodnotám z minulých let. Mírný nárůst spotřeby TČ v květnu má za následek to, že se nemusí potřebné teplo dodávat pomocí kotle, ale bude pokryto pouze TČ. Pro měsíce od června do srpna je spotřeba elektřiny výrazně menší, jelikož TČ vyrábí pouze TUV, dále klesá hlavní spotřeba elektrické energie vzhledem ke snížení průměrné měsíční spotřeby v kategoriích osvětlení, kancelářská technika a zábava. Tímto je objekt znevýhodněn, vzhledem k tomu, že v letní období potřebuje téměř o polovinu méně elektrického výkonu vůči zimnímu období.



Graf 5 – Modelová celková spotřeba elektrické energie v průběhu roku v jednotlivých měsících

7.1.3 Možné úspory za elektrickou energií – Standby režim

Pokud jsou jednotlivé spotřebiče stále zapojené v elektrické síti, pak mohou odebírat stálý příkon. Nicméně tento příkon je relativně malý, avšak z hlediska jednoho roku, je spotřeba za tento režim v RD cca 423 Kč. Je třeba poznamenat, že tato hodnota se v celkové promítnuté roční spotřebě může pohybovat i v mnohem vyšších hodnotách Kč za rok. Ve zkoumaném RD je tedy tento režim relativně dobře ošetřen.



Graf 6 – Přehled spotřebičů v RD, které odebírají trvalý příkon

Další možností, jak snížit úspory za elektrickou energii, například pro myčku na nádobí, pračku nebo rychlovarnou konvici je využívání již teplé vody na vstupu namísto běžné studené vody, která je ohřívána samostatně, a tím odebírá vyšší příkon spotřebiči.

7.2 Přehled spotřeb tepelné energie

Rodinný dům vyrábí tepelnou energii pomocí TČ Spirála WW05 a zplyňovacího kotle ATMOS kombi C18S, se spalínovým ventilátorem a emisní třídou 4 dle ČSN EN 303-5. TČ je využíváno především pro ohřev TUV, zároveň slouží jako bivalentní zdroj tepla, který poskytuje teplo v topné sezóně viz *graf 7*. Pracovní látkou TČ v uzavřeném okruhu je chladivo 407C, kompresorová jednotka je poháněna hermetickým kompresorem scroll. Použité výpočtové vztahy byly převzaty z *literatury* [59].

Tabulka 16 – Technické parametry TČ Spirála WW05

Technický údaj	Hodnota	Jednotka
Kondenzátor vstupní/výstupní teplota	45/50	[°C]
Max. tlak v kondenzátoru	0,3	[MPa]
Max. tlak chladiva v kondenzátoru	0,295	[MPa]
Výparník vstupní/výstupní teplota	10/7	[°C]
Max. tlak ve výparníku	0,05	[MPa]
Max. tlak chladiva ve výparníku	0,2	[MPa]
Topný výkon	5,1	[kW]
Elektrický příkon	1,361	[kW]
Topný faktor	3,747	[-]
Hmotnost	78	[kg]
Rozměr jednotky (V,øD)	650×500	[mm]

Tabulka 17 – Technické parametry kotle ATMOS kombi C18S

Technický údaj	Hodnota	Jednotka
Jmenovitý výkon	20	[kW]
Účinnost kotle	81÷85	[%]
Výhřevná plocha	1,8	[m ²]
Objem vody ve výměníku	45	[dm ³]
Provozní výstupní teplota	80÷90	[°C]
Teplota vratné vody	65	[°C]
Teplota spalin při jmenovité výkonu	218	[°C]
Předepsaný min. tah komína	20	[Pa]

7.2.1 Výpočet potřeby tepla na vytápění

Výpočet je proveden na základě průměrných teplot během otopného období t_{es} v jednotlivých měsících dle meteostanice v blízkosti RD, viz *literatura* [60]. Celkový počet dnů v topném období je 270, vytápěná podlahová plocha je 164,7 m², tepelná ztráta objektu Q_z je 7,3 kW. Průměrná vnitřní výpočtová teplota t_{is} v objektu je 20 °C.

Ukázkový výpočet je proveden pro měsíc leden a říká, že pro udržení požadované teploty v objektu při výčtových teplotách bude potřeba dodat právě 10,258 GJ tepla. **Poznámka:** pro přepočítání výkonu na teplo platí, že 1 W odpovídá teplu 3600 J.

$$Q_{VYT_{leden}} = \frac{\eta_\varepsilon \cdot Q_z \cdot D \cdot 24}{\eta_s \cdot (t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = \frac{0,765 \cdot 7,3 \cdot 709,9 \cdot 24}{0,9 \cdot (20 - (-17))} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = 10,258 \quad [GJ] \quad (23)$$

η_ε – opravný součinitel účinnosti systému pro stavby střední s krátkými otopnými přestávkami, tedy noční útlum nebo pro stavby těžké, bez otopných přestávek, pak je $\varepsilon = 0,765$ [-]

η_s – účinnost, která zahrnuje možnost regulace soustavy 0,95 [-] (účinnost obsluhy) a účinnost v rozvodu vytápění 0,95 [-], kde součin těchto dvou hodnot je posléze roven 0,9 [-]

Q_z – tepelná ztráta objektu [kW]

t_{is} – průměrná vnitřní výpočtová teplota v objektu volena 20 [°C]

t_e – venkovní výpočtová teplota je -17 [°C]

7.2.1.1 Vytápěcí denostupně

Ukázkový výpočet denostupně je proveden pro měsíc leden.

$$D = n_{den} \cdot (t_{is} - t_{es}) = 31 \cdot (20 - (-2,9)) = 709,9 \quad [K] \quad (24)$$

t_{es} – průměrná venkovní teplota během otopného období, nebo měsíce [°C]

n_{den} – počet dnů v daném měsíci [-]

7.2.1.2 Denní potřeba tepla na TUV

TUV je uvažována 40 litrů na osobu, pro šest osob je potom objem spotřeby TUV 0,24 m³. Následující vztah vychází upravením z kalorimetrické rovnice. Teplota TUV je počítána s 50 °C. Výsledek zde říká, že pro jeden průměrný lednový den bude třeba dodat 17,998 kWh tepla na TUV. Po přepočtu tepelného výkonu na tepelnou energii je za měsíc leden dodáno 2,008 GJ tepla. Roční spotřeba tepla na TUV je počítána s proměnnou teplotou napájecí vody z hlubinného vrtu v intervalu od 7 do 9 °C. Celkem je tedy dodáno 22,955 GJ.

$$Q_{TUV(den)} = (1 + z) \cdot m \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T = (1 + z) \cdot \frac{V_{TUV(den)} \cdot \rho \cdot c_{H_2O} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = (1 + 0,5) \cdot \frac{0,24 \cdot 1000 \cdot 4186 \cdot (50 - 7)}{3,6 \cdot 10^6} = 17,998 \quad [kWh / den] \quad (25)$$

z – koeficient energetických ztrát systému pro akumulaci TUV, rozvody v nových stavbách 0,5 [-]

$V_{TUV(den)}$ – potřebný objem TUV na den [m³]

ρ_{H_2O} – hustota vody za NFP je 999,94 [kg·m⁻³]

c_{H_2O} – měrná tepelná kapacita vody je za NFP rovna 4186 [J·kg⁻¹·K⁻¹]

t_1 – teplota studené vody [°C]

t_2 – teplota teplé vody [°C]

7.2.2 Výpočet COP_t dle tepelného výkonu a elektrického příkonu

$$COP_t = \frac{Q_H}{A_t} = \frac{5100}{1361} = 3,747 \quad [-] \quad (26)$$

Q_H – tepelný výkon [W]

A_t – práce tepelného čerpadla (elektrický příkon) [W]

7.2.3 Výpočet výroby tepla pomocí TČ

Pro přepočítání tepelné energie na elektrický příkon TČ je nutné znát jeho topný faktor. Následující výpočet ukazuje, že za jeden průměrný lednový den TČ spotřebuje 4,803 kWh elektrické energie, avšak pouze na ohřev TUV. *Tabulka 18*, zachycuje celkový příkon TČ a jeho podílení se na vytápění. Po celkové stránce TČ vyrobí za jeden rok cca 48,242 GJ tepelné energie.

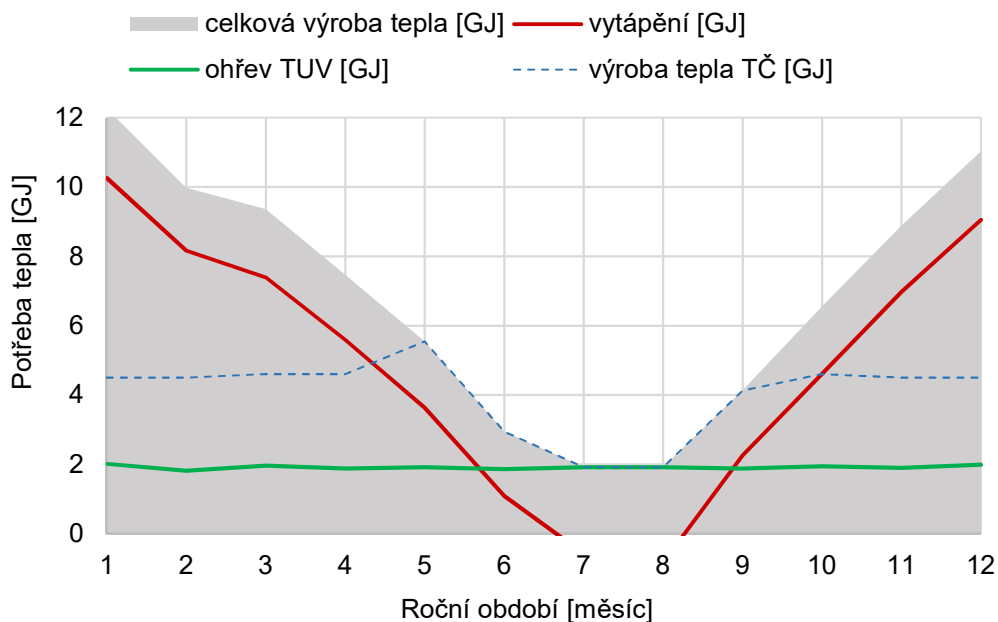
$$E_{TČ} = \frac{Q_{TUV(den)}}{COP_t} = \frac{17,998}{3,747} = 4,803 \quad [kWh / den] \quad (27)$$

Tabulka 18 – Přehled spotřeb výroby tepelné energie, včetně zobrazení elektrického příkonu TČ s běžnou provozní denní dobou

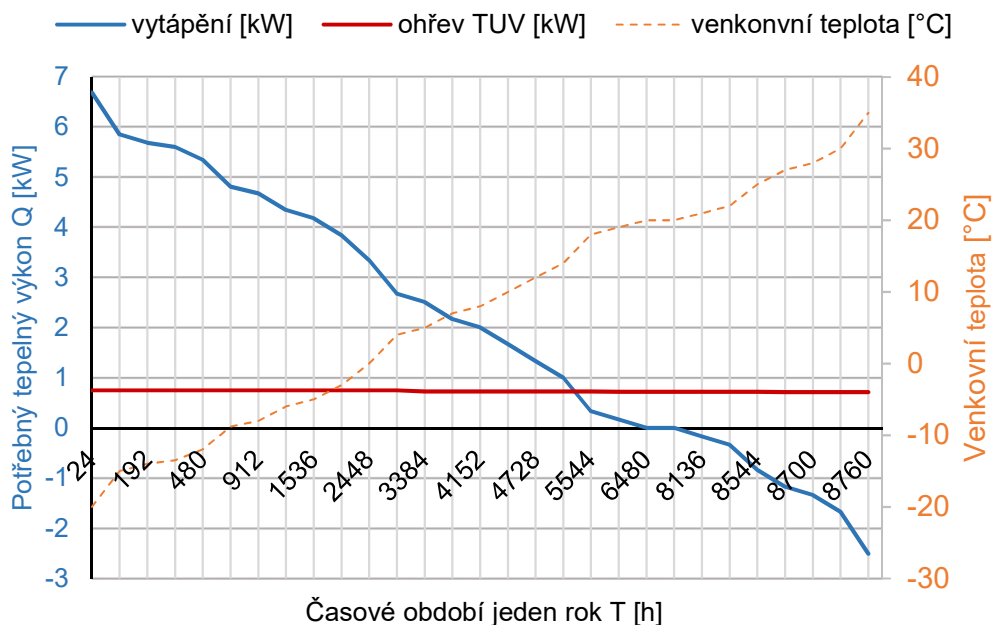
Období	Průměrná venkovní teplota [°C]	TČ vytápění [GJ]	Kotel vytápění [GJ]	TČ ohřev TUV [GJ]	Celkové teplo [GJ]	Spotřeba elektrické energie TČ [kWh]	Běžná provozní doba TČ [den]
Leden	-2,9	2,49	7,77	2,01	12,27	333,58	7,91
Únor	0,0	2,69	5,47	1,81	9,97	333,58	8,68
Březen	3,5	2,64	4,75	1,96	9,35	340,99	8,08
Duben	7,1	2,72	2,87	1,88	7,47	340,99	8,35
Květen	11,9	3,63	0,00	1,92	5,54	410,94	9,74
Červen	17,5	1,08	0,00	1,85	2,94	217,74	5,33
Červenec	21,3	0,00	0,00	1,92	1,92	141,98	3,37
Srpen	21,9	0,00	0,00	1,92	1,92	141,98	3,37
Září	14,8	2,25	0,00	1,88	4,13	306,17	7,50
Říjen	9,7	2,66	1,95	1,94	6,55	340,99	8,08
Listopad	3,9	2,60	4,38	1,90	8,88	333,58	8,17
Prosinec	-0,2	2,51	6,53	1,99	11,03	333,58	7,91
Celkem	-	25,29	33,72	22,95	81,97	3576,09	2627,55

Celková spotřeba tepelné energie na vytápění je součtem vytápění pomocí TČ a kotle. Za jednu topnou sezónu je třeba dodat 59,011 GJ tepla. Potřeba tepla na ohřev TUV je v objektu spočítána na 22,955 GJ ročně. Celkově je třeba do objektu dodávat teplo 81,966 GJ za jeden kalendářní rok.

Jako zajímavost patří říci, že pokud bude požadovaná průměrná teplota objektu vyšší o 1 °C (tedy z 20 na 21 °C), pak bude potřeba dodávat více tepla na vytápění a náklady tím vzrostou o cca 5,35 %.



Graf 7 – Přehled celkové výroby tepelné energie



Graf 8 – Q-t diagram trvání potřeby tepla včetně zobrazení venkovních teplot

Diagram je počítán pro již zmíněnou stálou vnitřní průměrnou teplotu v objektu a to 20 °C, pro udržení této teploty říká diagram to, že v daném časovém úseku bude potřeba dodávat daný tepelný výkon, například pro teplotu -15 °C, která je cca 80 h ročně, je zapotřebí dodávat cca 6 kW tepla. Naopak chladicí výkon je dodáván, když venkovní teplota převyšuje teplotu objektu. Pro tepelnou pohodu je zde vidět jaký by měl být instalovaný výkon možné klimatizační jednotky, která bude lehce balancovat letní pokles elektrické energie, zobrazené na *grafu 5*.

8 Dopad slunečního záření v lokaci RD

Střecha objektu je plechová o celkové užité ploše cca 160 m². Výhodou je zde sklon střechy, který je pod sklonem 30° (nicméně samotný sklon α lze nastavit dle toho jaká je zvolena nosná střešní konstrukce pro uchycení FV panelů), odklon od směru Jih je 9°, což má minimální vliv na energetické zisky.

Dopadající sluneční záření je počítáno jak pro fixní konstrukci za stálého sklonu α , tak pro vertikální natáčení, které využívá sledovače azimutu za daného sklonu α a natáčení ve dvou osách.

Následující použité vztahy byly převzaty z literatury [7], [6], [61]

Výpočty jsou uvažovány pro slunečný červnový den a to ve 12:00 hodin, pro oblast 50° s.š., sklon $\alpha=38^\circ$, odklon od směru Jih $a_s=9^\circ$

8.1 Přímé sluneční záření

Zde dochází ke zmenšení intenzity přímého slunečního záření průchodem paprsků atmosférou, které závisí na znečištění atmosféry. [7] Součinitel Z je volen pro oblast venkova. Intenzita přímého záření I_{pn} na plochu kolmou ke směru paprsků je pak dána vztahem:

$$I_{pn} = I_o \cdot e^{\left(\frac{-Z}{\varepsilon}\right)} = 1360 \cdot e^{\left(\frac{-3,4}{9,827}\right)} = 962,215 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (28)$$

I_o – sluneční konstanta [$W \cdot m^{-2}$]

Z – součinitel znečištění atmosféry [-]

ε – součinitel [-], který uvažuje polohu Slunce viz rovnice (30)

8.1.1 Součinitel zákalu atmosféry

Čím menší je tento součinitel, tím více záření proniká na povrch – optimem by byla hodnota Z rovna jedné. Tento stav se nazývá Rayleighova atmosféra (ideální atmosféra bez vodních par, aerosolů a prachu). [7]

$$Z = \frac{\ln(I_o) - \ln(I_N)}{\ln(I_o) - \ln(I_c)} \quad [-] \quad (29)$$

I_N – intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům daná znečištěním ovzduší [$W \cdot m^{-2}$]

I_c – intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům za čistého ovzduší [$W \cdot m^{-2}$]

Tabulka 19 – Součinitele zákalu atmosféry v průběhu roku [6]

Oblast	Měsíc												Průměr
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Hory	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,3	2,3	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,9
Venkov	2,1	2,2	2,5	2,9	3,2	3,4	3,5	3,3	2,9	2,6	2,3	2,2	2,8
Město	3,1	3,2	3,5	4,0	4,2	4,3	4,4	4,3	4,0	3,6	3,3	3,1	3,8
Průmyslová oblast	4,1	4,3	4,7	5,3	5,5	5,7	5,8	5,7	5,3	4,9	4,5	4,2	5,0

8.1.2 Součinitel, který zohledňuje výšku Slunce nad obzorem a nadmořskou výšku

$$\varepsilon = \frac{9,381 \cdot \left[\sin(h) + \left[0,003 + \sin^2(h) \right]^{0,5} \right]}{2,002 \cdot (1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,910 = \quad (30)$$

$$\frac{9,381 \cdot \left[\sin(63,55^\circ) + \left[0,003 + \sin^2(63,55^\circ) \right]^{0,5} \right]}{2,002 \cdot (1 - 581 \cdot 10^{-4})} + 0,910 = 9,827 \quad [-]$$

h – výška Slunce nad obzorem [°]

H – nadmořská výška daného místa [m]

Tabulka 20 – Výška slunce nad obzorem h [°] pro místa 50° severní šířky [7]

Měsíc	Hodina							
	12	11, 13	10, 14	9, 15	8, 16	7, 17	6, 18	5, 19
12	16,55	15,35	11,88	6,43				
1, 11	20,00	18,75	15,20	9,50				
2, 10	28,50	27,12	23,13	17,02	9,33			
3, 9	40,00	38,33	33,86	27,03	18,75	9,58		
4, 8	51,50	49,57	44,27	36,73	27,88	18,40	8,78	
5, 7	60,00	57,72	51,72	43,57	34,62	24,73	15,18	6,07
6	63,55	60,97	54,52	46,20	36,85	27,23	17,75	8,75

Tabulka 21 – Azimut⁶ a [°] Slunce pro místa 50° severní šířky [7]

Měsíc	Hodina							
	5	6	7	8	9	10	11	12
12					-40,77	-27,95	-14,25	0,00
1, 11					-42,35	-29,13	-14,88	0,00
2, 10				-59,32	-46,43	-32,20	-16,55	0,00
3, 9			-78,40	-66,17	-52,55	-37,00	-19,28	0,00
4, 8		-97,43	-86,00	-73,77	-59,83	-43,17	-23,02	0,00
5, 7	-114,10	-103,17	-92,67	-81,43	-66,50	-49,10	-27,08	0,00
6	-116,28	-105,57	-94,70	-83,17	-69,00	-52,20	-29,30	0,00

Měsíc	Hodina							
	12	13	14	15	16	17	18	19
12	0,00	14,25	27,95	40,77				
1, 11	0,00	14,88	29,13	42,35				
2, 10	0,00	16,55	32,20	46,43	59,32			
3, 9	0,00	19,28	37,00	52,55	66,17	78,40		
4, 8	0,00	23,02	43,17	59,83	73,77	86,00	97,43	
5, 7	0,00	27,08	49,10	66,50	81,43	92,67	103,17	114,10
6	0,00	29,30	52,20	69,60	83,17	94,70	105,57	116,28

⁶ Azimut Slunce a rovněž označován jako obzorníková souřadnice. Měří se od směru Jih ve smyslu otáčení hodinových ručiček jako kladná hodnota, ve smyslu proti otáčení jako záporná hodnota. V poledne azimut dosahuje hodnot 0°. [7]

Poznámka: Pro přepočítání radiánů na stupně platí, že 1 [rad] = 57,296 [°]

8.1.3 Intenzita přímého slunečního záření na obecně položenou plochu

Směr dopadu slunečních paprsků je dán vzájemnou polohou mezi Sluncem a ozářenou plochou, tzn. v každém okamžiku je poloha Slunce dána jeho výškou nad obzorem a azimutem.

$$I_p = I_{pn} \cdot \cos(\gamma) = 962,215 \cdot 0,976 = 939,482 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (31)$$

$\cos(\gamma)$ – úhel dopadu slunečních paprsků mezi směrem normály ozářené plochy [rad]

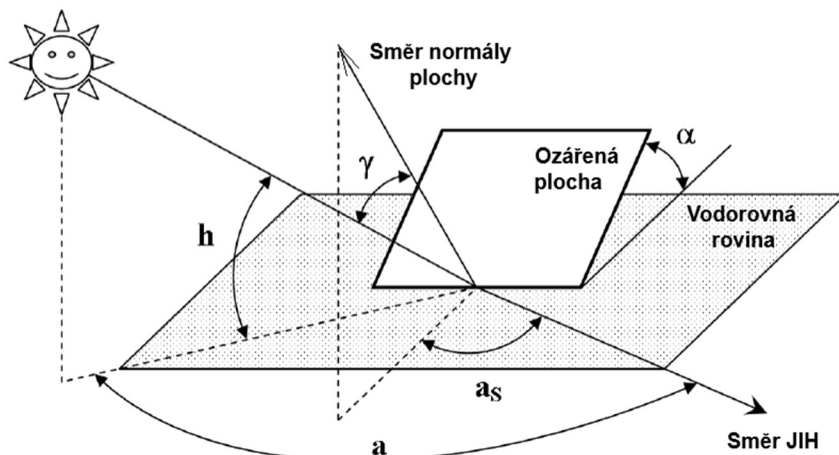
8.1.4 Úhel dopadu pro fixní (statický) systém

$$\begin{aligned} \cos(\gamma) &= \sin(h) \cdot \cos(\alpha) + \cos(h) \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(a - a_s) = \\ &= \sin(63,55^\circ) \cdot \cos(38^\circ) + \cos(63,55^\circ) \cdot \sin(38^\circ) \cdot \cos(0^\circ - 9^\circ) = 0,976 \quad [rad] \end{aligned} \quad (32)$$

α – úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné roviny [°]

a – azimut Slunce [°]

a_s – azimutový úhel normály osluněné plochy od směru jih [°]



Obrázek 18 –

Úhel dopadu slunečních paprsků na obecně položenou plochu [6]

8.1.5 Vertikální natáčení v jedné ose

U natáčení ve vertikálním směru dochází ke sledování azimutu Slunce a . Pro tento systém natáčení je vhodné FV moduly orientovat do optimálního sklonu mezi panelem a vodorovnou rovinou. Použitím je dosaženo až o 30 % (v ideálním případě) vyšší výnosnosti než u fixní instalace.

Rovnice (33) popisuje vertikální natáčení pro nastavený optimální úhel α 42° mezi panelem a vodorovnou rovinou, odklon od směru jih a_s je počítán s 0° [62].

$$\begin{aligned} \cos(\gamma) &= \sqrt{1 - \left\{ \cos(h - \alpha) - \cos(\alpha) \cdot \cos(h) \cdot [1 + \cos(a - a_s)] \right\}^2} = \\ &= \sqrt{1 - \left\{ \cos(63,55^\circ - 42^\circ) - \cos(42^\circ) \cdot \cos(63,55^\circ) \cdot [1 + \cos(0^\circ - 0^\circ)] \right\}^2} = 0,977 \quad [rad] \end{aligned} \quad (33)$$

8.1.1 Natáčení ve dvou osách

U této varianty řešení dopadá sluneční záření téměř vždy kolmo na osluněnou plochu. [56] Tímto systémem se zvýší roční energetická výtěžnost až o 50 % (v ideálním případě) oproti fixní instalaci viz *tabulka 24*.

$$\cos(\gamma) = 1 \quad [rad] \quad (34)$$

8.2 Difúzní sluneční záření

Záření, které se v atmosféře rozptýlilo vlivem odrazu o molekuly plynů ve vzduchu, částice prachu a mraky, proniká k povrchu Země jako difúzní záření. Intenzita difúzního záření vzrůstá se součinitelem znečištění atmosféry, avšak výsledná celková intenzita záření klesá, neboť s rostoucím znečištěním atmosféry se intenzita I_p zmenšuje rychleji, než se zvětšuje intenzita I_D . Pokud je obloha zcela zatažená, tak působí pouze záření difúzní. [7] Modelový výpočet je proveden pro fixní systém.

$$I_D = 0,5 \cdot [1 + \cos(\alpha)] \cdot I_{Dh} + 0,5 \cdot r \cdot [1 - \cos(\alpha)] \cdot (I_{Ph} + I_{Dh}) =$$

$$0,5 \cdot [1 + \cos(38^\circ)] \cdot I_{Dh} + 0,5 \cdot 0,2 \cdot [1 - \cos(38^\circ)] \cdot (861,49 + 117,53) = 125,83 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (35)$$

r – reflexní schopnost okolních ploch pro sluneční paprsky nejčastěji od 0,15 do 0,25 [-]

I_{Ph} – intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu [$W \cdot m^{-2}$]

I_{Dh} – intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu [$W \cdot m^{-2}$]

8.2.1 Intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu

$$I_{Ph} = I_{Pn} \cdot \sin(h) = 962,22 \cdot \sin(63,55^\circ) = 861,49 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (36)$$

8.2.2 Intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot (I_O - I_{Pn}) \cdot \sin(h) = 0,33 \cdot (1360 - 962,22) \cdot \sin(63,55^\circ) = 117,53 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (37)$$

8.2.3 Intenzita celkového slunečního záření

Celkové záření se skládá z přímého – *rovnice (31)* a difúzního – *rovnice (35)*

$$I_C = I_p + I_D = 939,48 + 125,83 = 1065,31 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (38)$$

8.3 Výkon dopadající na osluněnou plochu

8.3.1 Teoretické množství energie dopadající za den

Intenzita celkového záření I_C , která dopadne v průběhu dne je úměrná dopadající energii na osluněnou plochu. Rovnice (39) popisuje integrální součet pro výpočet plochy pod křivkou, kde se uvažuje časový úsek, který začíná od východu do západu Slunce. Pro vizualizaci toho, jak může vypadat takové dopadající záření v průběhu dne je tu graf 9.

Modelový výpočet je proveden pro slunečný červnový den, oblast 50° s.š., sklon $\alpha=38^\circ$, odklon od směru Jih $a_s=9^\circ$

$$Q_{S(den-teor)} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I_C \cdot d\tau = 9090,60 \quad [Wh \cdot m^{-2}] \quad (39)$$

τ_1 – doba od východu Slunce a začátku dopadání slunečního záření [h]

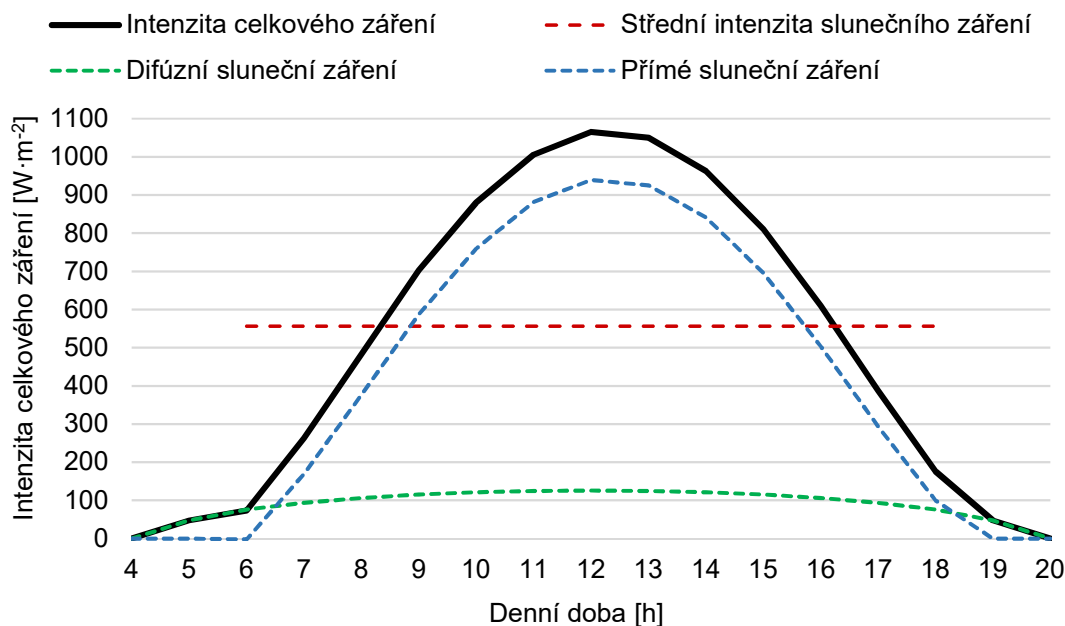
τ_2 – doba do západu Slunce a konce dopadání slunečního záření [h]

8.3.2 Střední intenzita slunečního záření

Výpočet udává poměr mezi teoretickým množstvím dopadajícího záření vůči teoretické době slunečního svitu.

$$I_{stř} = \frac{1}{\tau_{teor}} \cdot \int_{\tau_1}^{\tau_2} I_C \cdot d\tau = \frac{Q_{S(den-teor)}}{\tau_{teor}} = \frac{9090,60}{16,34} = 556,34 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (40)$$

τ_{teor} – teoretická doba slunečního svitu [h]



Graf 9 – Intenzita celkového slunečního záření pro červnový den, kde je uvažován fixní systém. Z grafu je patrné, že s raním rozbřeskem a večerním úsvitem působí pouze difúzní záření.

8.3.3 Poměrná doba slunečního svitu

Známe-li hodnotu poměrné doby slunečního svitu dle *tabulky 22*, pak je možné stanovit skutečné množství dopadající energie na osluněnou plochu za měsíc. Je patrné, že pro letní měsíce bude doba slunečního svitu delší než v zimních měsících, protože Slunce je déle na obzoru. Poměrná doba udává poměr mezi skutečnou dobou svitu vůči teoretické době svitu. Ve výpočtu se uvažují doby slunečního svitu po oblast Brna.

$$\tau = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}} = \frac{8,66}{16,34} = 0,53 \quad [-] \quad (41)$$

τ_{skut} – skutečná doba slunečního svitu [h]

Tabulka 22 – Poměrná, skutečná a teoretická doba slunečního svitu pro oblast Brna v jednotlivých měsících [7]

Brno	Měsíc											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T	0,18	0,31	0,38	0,39	0,48	0,53	0,56	0,53	0,5	0,37	0,23	0,12
T_{skut}	1,49	3,14	4,56	5,14	7,54	8,66	8,79	7,37	6	3,74	1,9	0,94
T_{teor}	8,26	10,12	12	13,19	15,7	16,34	15,7	13,9	12	10,12	8,26	7,85

8.3.4 Skutečné množství dopadající energie za den

Skutečné množství energie značí, že během dne není vždy jasná obloha. Může nastat případ, kdy je zataženo, nicméně toto nejasné počasí lze počítat přes poměrnou dobu svitu, která ho již zahrnuje.

$$Q_{S(den-skut)} = \tau \cdot Q_{S(den-teor)} + (1 - \tau) \cdot Q_{D(den-skut)} = 0,53 \cdot 9090,60 + (1 - 0,53) \cdot 1495,88 = 5521,08 \quad [Wh \cdot m^{-2}] \quad (42)$$

$Q_{D(den-skut)}$ – skutečná difúzní energie dopadající za jeden den [$Wh \cdot m^{-2}$]

8.3.5 Skutečné množství dopadající energie za měsíc

Vynásobením počtem dnů získáme hodnotu dopadající energie pro daný měsíc.

$$Q_{S(měsíc-skut)} = n \cdot Q_{S(den-skut)} = 30 \cdot \frac{5521,08}{1000} = 165,63 \quad [kWh \cdot m^{-2}] \quad (43)$$

8.3.6 Skutečné množství dopadající energie za rok

Součet dopadajícího záření v jednotlivých měsících dá výslednou hodnotu skutečného záření za jeden rok. Nicméně tento výpočet je postaven na základě průměrných tabulkových dat, což znamená že se výsledná hodnota může lišit od vypočtené vzhledem k neurčitému počasí.

$$Q_{S(\text{rok}-\text{skut})} = \sum_{i=1}^{12} Q_{S_i(\text{měsíc}-\text{skut})} = 1215,15 \quad [\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (44)$$

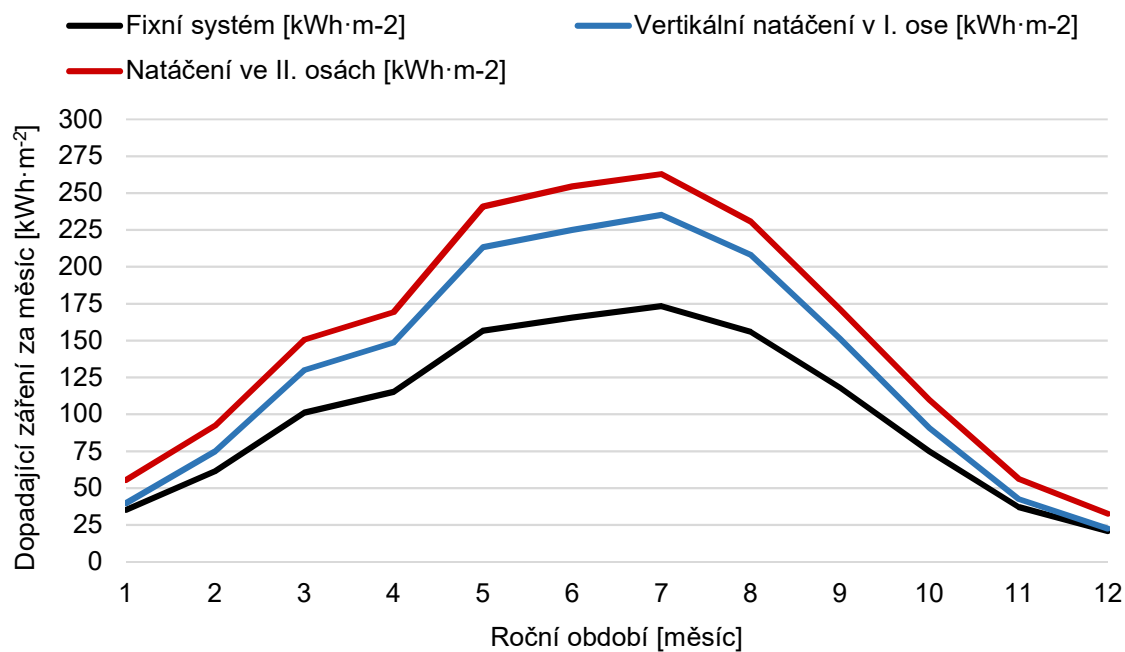
Samozřejmě je zde i možnost určení dopadu záření pomocí aplikace *Meteonorm* [63], (nutná licence pro přístup aktuálních dat) nebo možnost využití aktuálních dat sbíraných meteostanicemi od začátku roku, které jsou dostupné na webových stránkách viz *literatura* [9].

Tabulka 23 – Přehled dopadajícího záření u fixní konstrukce pro měsíc červen

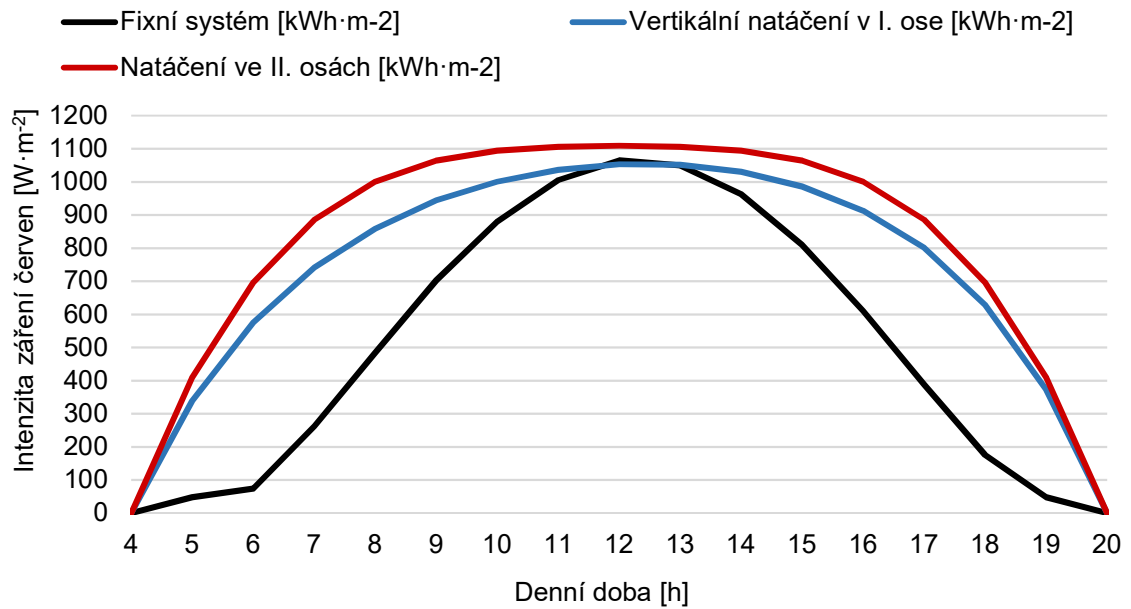
Hodina	Výška Slunce nad obzorem h [°]	Azimut Slunce a [°]	Úhel dopadu Slunečních paprsků $\cos(\gamma)$ [rad]	Přímé záření I_{Pn} [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]	Intenzita difúzního záření I_D [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]	Intenzita přímého záření na skloněnou plochu I_P [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
4	0,00	-	-	0,00	0,00	0,00
5	8,75	-116,28	-0,06	343,56	47,81	0,00
6	17,75	-105,57	0,00	577,26	75,80	2,06
7	27,23	-94,70	0,23	731,19	93,99	168,84
8	36,85	-83,17	0,45	830,26	106,51	376,88
9	46,20	-69,00	0,66	893,88	115,28	587,59
10	54,52	-52,20	0,81	932,96	121,13	759,28
11	60,69	-29,30	0,92	954,20	124,51	881,35
12	63,55	0,00	0,98	962,22	125,83	939,48
13	60,69	29,30	0,97	954,20	124,51	925,38
14	54,52	52,20	0,90	932,96	121,13	841,70
15	46,20	69,60	0,78	893,88	115,28	695,39
16	36,85	83,17	0,61	830,26	106,51	503,95
17	27,23	94,70	0,40	731,19	93,99	293,65
18	17,75	105,57	0,17	577,26	75,80	99,95
19	8,75	116,28	-0,06	343,56	47,81	0,00
20	0,00	-	-	0,00	0,00	0,00

Tabulka 24 – Roční dopad záření pro fixní a natáčeční systémy

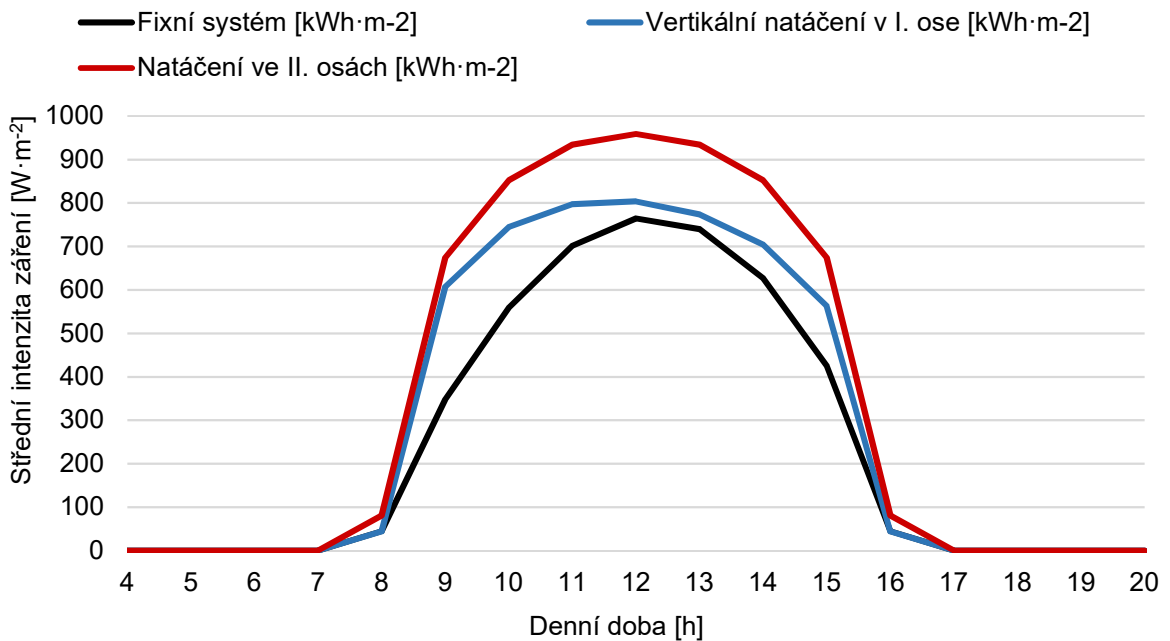
Měsíc	Fixní systém [kWh·m ⁻²]	Vertikální natáčeční v I. ose [kWh·m ⁻²]	Natáčeční ve II. osách [kWh·m ⁻²]
Leden	35,18	39,79	55,42
Únor	61,34	74,94	92,31
Březen	101,07	130,03	150,66
Duben	115,18	148,63	169,35
Květen	156,69	213,44	240,83
Červen	165,63	224,99	254,65
Červenec	173,35	235,23	262,93
Srpen	155,88	208,06	230,78
Září	118,08	151,34	171,13
Říjen	74,90	90,81	109,74
Listopad	37,10	42,53	56,14
Prosinec	20,75	22,57	32,53
Celkem	1215,15	1582,36	1826,46
Nárůst %	0,00 %	30,22 %	50,31 %



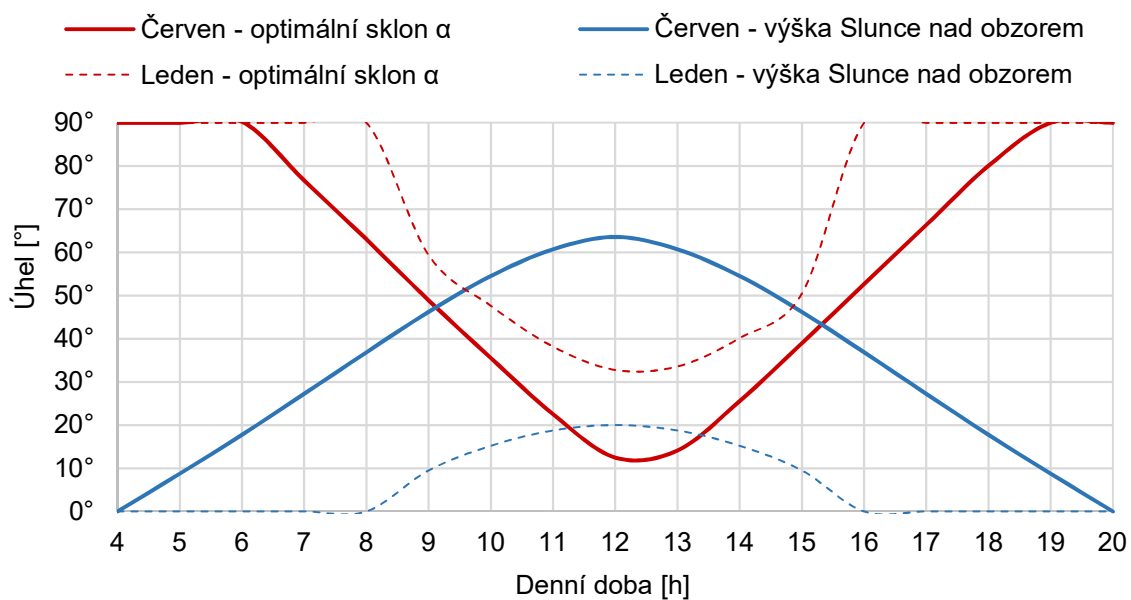
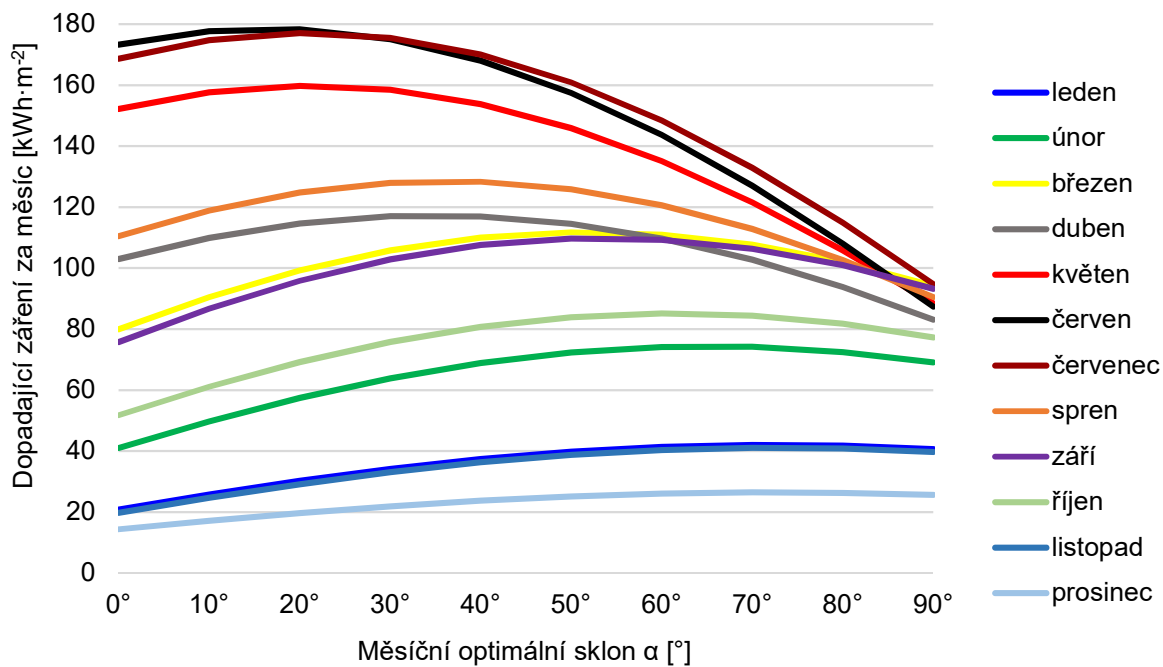
Graf 10 – Dopadající záření pro fixní a natáčeční systémy v průběhu roku

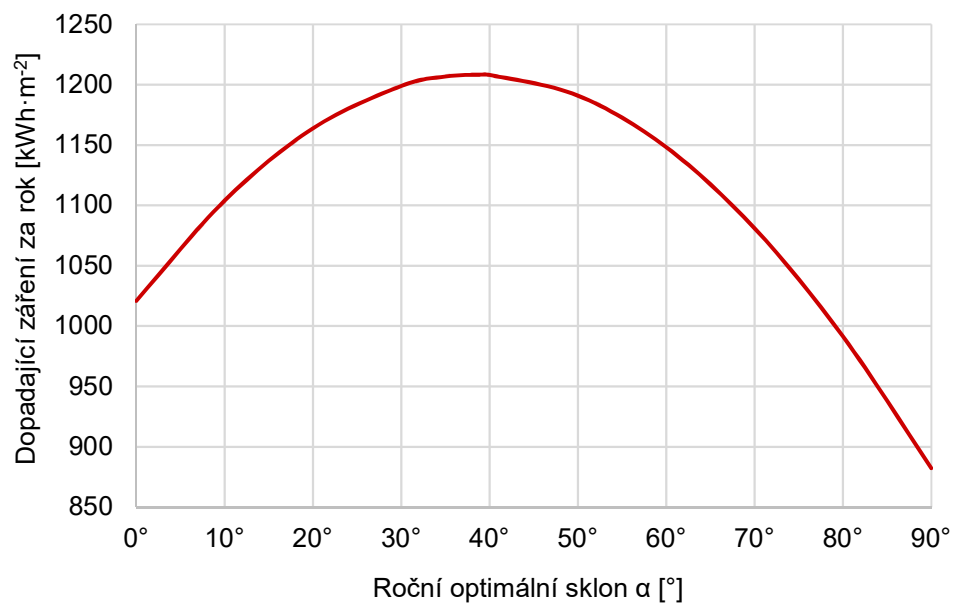


Graf 11 – Intenzita celkového slunečního záření za jeden slunečný den pro měsíc červen



Graf 12 – Intenzita celkového slunečního záření za jeden slunečný den pro měsíc leden

Graf 13 – Zobrazení optimálního sklonu α během červnového a lednového dne pro fixní systémGraf 14 – Zobrazení optimálního sklonu α v jednotlivých měsících, azimut má směr Jih



Graf 15 – Dopadající sluneční záření za jeden rok pro fixní systém, kde je patrné že pro největší energetické zisky je optimální sklon α právě 38°

Tabulka 25 – Pokles dopadajícího záření v závislosti na odklonu a_s od směru Jih, $\alpha=38^\circ$

Odklon od směru Jih [°]	Dopadající záření [kWh·m ⁻²]	Pokles výtěžnosti [%]
0°	1218,66	0,00 %
5°	1217,72	-0,08 %
10°	1214,26	-0,36 %
20°	1199,90	-1,54 %
30°	1176,02	-3,50 %
40°	1143,34	-6,18 %
50°	1102,86	-9,50 %
60°	1055,81	-13,36 %
70°	1003,61	-17,65 %
80°	947,86	-22,22 %
90°	890,24	-26,95 %

9 Návrh a zhodnocení jednotlivých variant FVE

Základní otázkou je, jak optimalizovat FV systém tak, aby plnil danou funkci výroby elektrické energie s co největším potenciálem. Vzhledem k tomu, že dotace jsou poskytovány, pokud je pokryta vlastní spotřeba elektrické energie objektu minimálně 70 % za celý rok. Dotace také ovlivňuje instalovaný výkon, který do 5 kW_p znamená výhodnější zelené bonusy či tržní ceny, nicméně nad 5 kW_p do 10 kW_p jsou ceny nižší viz *tabulka 4*.

První a druhá varianta uvažuje prodej do sítě s tím, že je ve druhé variantě použito dvouosé natáčecí zařízení. Třetí varianta bude využívat optimální FV systém pro pokrytí spotřeby elektrické energie RD minimálně 70 % s využitím akumulace elektrické energie.

9.1 Základní koncepční výpočty FVE

9.1.1 Potřebná plocha pro FV panely

Předběžný návrh počtu panelu pro možnou využitelnou plochu S_A je možný stanovit na základě využitelné plochy jednoho panelu s tím, že je vhodné započítat i možné mezery mezi jednotlivými panely z důvodu lepšího pasivního odvětrávání.

$$S_A = n_{panel} \cdot S_{panel} \quad [m^2] \quad (45)$$

S_{panel} – plocha jednoho panelu [m²], (pro výkonovou řadu 260 W_p je plocha kolem 1,65 m²)

9.1.2 Výpočet instalovaného výkonu FVE

Pokud není znám výkon FV panelu, ale je známá jeho skutečná užitná plocha a účinnost, tak je možné zjistit instalovaný (jmenovitý) výkon stanovený za podmínek STC, v závislosti na intenzitě slunečního záření I_{STC} . [64]

$$P_{inst} = \eta_{panel} \cdot P_{rad} = \eta_{panel} \cdot S_A \cdot I_{STC} \quad [W_p] \quad (46)$$

η_{panel} – účinnost FV modulu [-, %]

P_{rad} – výkon dopadajícího slunečního záření za podmínek STC [W]

9.2 Ukázkový výpočet pro 3. variantu

9.2.1 Suma výkonu FV panelu

Pokud je známo kolik kusů FV panelu bude použito, pak je celkový instalovaný výkon dán součtem jednotlivých výkonů FV panelu. V této variantě je použita 1 paleta, celkem tedy 26 panelů, kde jeden FV panel je o výkonu 260 W_p.

$$P_{inst} = n_{panel} \cdot 260 = 26 \cdot 260 = 6760 \quad [W_p] \quad (47)$$

9.2.2 Stanovení elektroenergetické výtěžnosti

Největší otázkou je, jak moc chceme mít objekt soběstačný. Pokud chceme pokrýt spotřebu pouze pro určité měsíce v roce, např. od května do července, pak podle skutečného dopadu slunečního záření viz *kapitola 8* jsme schopni navrhnout systém tak, aby pokrýval spotřebu v těchto měsících. Skutečný výkon generovaný FV panely se odvíjí od intenzity slunečního záření dopadající za dané časové období.

Dle požadované výkonové soběstačnosti objektu se najde potřebný instalovaný výkon FV systému, samozřejmě se zde musí brát v potaz dostupná plocha střechy, která je pro tuto výkonovou řadu zcela dostačující.

Pro stanovení elektroenergetické výtěžnosti se uvažuje vliv sklonu a orientace panelu vzhledem ke světovým stranám. Dále je uvažován tzv. opravný faktor (ve výpočtech je uvažováno $PR=0,8$). Výtěžnost za měsíc červen je určena pro 3. variantu, kde je instalovaný výkon $6,76 \text{ kW}_p$. V následující rovnici, vycházíme z dopadajícího slunečního záření na metr čtvereční plochy pro fixní systém za měsíc červen.

$$P_{el(\text{měsíc})} = Q_{S(\text{měsíc-skut})} \cdot f_{sklon} \cdot P_{inst} \cdot PR = 165,63 \cdot 1 \cdot 6,76 \cdot 0,8 = 895,74 \text{ [kWh]} \quad (48)$$

$Q_{S(\text{měsíc-skut})}$ – skutečný dopad sluneční energie za měsíc [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$] viz *rovnice (43)*

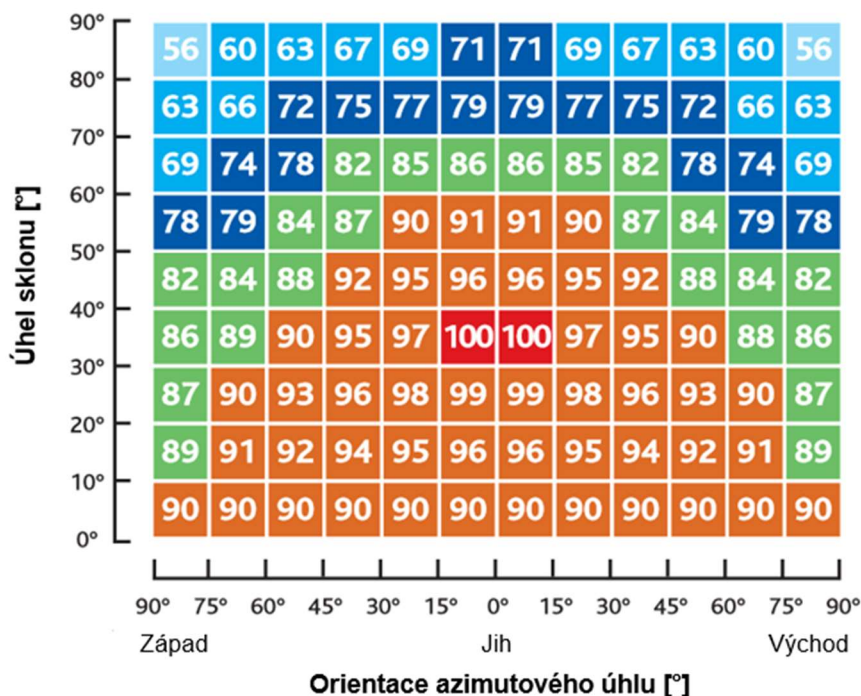
f_{sklon} – vliv sklonu a orientace od směru Jih [-, %] dle *obrázku 19*

9.2.2.1 Performance ratio

Jedná se o opravný faktor, který uvažuje kvalitu zařízení, možné znečištění plochy, ztráty v rozvodech, zvýšení povrchové teploty v letním období, možné zastínění atd. Čím více se blíží tato hodnota jedné resp. 100 %, tím efektivněji FV systém pracuje. V běžných podmínkách můžeme uvažovat hodnotu PR kolem 70 až 80 %. Blíže tento opravný faktor popisuje následující tabulka. [40]

Tabulka 26 – Opravný faktor FV systému zapojeného do sítě [40]

PR [-]	Popis
0,85	Absolutně špičkové zařízení, dobré odvětrávání, bez stínění, malé znečištění plochy
0,80	Velmi dobrá úroveň zařízení, dobré odvětrávání, bez stínění
0,75	Průměrná úroveň zařízení
0,70	Průměrná úroveň zařízení, mírné zastínění, špatné odvětrávání
0,60	Špatná úroveň zařízení, větší zastínění, znečištění plochy, špatné odvětrávání, občasný výpadek systému
0,50	Velmi špatná úroveň zařízení, velké zastínění, poruchovost systému



Obrázek 19 – Vliv sklonu a orientace FV panelu na výkon [65]

9.2.3 Potřebné množství elektrické energie k akumulaci

Potřebné množství elektrické energie, které má být akumulováno lze zjistit na základě spotřeb daného objektu s tím, že chceme efektivněji využívat proměnnost slunečního záření.

Kapacita akumulátoru se udává v ampér hodinách (Ah), tak je definován náboj, který akumulátor či článek dodá do obvodu při konstantním proudu 1 A za 1 hodinu. Jedná se ale o teoretickou hodnotu, kterou není možné prakticky dosáhnout, vzhledem ke vznikajícím ztrátám. [28]

Z následující rovnice vyplývá, že pro potřebné množství akumulovaného výkonu bude potřeba použít minimální kapacitu akumulátoru a to 247 Ah při uvažované 80 % hranici vybíjení a napětí 24 V. Potřebný akumulovaný výkon je stanoven na základě toho, že se budou zásobovat spotřebiče s menším odběrem příkonu – bližší informace jsou uvedeny v kapitole 9.5.2. (řízení priorit odběru).

$$C_{akumulace} = \frac{P_{akumulace}}{U_{systém} \cdot DOD \cdot \eta_{střídač} \cdot \eta_{kabeláž}} = \frac{4000}{24 \cdot 0,8 \cdot 0,94 \cdot 0,9} = 246,26 \quad [Ah] \quad (49)$$

$U_{systém}$ – napětí systému [V]

$P_{akumulace}$ – potřebný akumulovaný výkon [kW]

DOD – maximální přípustná hranice vybíjení akumulátoru (depth of discharge) [-, %]

$\eta_{střídač}$ – účinnost střídače [-, %]

$\eta_{kabeláž}$ – účinnost kabelu, který přenáší proud z akumulátoru ke spotřebičům [-, %]

Pro přidělení dotace je ovšem nutné splnit podmínku minimální měrné kapacity akumulátorů tak, že navrhovaný instalovaný výkon FVE bude násobený hodnotou 1,75 viz *tabulka 3*. V případě třetí varianty jsou použity celkem 4 solární akumulátory (parametry akumulátorů se nacházejí v *tabulce 38*).

Z následující rovnice posléze vyplývá, že v ideálním případě bude podmínka splněna. Dva bateriové bloky budou propojeny sériově, tím se získá napětí 24 V při stejné kapacitě, tedy 250 Ah. Další dva bateriové bloky budou propojeny paralelně, tím se docílí kapacity 500 Ah za konstantního napětí, tedy 12 V. Takto vzniklý první a druhý bateriový blok se propojí sério-paralelně, a tím bude dosažena celková kapacita 500 Ah o napětí 24 V.

$$1,75 \cdot P_{inst} = 1,75 \cdot 6,76 = 11,83 \quad [kW]; \quad c_{akumulace} \cdot U_{systém} = \frac{500 \cdot 24}{1000} = 12 \quad [kW]$$

$$11,83 \quad [kW] < 12 \quad [kW]$$

9.2.4 Základy teorie investic

9.2.4.1 Cash flow (CF)

Modelový peněžní tok je stanoven pro druhý provozní rok. Hodnota *CF* je určena pro vlastní spotřebou objektu a to je 4953,25 kWh, které jsou násobeny cenou za zelený bonus a spotřebovanou kWh. Dále je přičten výkon, který je prodán do distribuční sítě za malou výkupní cenu vzhledem k primárnímu výběru zelených bonusů. Výpočet dále zohledňuje degradaci na výkonu FV panelu a to 1 % ročně.

$$CF = (4970,33 \cdot (1,932 + 2,744) + 1601,22 \cdot 0,8) \cdot 0,99 = 24276,52 \quad [Kč] \quad (50)$$

9.2.4.2 Prostá doba návratnosti (PDN)

Hodnoty jsou brány z *tabulky 39* pro 3. variantu. Ve výpočtu je počítáno s průměrnou hodnotou *CF* během výroby po dobu prvních 11 let. Rovněž je započítaná jednorázová peněžní dotace, recyklační poplatek stanovený dle *kapitoly 4.4.4*. a reinvestice do elektrochemických akumulátorů.

$$PDN = \frac{IN}{CF} = \frac{(-343065 + 105000 - 4088,5 - 54282)}{23295,65} = 12,72 \quad [-] \quad (51)$$

IN – investiční náklady [Kč]

CF – roční peněžní toky [Kč]

9.3 Varianta 1

- Instalovaný výkon 4,94 kW_p, měnič, pouze prodej do sítě

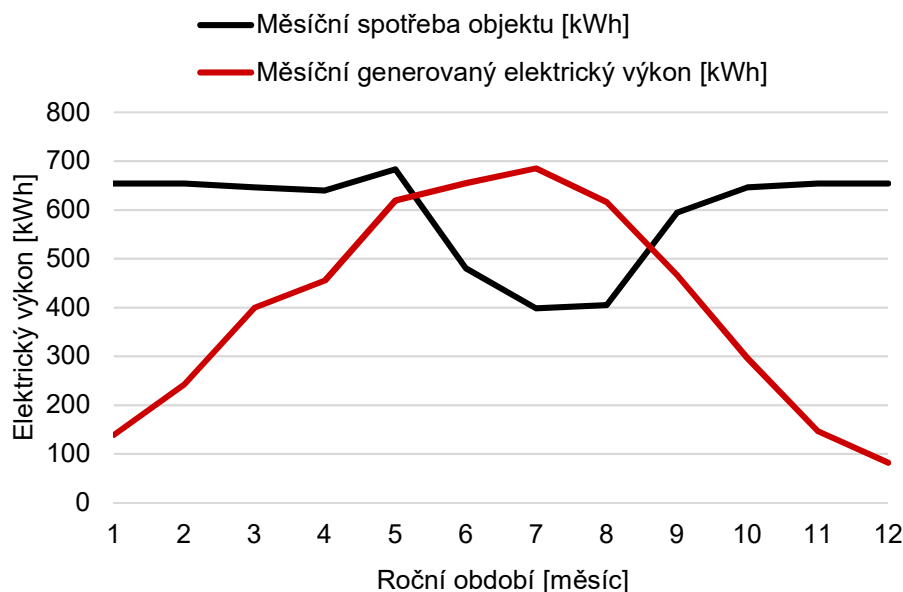
Tato varianta je nastavena tak, aby splnila hodnotu instalovaného výkonu do 5 kW_p se záměrem prodávat elektrickou energii za výkupní ceny, které jsou 3,236 Kč·kWh⁻¹. Vzhledem k tomu, že tento výkon by nespĺnil hodnoty minimálního pokrytí vlastní spotřeby objektu ve výši 70 %, tak zde nejsou započítané možné dotace. Tato varianta je k posouzení ekonomického hlediska s natáčecím systémem, který bude zkoumán ve druhé variantě.

Tabulka 27 – Použité položky FV systému pro 1. variantu

Položka	Množství	Cena [Kč]	Cena celkem [Kč]
FV panely	19	5 220 Kč	99 180 Kč
Měnič	1	62 161 Kč	62 161 Kč
Nosná konstrukce	19	995 Kč	18 905 Kč
Elektrorozvody	1	15 000 Kč	15 000 Kč
Projektová dokumentace	1	5 000 Kč	5 000 Kč
Práce	1	5 000 Kč	5 000 Kč

9.3.1 Generovaný elektrický výkon

Vyrobený elektrický výkon FV systému udává *graf 16*, kde je za jeden rok energetická výtěžnost 4802,29 kWh.



Graf 16 – Zobrazení výroby vůči vlastní spotřebě objektu pro 1. variantu

9.3.2 Řízení priorit odběru

Všechn generovaný výkon bude poslán do distribuční sítě.

9.3.3 Technicko-ekonomické zhodnocení

Po technické stránce bude sériově propojeno celkem 19 FV panelů, které budou posílat DC napětí do měniče. Umístění těchto panelů je uvažováno na střechu RD pomocí nosné konstrukce.

9.3.3.1 FV panely

Volba FV panelu je od společnosti BenQ vyráběná v České republice. Panel je polykrystalický s instalovaným výkonem $260 W_p$, s tolerancí $\pm 3 \%$. Na FV panely je poskytnuta záruka 12 let na produkt, a 25 let na výkon minimálně ve výši 80 % původního výkonu. [66]

Tabulka 28 – Polykrystalický FV panel BenQ $260 W_p$ [66]

Technický údaj	Hodnota	Jednotka
Instalovaný výkon	260	[W_p]
Účinnost	16	[%]
Jmenovité napětí	31,2	[V]
Napětí naprázdno	37,7	[V]
Proud při jmenovitém výkonu	8,34	[A]
Proud nakrátko	8,83	[A]
Provozní teplota	-40 ÷ 85	[°C]
Hmotnost	19	[kg]
Rozměry (V, Š, H)	1640x992x40	[mm]



Obrázek 20 – FV panel BenQ $260 W_p$ [66]

9.3.3.2 Měnič

Měnič je vybrán od výrobce Victron Energy Phoenix, kde je trvalý výstupní výkon 5000 VA s pracovním napětím 24 V. Účinnost přeměny DC napětí na AC je ve výši 95 %. [66]

Tabulka 29 – Měnič Victron Energy SINUS Phoenix 5000VA 24 V [66]

Technický údaj	Hodnota	Jednotka
Trvalý výstupní výkon	5000	[VA]
Pracovní DC napětí	24	[V]
Trvalý činný výkon 25 °C	4500	[W]
Trvalý činný výkon 40 °C	4000	[W]
Špičkový činný výkon	10000	[W]
Výstupní napětí	230	[V_{AC}]
Účinnost	95	[%]
Hmotnost	30	[kg]
Rozměry (V, Š, H)	444x328x240	[mm]



Obrázek 21 – Měnič Victron Energy Phoenix [66]

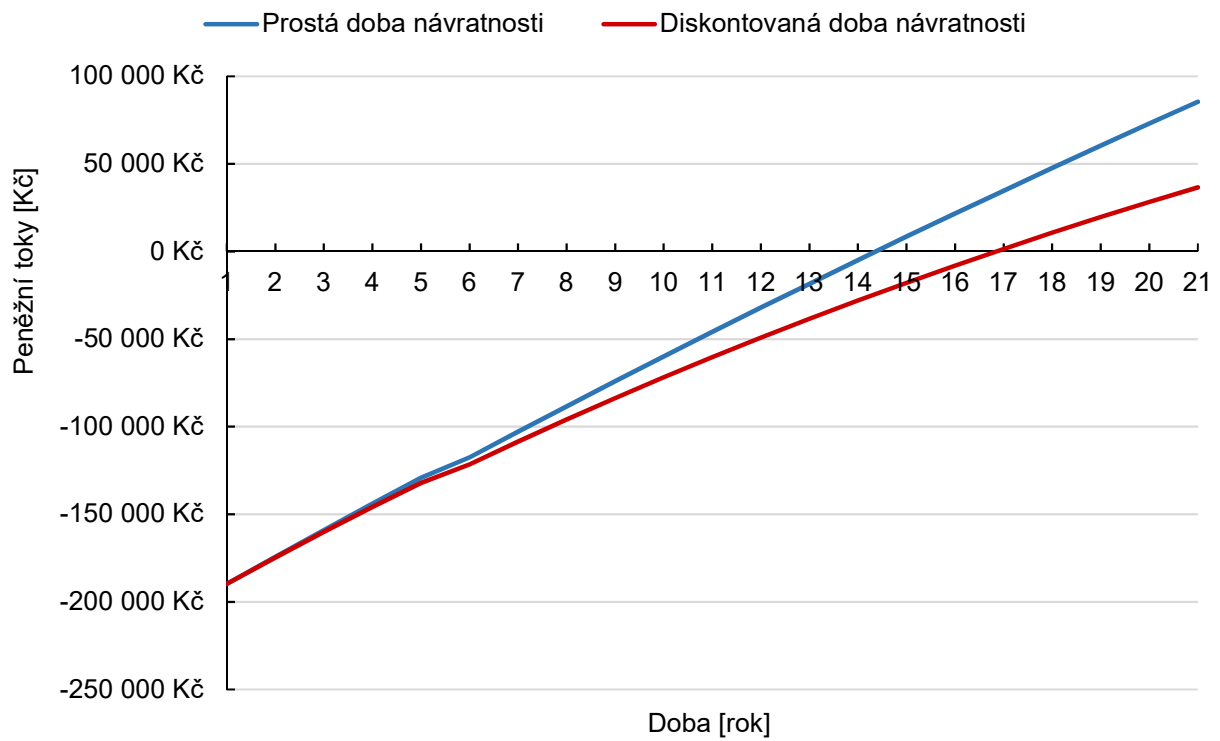
9.3.3.3 Ekonomické zhodnocení

Celkové pořizovací náklady jsou ve výši 208314,5 Kč. V následující tabulce je přehled peněžních toků za 20 let. *CF* je znehodnocen vlivem uvažování degradace výkonu pro každý rok ve výši 1 %, dále zde vstupuje recyklační poplatek ve výši 3068,5 Kč.

Prostá doba návratnosti posléze vychází na cca 14,34 let. Diskontovaná doba návratnosti uvažuje diskontní míru ve výši 2 %, tzn. doba návratnosti je zde delší o 2,7 roku. Tato varianta neuvažuje žádný dotační příspěvek.

Tabulka 30 – Peněžní toky pro 1. variantu

Rok	Vstupující vklad IN [Kč]	Tok peněz CF [Kč]	Prostá doba návratnosti PDN [Kč]	Diskontovaný tok peněz DCF [Kč]	Diskontovaná doba návratnosti [Kč]
0	-205246,00	-189705,79	-189705,79	-189705,79	-189705,79
1		15384,81	-174320,99	15083,14	-174622,65
2		15229,40	-159091,58	14638,03	-159984,62
3		15074,00	-144017,58	14204,57	-145780,05
4		14918,60	-129098,98	13782,48	-131997,58
5	-3068,50	11694,70	-117404,29	10592,25	-121405,33
6		14607,80	-102796,49	12971,30	-108434,02
7		14452,39	-88344,10	12581,68	-95852,35
8		14296,99	-74047,11	12202,34	-83650,00
9		14141,59	-59905,52	11833,05	-71816,95
10		13986,19	-45919,33	11473,54	-60343,41
11		13830,78	-32088,55	11123,59	-49219,82
12		13675,38	-18413,16	10782,95	-38436,87
13		13519,98	-4893,18	10451,38	-27985,49
14		13364,58	8471,39	10128,68	-17856,81
15		13209,18	21680,57	9814,61	-8042,20
16		13053,77	34734,35	9508,97	1466,77
17		12898,37	47632,72	9211,53	10678,31
18		12742,97	60375,69	8922,11	19600,42
19		12587,57	72963,26	8640,49	28240,91
20		12432,17	85395,42	8366,49	36607,40



Graf 17 – Doba návratnosti pro 1. variantu

9.4 Varianta 2

- Instalovaný výkon 6,24 kW_p, dvouosé natáčení, měnič, pouze prodej do sítě

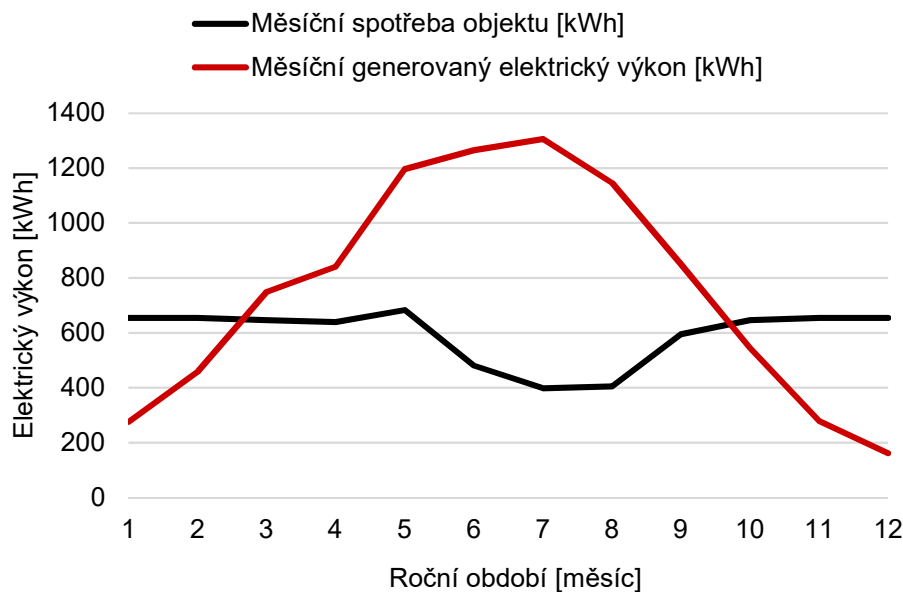
Tato varianta uvažuje natáčecí systém ve dvou osách. S tím, že se bude vyrobená elektrická energie posílat do distribuční sítě za výkupní ceny, které spadají do kategorie instalovaného výkonu do 10 kW_p, výkupní ceny jsou zde 2,632 Kč·kWh⁻¹.

Tabulka 31 – Použité položky FV systému pro 2. variantu

Položka	Množství	Cena [Kč]	Cena celkem [Kč]
FV panely	24	4 163 Kč	108 225 Kč
Natáčecí systém	6	20 964 Kč	125 784 Kč
Měnič	1	95 840 Kč	95 840 Kč
Elektrorozvody	1	20 000 Kč	20 000 Kč
Projektová dokumentace	1	5 000 Kč	5 000 Kč
Práce	1	5 000 Kč	5 000 Kč

9.4.1 Generovaný elektrický výkon

Vyrobený elektrický výkon FV systému využívající natáčecí zařízení udává *graf 18*, kde je za jeden rok energetická výtěžnost 9072,12 kWh.



Graf 18 – Zobrazení výroby vůči vlastní spotřebě objektu pro 2. variantu

9.4.2 Řízení priorit odběru

Všechn generovaný výkon bude posílán do distribuční sítě.

9.4.3 Technicko-ekonomické zhodnocení

Po technické stránce bude použito 24 FV panelů, které se budou po 4 kusech připevňovat na natáčecí systém. Celkem bude použito 6 natáčecích konstrukcí ve dvou osách. Vyrobené DC napětí je posíláno do měniče. Je zřejmé že takové umístění již nebude na střeše RD ale na volném prostranství poblíž objektu.

Negativem je zde, slabší konstrukce natáčecího systému, pokud by tedy došlo k poškození konstrukce, tak by to mělo za následek možné budoucí finanční výdaje na opravu či údržbu, popřípadě přechod na fixní systém.

9.4.3.1 Natáčecí systém

Natáčecí konstrukce je dodávána Slovenskou společností Prekoneta. Jedná se o velice jednoduchý natáčecí systém, který sice nedisponuje výraznou konstrukcí, avšak po cenové stránce je relativně dostupný. Vlastní spotřeba pro pohon natáčecího zařízení je uvažována 0,5 % z celkové výroby. [67]



Obrázek 22 – Konstrukce natáčecího zařízení [67]



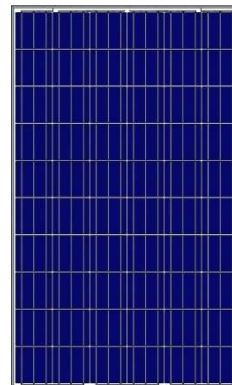
Obrázek 23 – Pohled na FV panely na natáčecím zařízení [67]

9.4.3.2 FV panely

U této varianty by bylo výhodné koupit jednu paletu FV panelů o 26 kusech, kde se využije pouze 24 panelů, zbylé dva budou sloužit k jinému účelu. Jsou zvoleny sice polykrystalické panely od výrobce Amerisolar, nicméně s účinností 16,9 % a instalovaným výkonem 260 W_p s tolerancí ±3 %. Na FV panely je poskytnuta záruka na výkon, že po 30 letech bude jmenovitý výkon minimálně 80,6 %. [66]

Tabulka 32 – Polykrystalický FV panel AmeriSolar 260W_p [66]

Technický údaj	Hodnota	Jednotka
Instalovaný výkon	260	[W _p]
Účinnost	16,9	[%]
Jmenovité napětí	30,9	[V]
Napětí naprázdno	38,3	[V]
Proud při jmenovitém výkonu	8,58	[A]
Proud nakrátko	8,98	[A]
Provozní teplota	-40 ÷ 85	[°C]
Hmotnost	18,5	[kg]
Rozměry (V, Š, H)	1640x992x40	[mm]



Obrázek 24 – FV panely AmeriSolar 260 W_p

9.4.3.3 Měnič

Měnič je opět vybrán od společnosti Victron Energy Phoenix, kde je trvalý výstupní výkon 8000 VA s pracovním napětím 48 V. Účinnost přeměny DC napětí na AC je ve výši 96 %. [66]

Tabulka 33 – Měnič/nabíječ Victron Energy Quattro 48 V [66]

Technický údaj	Hodnota	Jednotka
Trvalý výstupní výkon	8000	[VA]
Pracovní DC napětí	48	[V]
Trvalý činný výkon 25 °C	7000	[W]
Trvalý činný výkon 40 °C	6300	[W]
Špičkový činný výkon	16000	[W]
Výstupní napětí	230	[V _{AC}]
Účinnost	96	[%]
Hmotnost	41	[kg]
Rozměry (V, Š, H)	470x350x280	[mm]

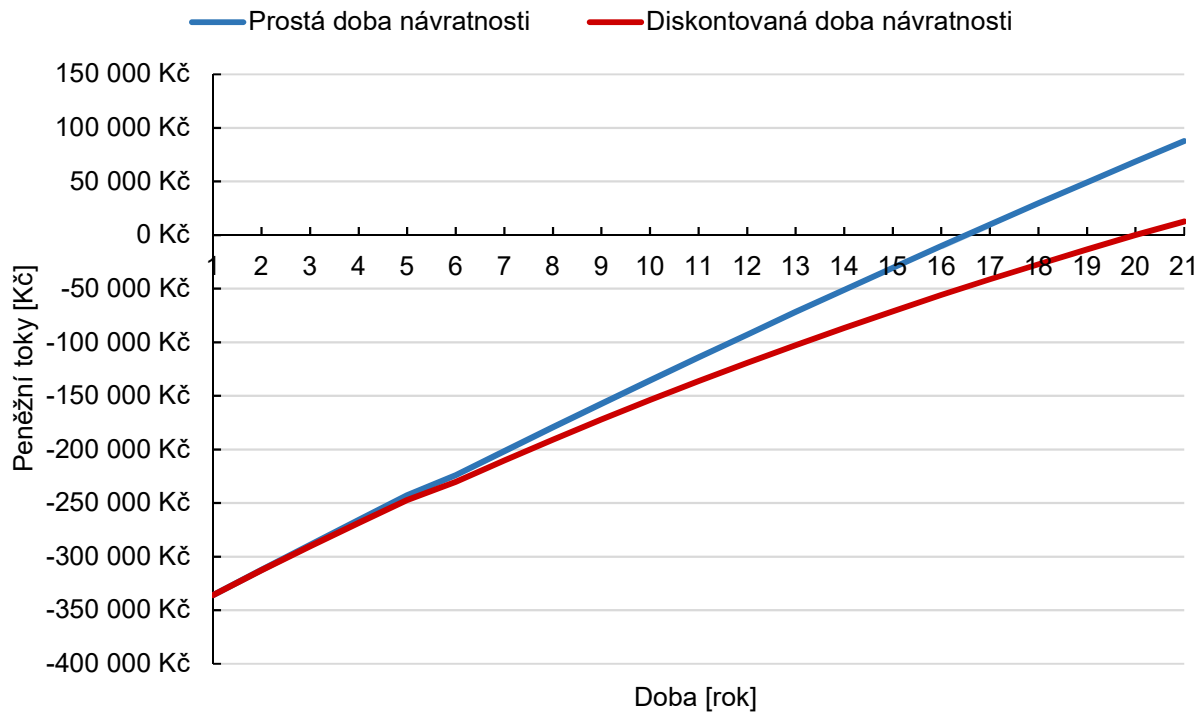
9.4.3.4 Ekonomické zhodnocení

Celkové pořizovací náklady jsou ve výši 363623 Kč. V následující tabulce je uveden přehled peněžních toků za 20 let. Hodnota *CF* je uvažována s degradací na výkonu pro každý rok ve výši 1 %, recyklační poplatek je stanoven na 3774 Kč.

Prostá doba návratnosti posléze vychází na cca 16,46 let. Diskontovaná doba návratnosti uvažuje diskontní míru ve výši 2 %. Diskontní doba návratnosti je potom o cca 3,4 roku delší. Tato varianta neuvažuje žádný dotační příspěvek.

Tabulka 34 – Peněžní toky pro 2. variantu

Rok	Vstupující vklad IN [Kč]	Tok peněz CF [Kč]	Prostá doba návratnosti PDN [Kč]	Diskontovaný tok peněz DCF [Kč]	Diskontovaná doba návratnosti [Kč]
0	-359849,00	-335971,17	-335971,17	-335971,17	-335971,17
1		23639,05	-312332,11	23175,54	-312795,63
2		23400,28	-288931,84	22491,61	-290304,01
3		23161,50	-265770,34	21825,60	-268478,42
4		22922,72	-242847,62	21177,05	-247301,37
5	-3774,00	18909,94	-223937,68	17127,32	-230174,05
6		22445,16	-201492,52	19930,66	-210243,39
7		22206,38	-179286,14	19331,99	-190911,40
8		21967,61	-157318,53	18749,14	-172162,26
9		21728,83	-135589,71	18181,71	-153980,55
10		21490,05	-114099,66	17629,32	-136351,22
11		21251,27	-92848,39	17091,61	-119259,61
12		21012,49	-71835,89	16568,21	-102691,40
13		20773,71	-51062,18	16058,76	-86632,65
14		20534,94	-30527,24	15562,91	-71069,73
15		20296,16	-10231,09	15080,34	-55989,39
16		20057,38	9826,29	14610,71	-41378,67
17		19818,60	29644,89	14153,70	-27224,97
18		19579,82	49224,71	13709,00	-13515,98
19		19341,04	68565,76	13276,29	-239,69
20		19102,27	87668,02	12855,28	12615,59



Graf 19 – Doba návratnosti pro 2. variantu

9.5 Varianta 3

- Instalovaný výkon 6,76 kW_p, měnič, akumulace do baterek, dotace, zelené bonusy

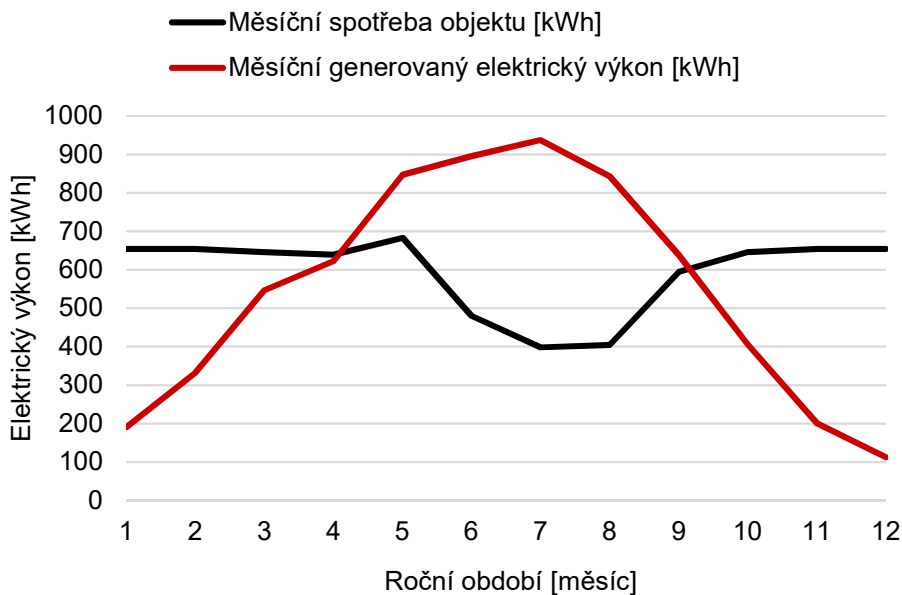
Tato varianta bude navržena tak, aby pokryla spotřebu elektrické energie ve výši minimálně 70 % z hlediska možnosti získání dotace ve výši 105000 Kč. Varianta zahrnuje využívání akumulace elektrické energie do elektrochemických akumulátorů, kde je navržena požadovaná minimální kapacita akumulátorů což je jedna z dalších podmínek pro přidělení dotace viz *kapitola 9.2.3*.

Tabulka 35 – Použité položky FV systému pro 3. variantu

Položka	Množství	Cena [Kč]	Cena celkem [Kč]
FV panely	26	4 163 Kč	108 225 Kč
Měnič	1	104 594 Kč	104 594 Kč
Baterky	4	18 094 Kč	72 376 Kč
Nosná konstrukce	26	995 Kč	25 870 Kč
Elektrorozvody	1	22 000 Kč	22 000 Kč
Projektová dokumentace	1	5 000 Kč	5 000 Kč
Práce	1	5 000 Kč	5 000 Kč

9.5.1 Generovaný elektrický výkon

Vyrobený elektrický výkon FV systému zde udává *graf 20*, kde je za jeden rok energetická výtěžnost 6571,55 kWh. *Tabulka 36* zobrazuje pokrytí spotřeb vlastní výrobou, nutný nákup a prodej v jednotlivých měsících.



Graf 20 – Zobrazení výroby vůči vlastní spotřebě objektu pro 3. variantu

Tabulka 36 – Přehled vlastní spotřeby, prodeje výkonu a nutného nákupu v jednotlivých měsících

Měsíc	Denní spotřeba objektu [kWh]	Denní generovaný elektrický výkon [kWh]	Měsíční spotřeba objektu [kWh]	Měsíční generovaný elektrický výkon [kWh]	Pokrytí spotřeby objektu [%]	Nutný nákup elektřiny [%]	Prodej přebytku výkonu [%]
Leden	21,09	6,14	653,90	190,24	29 %	71 %	0 %
Únor	23,15	11,74	653,90	331,71	51 %	49 %	0 %
Březen	20,84	17,63	646,06	546,61	85 %	15 %	0 %
Duben	21,32	20,76	639,65	622,91	97 %	3 %	0 %
Květen	22,04	27,33	683,21	847,38	100 %	0 %	24 %
Červen	16,01	29,86	480,40	895,74	100 %	0 %	86 %
Červenec	12,85	30,24	398,24	937,47	100 %	0 %	135 %
Srpen	13,05	27,19	404,64	843,01	100 %	0 %	108 %
Září	19,82	21,29	594,46	638,58	100 %	0 %	7 %
Říjen	20,84	13,07	646,06	405,04	63 %	37 %	0 %
Listopad	21,80	6,69	653,90	200,64	31 %	69 %	0 %
prosinec	21,09	3,62	653,90	112,24	17 %	83 %	0 %
Celkem	-	-	7108,32	6571,55	73 %	27 %	30 %

9.5.2 Řízení priorit odběru

Za slunečného dne je primárně vyrobená elektrická energie posílána do již instalovaného TČ. Jak již bylo zjištěno, tak průměrná spotřeba elektrické energie TČ je v zimním období cca 40 až 55 % z celkové spotřeby objektu, v letním období TČ spotřebuje cca 35 až 40 % z celkové spotřeby objektu, a to především na ohřev TUV.

Dále je generovaný elektrický výkon posílán do solárního akumulátoru. Solární akumulátor zásobuje spotřebiče s menším odběrem příkonu např. lednice, myčka na nádobí, osvětlení, domácí nástroje atp. vlivem nestálosti dopadu slunečního záření a efektivněji tak umožňuje využívat generovaný výkon FV systémem.

Pro spotřebiče s vyšším odběrem např. elektrický vařič, bude odebírán příkon rovnou ze střídače.

Pokud nebude žádný spotřebič připojen, akumulátory budou plně nabitě a výroba tepla či TUV pomocí TČ nebude zapotřebí, tak se generovaný výkon bude posílat do distribuční sítě za minimální výkupní cenu od poskytovatele elektrické energie.

Hlavní prioritou je co nejvíce generovaného výkonu spotřebovat v objektu vzhledem k zeleným bonusům.

9.5.3 Technicko-ekonomické zhodnocení

Po technické stránce bude sériově propojeno 26 FV panelů od společnosti AmeriSolar o instalovaném výkonu $260 W_p$ viz *tabulka 32*. Vyrobené DC napětí je posíláno do měniče. Pokrytí spotřeby objektu vlivem vlastní výroby je cca 73 %. Pro dosažení pracovního napětí 24 V, který je ve střídači, jsou dva bateriové bloky propojeny sériově. Pro dosažení požadované kapacity je dále třetí a čtvrtý bateriový blok propojen paralelně.

9.5.3.1 Měnič/nabíječ

Měnič je opět vybrán od výrobce Victron Energy Phoenix, kde je trvalý výstupní výkon 8000 VA s pracovním napětím 24 V. Účinnost přeměny DC napětí na AC je ve výši 94 %. Měnič zároveň slouží jako solární nabíječ a kontrolní jednotka pro akumulátory. [66]

Tabulka 37 – Měnič/nabíječ Victron Energy Quattro 24 V [66]

Technický údaj	Hodnota	Jednotka
Trvalý výstupní výkon	8000	[VA]
Pracovní DC napětí	24	[V]
Trvalý činný výkon 25 °C	7000	[W]
Trvalý činný výkon 40 °C	6300	[W]
Špičkový činný výkon	16000	[W]
Výstupní napětí	230	[V _{AC}]
Účinnost	94	[%]
Hmotnost	45	[kg]
Rozměry (V, Š, H)	470x350x280	[mm]

9.5.3.2 Solární akumulátor

Solární akumulátor je typu AGM od společnosti Hoppecke. Výhodou je vysoká cyklická odolnost a to 3200 cyklů při 40 % vybití [66]. Celkem jsou použity 4 bateriové bloky.

Tabulka 38 – Solární akumulátor Hoppecke Solar Bloc 250 Ah, 12 V – AGM [66]

Technický údaj	Hodnota	Jednotka
Jmenovité napětí	12	[V]
Jmenovitá kapacita	250	[Ah]
Hmotnost	41	[kg]
Rozměry (V, Š, H)	275x308x170	[mm]



Obrázek 25 – Solární akumulátor Hoppecke 250 Ah

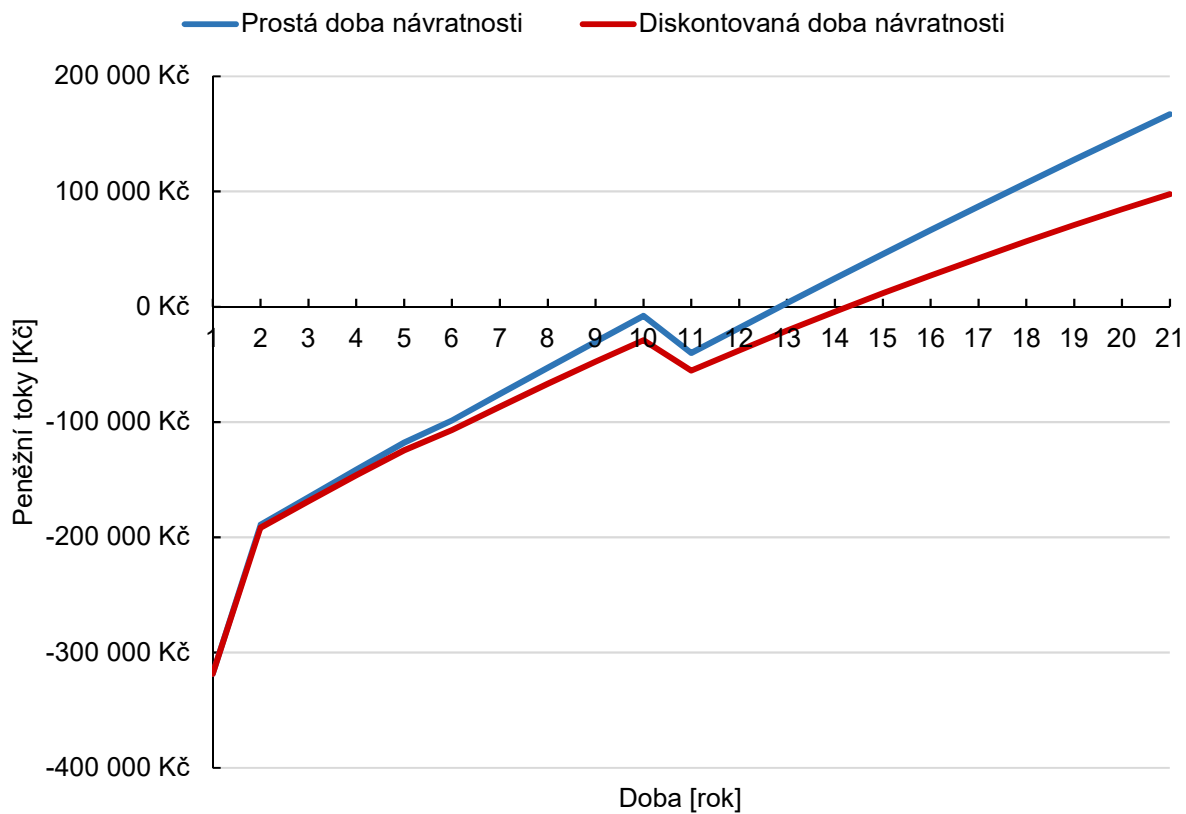
9.5.3.3 Ekonomické zhodnocení

Celkové pořizovací náklady jsou ve výši 347153,5 Kč. Vstupující jednorázová dotace je o hodnotě 105000 Kč. Recyklační poplatek je stanoven na 4088,5 Kč. Kolem 10. roku je zde reinvestice do bateriového systému, který je uvažován jako 0,75násobek z původní ceny baterií z důvodu odhadovaného poklesu budoucích cen vlivem dostupnějších technologií. Hodnota *CF* uvažuje degradaci na výkonu pro každý rok ve výši 1 %

Prostá doba návratnosti po započítání dotace pak vychází na cca 12,79 let viz rovnice (51), nicméně tato doba je ovlivněna reinvesticí do solárních akumulátorů. Diskontovaná doba návratnosti uvažuje diskontní míru ve výši 2 %. Diskontní doba návratnosti je posléze o cca 1,2 roku delší. Bez započítání dotace a použití pouze 2 solárních akumulátorů, které by měli být pro provoz RD kde je instalováno TČ dostačující je prostá doba návratnosti cca 14,75 let.

Tabulka 39 – Peněžní toky pro 3. variantu

Rok	Vstupující vklad IN [Kč]	Tok peněz CF [Kč]	Prostá doba návratnosti PDN [Kč]	Diskontovaný tok peněz DCF [Kč]	Diskontovaná doba návratnosti [Kč]
0	-343065,00	-318543,26	-318543,26	-318543,26	-318543,26
1	105000,00	129276,52	-189266,74	126741,69	-191801,57
2		24031,30	-165235,43	23098,14	-168703,43
3		23786,09	-141449,35	22414,16	-146289,27
4		23540,87	-117908,48	21748,12	-124541,15
5	-4088,50	19207,15	-98701,32	17396,51	-107144,64
6		23050,44	-75650,89	20468,13	-86676,51
7		22805,22	-52845,67	19853,31	-66823,20
8		22560,00	-30285,67	19254,74	-47568,45
9		22314,78	-7970,89	18672,01	-28896,44
10	-54282,00	-32212,43	-40183,32	-26425,42	-55321,86
11		21824,35	-18358,97	17552,52	-37769,34
12		21579,13	3220,16	17015,00	-20754,34
13		21333,91	24554,07	16491,81	-4262,53
14		21088,70	45642,77	15982,60	11720,06
15		20843,48	66486,24	15487,01	27207,07
16		20598,26	87084,51	15004,72	42211,79
17		20353,04	107437,55	14535,38	56747,17
18		20107,83	127545,38	14078,68	70825,86
19		19862,61	147407,98	13634,31	84460,16
20		19617,39	167025,38	13201,94	97662,10



Graf 21 – Doba návratnosti pro 3. variantu

9.6 Zhodnocení jednotlivých variant

První dvě varianty jsou posuzovány z hlediska prodávání vyrobeného výkonu do distribuční sítě za tržní ceny, kde je rovněž posuzován pohled na dvouosý natáčečecí systém. Třetí varianta uvažuje vlastní využívání vyrobeného výkonu za účelem využívání zelených bonusů ke každé spotřebované kWh.

Ze srovnávacího grafu 22 vyplývá, že prostá doba návratnosti se jeví nejlépe pro třetí variantu, která uvažuje s jednorázovou dotací, kde po 20 letech provozu je čistý zisk odhadován až na 167025 Kč.

Pokud nebude ve variantě 3 přidělena dotace a budou použity pouze 2 solární akumulátory, které by měli být pro RD využívající TČ dostačující, tak i přesto bude tato varianta výhodná, jelikož čistý zisk bude po 20 letech provozu kolem 125354 Kč, kdežto u varianty 1 je po 20 letech provozu čistý zisk pouze kolem 85395 Kč.

Při použití natáčečecího zařízení ve variantě 2 je zjištěno, že v současné době je ekonomicky výhodnější koupit více panelů a provozovat je jako fixní instalaci, než investovat do natáčečecího systému do kterého mohou v průběhu provozu vstoupit budoucí investiční náklady, a to na opravu či nutnou údržbu samotné konstrukce vlivem namáhání větrem, opotřebení servo-motorů atp.

Pro připomenutí je zde charakteristika jednotlivých variant:

Varianta 1

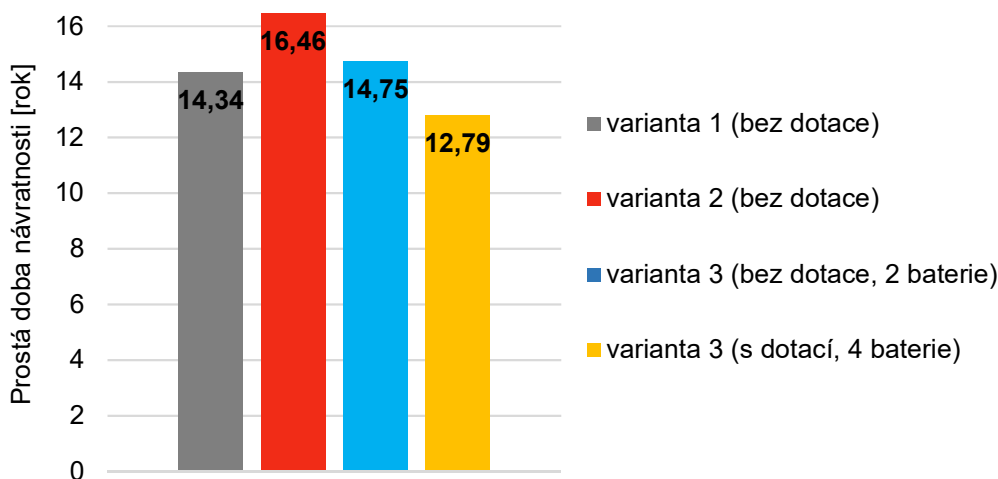
- Instalovaný výkon 4,94 kW_p, měnič, pouze prodej do sítě

Varianta 2

- Instalovaný výkon 6,24 kW_p, dvouosé natáčení, měnič, pouze prodej do sítě

Varianta 3

- Instalovaný výkon 6,76 kW_p, měnič, akumulace do baterek, dotace, zelené bonusy



Graf 22 – Celkové zhodnocení jednotlivých variant

10 Závěr

Vzhledem k současnému technologickému rozvoji lze předpokládat, že i budoucí vývoj co se týče fotovoltaiky nezůstane pozadu. Již v dnešní době jsou vyvíjeny fotovoltaické nátěry a vlákna, které zatím nedosahují vysokých účinností a ekonomicky jsou nedostupné, nicméně postupem času právě toto může být běžným standardem.

Výpočet je proveden v tabulkovém procesoru Excel. V praktické části byly zjištěny spotřeby tepelné a elektrické energie pro RD. Roční spotřeba elektrické energie v objektu je odhadována na 7,108 MWh, z čehož 3,576 MWh spotřebuje provoz TČ. Potřeba tepelné energie ve formě vytápění a TUV je za jeden rok vypočtena na 81,966 GJ. Dále byly zjištěny příkony jednotlivých spotřebičů, kde se v závislosti na průměrné době spuštění určila spotřeba objektu v měřeném měsíci únoru. Potřeba elektrické energie je nepříznivě ovlivněna především neprovozováním TČ v letním období, kde není nutné do objektu dodávat teplo na vytápění, což znázorňuje *graf 5*.

V kapitole zabývající se dopadajícím zářením v lokaci RD je pro fixní systém vypočítáno celkové dopadající záření $1215,15 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ za jeden rok. U natáčení ve vertikálním směru je dopadající roční výkon $1582,36 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$. Na systém se sledováním Slunce ve dvou osách dopadne ročně $1826,46 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$. Ze získaných dat jsou sestaveny grafy závislostí optimálního sklonu α pro jednotlivé měsíce v roce.

Celkem byly zkoumány 3 možné varianty zapojení FV systému, které jsou rovněž stručně srovnány v *kapitole 9.6*. Pro jednotlivé varianty je stanoveno řízení priorit odběru generovaného výkonu a technicko-ekonomické zhodnocení, kde nejlépe vychází varianta s instalovaným výkonem $6,76 \text{ kW}_p$ a akumulací elektrické energie do 4 sério-paralelně propojených solárních akumulátorů o celkové kapacitě 500 Ah při provozním napětí 24 V_{DC} . Tento systém tak dokáže pokrýt vlastní spotřebu objektu v celkové výši 73 % za jeden rok, a tím je splněna jedna z hlavních podmínek pro přidělení dotace. Nicméně vzhledem k nízké spotřebě elektrické energie v létě, a naopak vysoké elektroenergetické výtěžnosti je prodej přebytků do distribuční sítě kolem 30 % viz *tabulka 36*. Prostá doba návratnosti je zde stanovena na cca 12,79 let, avšak tato doba je ovlivněna reinvesticí do solárních akumulátorů.

Použité zdroje

- [1] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [2] ŘÍPA, Milan, Jan MLYNÁŘ, Vladimír WEINZETTL a František ŽÁČEK. *Řízená termojaderná fúze pro každého*. 3. přepracované vydání. Praha: TA PRINT, 2011. ISBN 80-902724-7-9.
- [3] Sun fact sheet. *National Aeronautics and Space Administration* [online]. Greenbelt: Williams, 2016 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html>
- [4] HALLIDAY, David, Robert RESNICK, Jearl WALKER a Petr DUB. *Fyzika*. 2., přeprac. vyd. Brno: VUTIUM, 2013. ISBN 9788021441231.
- [5] LULKOVIČOVÁ, Otília a Ján TAKÁCS. *Netradičné zdroje energie - Prednášky*. 1. doplněné vydání. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2003. ISBN 80-227-1838-6.
- [6] VRTEK, Mojmír. *Sluneční energie: Vypracován s podporou projektu CZ.1.07/1.1.00/08.0010*. První vydání. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, Katedra energetiky, 2012.
- [7] CIHELKA, Jaromír, Ladislav OPPL a Josef VLACH. *Sluneční vytápění systémy*. První vydání. Brno: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. ISBN L12-B2-IV-31/22748.
- [8] What is the Earth's Radiation Budget?. *NASA* [online]. Hampton: NASA, 2011 [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <https://science-edu.larc.nasa.gov/EDDOCS/whatis.html>
- [9] Intenzita slunečního záření. *Amatérské meteostanice Počátky* [online]. Počátky: Kalina, 2017 [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://meteo-jirkalina.com/wx38.php>
- [10] Fotovoltaika v podmínkách České republiky. *Elektrina ze střechy* [online]. České Budějovice: ISOFEN ENERGY, 2013 [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: <http://www.elektrozestrechy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [11] Efficiency Of Solar PV, Then, Now And Future. *Solar photovoltaic* [online]. Lafayette College, USA: Amos Han, 2015 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <https://sites.lafayette.edu/egrs352-sp14-pv/technology/history-of-pv-technology/>
- [12] Stručná historie fotovoltaiky. *TZB info* [online]. Fyzikální ústav Akademie věd ČR: Bechník, 2014 [cit. 2017-01-26]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>

-
- [13] Bell Labs Demonstrates the First Practical Silicon Solar Cell. *APS Physics* [online]. New York: Chodos, 2009 [cit. 2017-01-26]. Dostupné z: <http://www.aps.org/publications/apsnews/200904/physicshistory.cfm>
- [14] NASA Glenn Contributions to the ISS Electrical Power System. *NASA* [online]. Cleveland: Glenn Research Center, 2011 [cit. 2017-01-26]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/centers/glenn/about/fs06grc.html>
- [15] Příčiny solárního boomu v České republice. *O Energetice* [online]. Vobořil, 2015 [cit. 2017-01-26]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/priciny-solarniho-boomu/>
- [16] Instalovaný výkon solárních elektráren v ČR od roku 2012 stagnuje Více na: <http://oenergetice.cz/elektrina/instalovany-vykon-solarnich-elektraren-v-cr-od-roku-2012-stagnuje/>. *O energetice* [online]. ČTK, 2016 [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/instalovany-vykon-solarnich-elektraren-v-cr-od-roku-2012-stagnuje/>
- [17] BANNERT, Petr. *Praktika z fotovoltaiky*. Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola Varnsdorf: projekt zelená úsporám, 2009.
- [18] Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. *ELEKTRO časopis pro elektrotechniku* [online]. Praha: Poulek Solar, 2010 [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/konstrukce-a-vyroba-fotovoltaickych-clanku-a-panelu--10310>
- [19] Od písku k procesoru — výroba křemíkového waferu. *PC tuning* [online]. Šulc, 2012 [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/24350-od-pisku-k-procesoru-vyroba-kremikoveho-waferu?start=5>
- [20] Výroba polovodičů a čipů. *Programujte* [online]. Chytil, 2005 [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <http://programujte.com/clanek/2005041811-vyroba-polovodicu-a-cipu/>
- [21] Seed-Mediated Growth of Colloidal Metal Nanocrystals. <https://www.researchgate.net> [online]. Weinheim: Verlag GmbH, 2016 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/311664655_Seed-Mediated_Growth_of_Colloidal_Metal_Nanocrystals
- [22] Anatomy of a PV cell. *Life Free Energy* [online]. England, 2017 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://lifefreeenergy.com/u/utilization-of-wind-energy.html>
- [23] ČEZ, . *Obnovitelné zdroje energie a skupina ČEZ*. Praha: ČEZ, 2011.
- [24] Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny. *Czech Nature Energy* [online]. Plzeň: Czech Nature Energy, 2015 [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [25] Are Solar Panels Hail Proof?. *ALBA Energy solar power* [online]. Texas: Walker, 2017 [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://albaenergy.com/2017/01/solar-power-faqs-how-strong-are-solar-panels/>
-

- [26] Nejčastější dotazy (FAQ) - Jaká je energetická návratnost fotovoltaiky?. *Czech Renewable Energy Agency* [online]. Rožnov pod Radhoštěm: Czech RE Agency, 2009 [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/faq>
- [27] Jak se recyklují FVE panely?. *OTÁZKY a ODPOVĚDI ekologických poraden* [online]. Praha: Srdečný, 2015 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: http://wiki.ekoporadna.cz/index.php?title=Jak_se_recykluj%C3%AD_FVE_panely%3F
- [28] SMRŽ, Milan. *Fotovoltaika* [online]. b.r. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.udrzitelnost.cz/soubory/fotovoltaika.pdf>
- [29] Požáry fotovoltaiky a riziko úrazu elektrickým proudem. *TZB Info* [online]. Praha: Bechník, 2014 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11554-pozary-fotovoltaiky-a-riziko-urazu-elektrickym-proudem>
- [30] Bezpečnost fotovoltaiky. *TZB Info* [online]. Conergy Česká Republika, 2013 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/10134-bezpecnost-fotovoltaiky>
- [31] Ochrana před bleskem a přepětím pro solární články. *TZB Info* [online]. Kutáč, 2006 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3593-ochrana-pred-bleskem-a-prepetim-pro-solarni-clanky>
- [32] DEHN: Fotovoltaické elektrárny a ochrana před bleskem. *Profi elektrika* [online]. Brno: Šalanský, Hájek, 2007 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/dehn-tipy-a-triky-pri-instalaci-prepetovych-ochran-cast-9>
- [33] Grid Connected PV System. *Alternative Energy Tutorials* [online]. 2016 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/grid-connected-pv-system.html>
- [34] Podmínky pro fotovoltaiku v ČR pro rok 2016. *Solární elektrárna pro každého* [online]. Brno: AEKO, 2016 [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.solarnivyroba.cz/legislativa>
- [35] Legislativa pro fotovoltaické elektrárny. *Czech Nature Energy* [online]. Plzeň: Czech Nature Energy, 2017 [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/legislativa-fotovoltaiky/>
- [36] Výše výkupních cen a zelených bonusů. *TZB Info* [online]. Praha: ERÚ, 2017 [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/91-vyse-vykupnich-cen-a-zelenych-bonusu>
- [37] NOVÁ LEGISLATIVA: OSVOBODÍ KONEČNĚ STÁT SOLÁRNÍKY OD PŘEMRŠTĚNÉ CENY ZA RECYKLACI SOLÁRNÍCH PANELŮ?. *RD solar* [online]. Ústí nad Labem: SolarniNovinky.cz, 2016 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.rdsolar.cz/nova-legislativa-osvobodi-konecne-stat-solarniky-od-premrstene-ceny-za-recyklaci-solarnich-panelu/>

- [38] Distribuční sazby elektřiny: Máte tu správnou?. *Peníze* [online]. Praha: Divišová, 2013 [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.penize.cz/spotrebitel/256691-distribucni-sazby-elekriny-mate-tu-spravnou>
- [39] SRDEČNÝ, Karel, Jaroslav KNÁPEK, Jitka KLINKEROVÁ a Monika KAŠPAROVÁ. *Obnovitelné zdroje energie - přehled druhů a technologií* [online]. Praha 10: Ministerstvo životního prostředí, 2009 [cit. 2017-03-02]. ISBN 978-80-7212-518-0. Dostupné z: <http://oze.mzp.cz/>
- [40] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [41] 6.Jaký solární regulátor použít - 6.díl ze seriálu článků. *Dremax* [online]. Valašské Meziříčí: Hnilica, 2016 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <https://www.deramax.cz/6-jaky-solarni-regulator-pouzit-6-dil-ze-serialu-clanku>
- [42] Fotovoltaický střídač - účinnost není vše. *TZB info* [online]. Rožnov pod Radhoštěm: Czech RE Agency, o.p.s., 2009 [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltaicky-stridac-ucinnost-neni-vse>
- [43] TŮMA, Jan. *Energie ze všech stran: Jak skladovat energii*. Praha: ČEZ, 2011.
- [44] MAREŠ, Jan, Martin LIBRA a Vladislav POULEK. *Akumulace elektrické energie* [online]. ČZU Praha: Poulek Solar, 2011 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/ /pdf/42869.pdf>
- [45] Olověné baterie pro ukládání solární energie. <https://www.solarniexperti.cz/olovene-akumulatory-pro-ostrovni-a-hybridni-fotovoltaicke-systemy/> [online]. České Budějovice: Matajs, 2015 [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: www.solarniexperti.cz
- [46] SOLÁRNÍ BATERIE AGM, OPZV, OPZS, LI-ON. *RD solar* [online]. Ústí nad Labem: RD solar, 2015 [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: <http://www.rdsolar.cz/solarnibaterie/>
- [47] Tepelná čerpadla - teorie a schémata (I). *TZB Info* [online]. ČVUT, Ústav techniky prostředí: Matuška, Schwarzer, Šourek, 2005 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/2820-tepelna-cerpadla-teorie-a-schemata-i>
- [48] Akumulace energie z OZE - vodíkové hospodářství. *TZB info* [online]. Praha: Bača, 2011 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/7134-akumulace-energie-z-oze-vodikove-hospodarstvi>
- [49] Solární panely, solární systémy. *TRAXLE* [online]. Praha 6: Poulek Solar, b.r. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.solar-trackers.com/cz/hrebenove-koncentratory.asp>
- [50] Fotovoltaické panely a sníh. *TZB Info* [online]. Plzeň: Malán, 2010 [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/6177-fotovoltaicke-panely-a-snih>

- [51] Vysoce účinné fotovoltaické systémy s trackery a koncentrátory záření. *TZB Info* [online]. ČZU Praha: Poulek, Libra, 2006 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3542-vysoce-ucinne-fotovoltaicke-systemy-s-trackery-a-koncentratory-zareni>
- [52] Advantages of Fresnel Lenses. *EdmundOptics* [online]. Barrington: Edmund Optics, 2017 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <https://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/optics/advantages-of-fresnel-lenses/>
- [53] Concentrating Photovoltaics (CPV). *Green Rhino Energy* [online]. South Africa: Green Rhino Energy, 2013 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_concentration.php
- [54] Dokumenty ke stažení. *ELCERAM* [online]. Hradec Králové: elceram, 2012 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <http://www.elceram.cz/cs/>
- [55] Technický list keramického solárního článku ELC 38 pro koncentrovanou fotovoltaiku. *ELCERAM* [online]. Hradec Králové: Eleceram, 2012 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.elceram.cz/cs/>
- [56] Solar tracker market expected to grow. *Evolve India Solar* [online]. Mumbai: Nithya, 2015 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://evolveindia.in/blog/2015/10/24/solar-tracker-market-expected-to-grow/>
- [57] Solární panely – uvedení do provozu. *Filutovadilna* [online]. Filuta, 2010 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.filutovadilna.cz/panely/solarni-panely-vedeni-do-provozu>
- [58] DUALSUN, THE REVOLUTIONARY HYBRID SOLAR PANEL. *DualSun* [online]. Marseille: DualSun, 2016 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <https://dualsun.fr/en/product/2-in-1-solar/>
- [59] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *TZB Info* [online]. Praha: TZB Info, 2017 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [60] Meteostanice. *In počasí* [online]. Žďár nad Sázavou: InMeteo, s.r.o., 2017 [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice.php?stanice=zdar>
- [61] KRATOCHVÍL, Tomáš. *Akumulace elektrické energie z obnovitelných zdrojů*. Brno, 2010. Diplomová práce. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Pospíšil.
- [62] Fixed/Single Axis/Dual Axis Comparison Chart. *U.S. Nova Corporation* [online]. Primera Boulevard: U.S. Nova Corporation, 2010 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <http://www.usnovacorp.com/available-technologies.php>
- [63] Meteonorm. *Irradiation data for every place on earth* [online]. Bern, Schweiz: Kunz, 2017 [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://www.meteonorm.com/en/downloads>

- [64] Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice. *TZB info* [online]. Praha: Bechník, 2014 [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>
- [65] Malaysia Solar for Home and Business. *MRK* [online]. Malaysia: Shah, 2014 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://mrk.com.my/SOLAR-FIT.php>
- [66] E-shop obchod solar, fotovoltaika. *Obchodsolar* [online]. Písek: Šimoník, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <https://www.obchodsolar.cz/>
- [67] Small cheap dual-axis PV solar tracker 2Ax-4SP. *Prekoneta* [online]. Slovensko: Prekoneta, Solar:Trackers, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.prekoneta.com/dual-single-axis-photovoltaic-pv-solar-tracker-trackers-tracking-system-systems/2-dvo-osni-dvoosni/small-cheap-dual-2-single-pv-solar-tracker-2Ax-4SP>
- [68] Periodická tabulka. *Periodická tabulka* [online]. 2010 [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/>
- [69] Solar Panels. *B Techno* [online]. Pakistan: Boundless Technologies, 2015 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: http://www.btechno.com.pk/?page_id=5112
- [70] Longyangxia Dam Solar Park in China is now the biggest solar farm in the world. *Alternative energies* [online]. Savin, 2017 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <https://www.alternative-energies.net/longyangxia-dam-solar-park-in-china-is-now-the-biggest-solar-farm-in-the-world/>
- [71] Nový rekord: Čína loni instalovala 34 GW nových fotovoltaických elektráren. *Solární noviny* [online]. SolarniNovinky.cz, 2017 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2017011802/novy-rekord-cina-loni-instalovala-34-gw-novych-fotovoltaickych-elektren>
- [72] Top 10 Performing Countries for Solar Energy. *Interesting Engineering* [online]. McFadden, 2017 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://interestingengineering.com/top-10-performing-countries-for-solar-energy/>
- [73] Cumulative global installed PV to reach 310 GW by end of 2016. *Eenewable Energy Focus* [online]. Elsevier, 2016 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://www.renewableenergyfocus.com/view/43835/cumulative-global-installed-pv-to-reach-310-gw-by-end-of-2016/>

Seznam jednotek a symbolů

Symbol	Jednotka	Popis
α	[°]	úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné roviny
ε	[-]	součinitel, který uvažuje výšku slunce nad obzorem h a nadmořskou výšku H pro danou oblast
η_{cp}	[-, %]	Carnatova účinnost tepelného cyklu vychází z poměru teploty okolí k povrchové teplotě Slunce, pak je rovna 0,95 [-]
η_e	[-, %]	příspěvek k účinnosti vlivem nepřizpůsobení křemíku ke spektru slunečního záření 0,42 [-]
η_{Euro}	[-, %]	Euro účinnost u měniče
η_{FVE}	[-, %]	celková provozní účinnost FVE
$\eta_{kabeláž}$	[-, %]	účinnost kabelu, který přenáší proud z akumulátoru ke spotřebičům
η_{panel}	[-, %]	účinnost FV panelu
η_r	[-, %]	poměr výkonu odraženého záření k výkonu dopadajícímu – odrazivost křemíku je 0,3 [-], pak je tedy možná přeměna záření s účinností pouze 0,7 [-]
η_{rmax}	[-, %]	maximální možná účinnost FV modulu
η_s	[-, %]	účinnost, která zahrnuje možnost regulace soustavy 0,95 (účinnost obsluhy) a účinnost v rozvodu vytápění 0,95
$\eta_{střídač}$	[-, %]	účinnost střídače
η_ε	[-, %]	opravný součinitel účinnosti systému pro stavby střední s krátkými otopnými přestávkami, tedy noční útlum nebo pro stavby těžké, bez otopných přestávek, pak je $\eta_\varepsilon = 0,765$
ρ_{Cu}	$[\Omega \cdot m^{-1}]$	rezistivita materiálu vodiče, pro měď je průměrná rezistivita $17,5 \cdot 10^{-9} [\Omega \cdot m^{-1}]$
ρ_{H_2O}	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota vody
σ	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}]$	Stefan-Boltzmannova konstanta
T	[-]	poměrná doba slunečního svitu
T_1	[h]	doba od východu Slunce a začátku dopadání slunečního
T_1	[h]	doba do západu Slunce a konce dopadání slunečního záření
T_{skut}	[h]	skutečná doba slunečního svitu
T_{teor}	[h]	teoretická doba slunečního svitu
a	[°]	azimut Slunce
a_s	[°]	azimutový úhel normály osluněné plochy od směru jih
A_t	[W]	práce tepelného čerpadla (elektrický příkon)
AU	[km]	astronomická jednotka
c	[-]	koncentrační poměr
C	[F]	kapacita kondenzátoru
C_{akumulace}	[Ah]	kapacita akumulátoru

C_{el}	[Kč]	cena za odebranou elektrickou energii
CF	[Kč]	roční peněžní toky
C_{H2O}	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita vody
COP_t	[-]	topný faktor tepelného čerpadlo
cos(γ)	[rad]	úhel dopadu slunečních paprsků mezi směrem normály ozářené plochy
D	[K]	vytápěcí denostupně
DCF	[-]	diskontovaný tok peněz
DOD	[-, %]	maximální přípustná hranice vybíjení akumulátoru (depth of discharge)
dP	[%]	změna výkonu vlivem změny teploty
dθ	[°C]	změna teploty – rozdíl povrchové teploty článku vůči teplotě za podmínek STC [°C]
FF	[-, %]	poměr mezi maximálním výkonem a výkonem daným napětím naprázdno a proudem nakrátko – v praxi se hodnota může pohybovat okolo 0,7 až 0,9 [-]
f_{sklon}	[-, %]	vliv sklonu a orientace od směru Jih
h	[°]	výška Slunce nad obzorem
H	[mn]	nadmořská výška
h_t	[h]	doba spuštěného spotřebiče
I	[A]	proud protékající vodičem
I_c	[W·m ⁻²]	intenzita celkového slunečního záření
I_č	[W·m ⁻²]	intenzita záření na plochu kolnou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší
I_D	[W·m ⁻²]	difúzní sluneční záření
I_{Dh}	[W·m ⁻²]	intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu
I_{mpp}	[A]	proud při jmenovitém napětí
I_N	[W·m ⁻²]	intenzita záření na plochu kolnou ke slunečním paprskům při daném znečištění ovzduší
IN	[Kč]	investiční náklady
I_o	[W·m ⁻²]	sluneční konstanta
I_P	[W·m ⁻²]	přímé sluneční záření pro obecnou plochu
I_{Ph}	[W·m ⁻²]	intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu
I_{Pn}	[W·m ⁻²]	přímé sluneční záření na plochu kolmou ke směru paprsků
I_{sc}	[A]	napětí naprázdno resp. svorkové napětí bez připojené zátěže
I_{STC}	[W _p ·m ⁻²]	intenzita slunečního záření za podmínek STC
I_{stř}	[W·m ⁻²]	střední intenzita slunečního záření
K_T	[Kč·kWh ⁻¹]	základní cena za 1 kWh elektřiny dle tarifní sazby
L	[m]	délka vodiče
n_{den}	[-]	počet dnů

n_{den}	[-]	počet dnu v měsíci
n_{panel}	[-]	počet panelu
n_{panel}	[-]	počet panelů
PDN	[-]	prostá doba návratnosti
$P_{akumulace}$	[kW]	potřebný akumulovaný výkon
P_{el}	[Wh]	ideální výkon přenášený vodičem
$P_{el(měsíc)}$	[kWh]	elektroenergetická výtěžnost
P_i	[W]	příkon spotřebiče
P_{inst}	[W _p]	instalovaný výkon
P_{mpp}	[VA]	fotovoltaický výkon – maximální výkon na V-A charakteristice
PR	[-]	performance ratio – performační poměr (opravný faktor)
P_{rad}	[W]	výkon dopadajícího slunečního záření za podmínek STC
P_{skut}	[W]	skutečný výkon generovaný FV panely
$P_{spotř}$	[Wh]	spotřebovaný elektrický výkon
$P_{ztrát}$	[W]	ztrátový výkon
$Q_{D(den-skut)}$	[Wh·m ⁻²]	skutečné množství difúzní energie dopadající za den
Q_H	[W]	tepelný výkon
$Q_{S(den-skut)}$	[Wh·m ⁻²]	skutečné množství dopadající energie za den
$Q_{S(den-teor)}$	[Wh·m ⁻²]	teoretické množství dopadající energie za den
$Q_{S(měsíc-skut)}$	[kWh·m ⁻²]	skutečné množství dopadající energie za měsíc
Q_{TUV}	[kWh]	denní potřeba tepla na TUV
Q_{VYT}	[GJ]	potřeba tepla na vytápění
Q_z	[kW]	tepelná ztráta objektu
r	[-]	reflexní schopnost okolních ploch pro sluneční paprsky nejčastěji od 0,15 do 0,25
R	[Ω]	odpor vodiče
r_{AU}	[m]	kulová plocha o poloměru vzdálenosti Země od Slunce
r_{Slunce}	[m]	poloměr Slunce
S	[mm ²]	průřez vodiče
S_A	[m ²]	skutečně využitelná plocha panelů
S_{panel}	[m ²]	užitná plocha jednoho panelu
T	[K]	teplota
t_1	[°C]	teplota studené vody
t_2	[°C]	teplota teplé vody
t_e	[°C]	venkovní výpočtová teplota
t_{es}	[°C]	průměrná venkovní teplota během otopného období, nebo měsíce
t_{is}	[°C]	průměrná vnitřní výpočtová teplota v objektu

U_k	[V]	napětí na kondenzátoru
U_{mpp}	[V]	napětí při jmenovitém výkonu
U_{oc}	[V]	proud nakrátko resp. fotoelektrický proud
U_{system}	[V]	napětí systému
V_{TUV}	[m ³]	potřebný objem TUV na den
W	[J]	energie kondenzátoru
W_b	[W·m ⁻²]	Stefan-Boltzmannův zákon pro dokonale černé těleso
$W_{b(AU)}$	[W·m ⁻²]	přijímaný výkon na kulové ploše ve vzdálenosti r_{AU}
$W_{b(Slunce)}$	[W·m ⁻²]	výsledný vyzařovaný výkon Slunce do prostoru
Z	[-]	součinitel znečištění atmosféry
z	[-]	koeficient energetických ztrát systému pro akumulaci TUV

Seznam zkratek

Zkratka	Popis
AC	alternative current – střídavý proud
Ah	ampér hodina
AGM	absorbed glass mat
DC	direct current – stejnosměrný proud
EPBT	energy pay-back time – časová energetická návratnost
F	farad
FV	fotovoltaický
FVE	fotovoltaická elektrárna
FVP	fotovoltaický panel
ISS	International Space Station – Mezinárodní vesmírná stanice
JE	jaderná elektrárna
MPP	maximum power point – bod maximálního výkonu
MPPT	maximum power point tracker – bod maximálního výkonu sledovače
N	negativní
NT	nízký tarif
OZE	obnovitelný zdroj energie
P	pozitivní
ppb	parts per billion – počet částic v miliardě
ppm	parts per million – počet částic v milionu
STC	standard test condition – standardní testovací podmínky
TČ	tepelné čerpadlo
TUV	teplá užitková voda
V	volt
VA	volt-amperová charakteristika
VT	vysoký tarif
VYT	vytápění
W	watt
Wh	watt hodina
W_p	watt instalovaného výkonu
W_t	tepelný výkon