VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

ROZSAH PRODUKCE ELEKTRICKÉ ENERGIE ZE STŘEŠNÍCH FVE

RANGE OF PRODUCTION ELECTRIC ENERGY FROM ROOF PVE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Šimon Chmelař

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Martin Paar, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2022

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Šimon Chmelař ***ID:*** 220762

Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Rozsah produkce elektrické energie ze střešních FVE

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Přehled současných fotovoltaických panelů a tašek
2. Vývoj fotovoltaických panelů a tašek z pohledu produkce elektrické energie a jejich teoretické hranice produkce
3. Vyhodnocení produkce elektrické energie z různých fotovoltaických technologií pro vybrané objekty
4. Analýza možné produkce elektrické energie ze střešních FVE u vybraných obcí při uvažování různých fotovoltaických technologií

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 7.2.2022 ***Termín odevzdání:*** 31.5.2022

Vedoucí práce: Ing. Martin Paar, Ph.D.

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

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Cílem práce je porovnání lokality s vhodnými podmínkami pro výstavbu folovoltaických elektráren ve srovnání s nevhodnou lokalitou. První část práce se zaměřuje na průzkum trhu s výběrem současných panelů a tašek s jejich parametry a na analýzu různých technologií, jejich výhody a nevýhody. Dále se práce věnuje stručnému přehledu historie a vývoje fotovoltaiky ve světě a v České republice a teoretickým hranicím technologií. Ve druhé části práce byly vybrány dvě lokality pro výpočet potenciální produkce elektrické energie z fotovoltaických elektráren s vhodnými a nevhodnými podmínkami, které byly vzájemně porovnány.

KLÍČOVÁ SLOVA

fotovoltaický panel, fotovoltaické tašky, solární energie, historie fotovoltaiky, fotovoltaická elektrárna, potenciální produkce elektrické energie

ABSTRACT

The aim of the thesis is to compare localities with suitable conditions for the construction of photovoltaic power plants in comparison with unsuitable location. The first part of the thesis contains a market review with a selection of current panels and tiles with their parameters. Furthermore, the thesis analyzes various technologies and their advantages and disadvantages. This part also includes a brief overview of the historical development of photovoltaics both around the world and in the Czech Republic and the theoretical limits of the technologies. In the second part of the thesis, two localities, one with the suitable conditions and one with the unsuitable, were selected to calculate their potential electricity production from PV plants, which were then compared.

KEYWORDS

photovoltaic panel, photovoltaic tiles, solar energy, history of photovoltaics, photovoltaic power plant, potential electricity production

Vysázeno pomocí balíčku `thesis` verze 4.07; `http://latex.feec.vutbr.cz`

CHMELAŘ, Šimon. *Rozsah produkce elektrické energie ze střešních FVE*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2022, 86 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Martin Paar, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora:	Šimon Chmelař
VUT ID autora:	220762
Typ práce:	Bakalářská práce
Akademický rok:	2021/22
Téma závěrečné práce:	Rozsah produkce elektrické energie ze střešních FVE

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

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno ....

podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Martinu Paarovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Také bych rád poděkoval Ing. Daliboru Veverkovi, Ing. Danielu Adamovskému, Ph.D. a Ing. Josefu Haberovi za poskytnutí datových podkladů z FVE instalace „Dům pro budoucnost“. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za pomoc a podporu.

Obsah

Úvod **13**

1 Úvod do fotovoltaické technologie **14**
1.1 Solární energie 14

2 Rozdělení technologií **16**
2.1 Články vyrobené z krystalického křemíku 16
2.1.1 Monokrystalické články 16
2.1.2 Polykrystalické články 17
2.2 Články vyrobené z tenkovrstvých materiálů 18
2.2.1 Amorfní moduly 18
2.3 FV panely 19
2.3.1 Panasonic VBHN335SJ53 20
2.3.2 Victron Energy 12V/115W 21
2.3.3 AVANCIS PowerMax 21
2.3.4 Sharp NUJD440 22
2.3.5 Sunman Flexi 22
2.4 FV tašky 23
2.4.1 Lindab Solar Roof 23
2.4.2 Tesla solar roof 24
2.4.3 Gasser Ceramic FIT 54 24
2.4.4 BiSolar roofing solution 25
2.4.5 Hanergy solar roof 26
2.5 Srovnání solárních panelů a tašek 26

3 Historický vývoj FV panelů a tašek **28**
3.1 Účinnost a využití prvních FV článků 28
3.1.1 První civilní aplikace 29
3.1.2 Rozvoj FVE v průmyslu 29
3.2 Vývoj FV panelů a tašek ve 21. století 30
3.3 Vývoj účinnosti jednotlivých FV technologií 31
3.4 Dnešní FV technologie 34
3.5 Teoretické hranice technologií 35

4 Analýza prostředí a velikosti instalace FVE **38**
4.1 Přímé a difuzní záření 38
4.2 Střechy 39
4.3 Fasády 39

4.4 Velikost FVE 39

5 Výpočet energie fotovoltaických instalací 41
5.1 Výpočet dle normy ČSN EN 15316-4-3 41
5.2 Bilanční metoda 42

6 Porovnání reálných a teoretických hodnot u vybraných lokalit 44
6.1 Metodika výpočtu energetického potenciálu 44
6.2 Solární kalkulačky 45
6.2.1 Easy-PV 46
6.2.2 PVGIS 46
6.3 Porovnání s prvním měřeným domem 47
6.3.1 Data z měření 47
6.3.2 Výpočet dle upravené normy 48
6.3.3 Výpočet pomocí solárních kalkulaček 49
6.3.4 Porovnání 50
6.4 Porovnání s druhým měřeným domem 51
6.4.1 Data z měření 51
6.4.2 Výpočet dle upravené normy 51
6.4.3 Výpočet pomocí solárních kalkulaček 52
6.4.4 Porovnání 53
6.5 Porovnání se třetím měřeným domem 54
6.5.1 Data z měření 54
6.5.2 Výpočet dle upravené normy 55
6.5.3 Výpočet pomocí solárních kalkulaček 55
6.5.4 Porovnání 56
6.6 Srovnání měřených objektů 57

7 Výběr obcí 59
7.1 Moravany 59
7.2 Hanušovice 60

8 Přehled výsledných dat 61
8.1 Aplikace metody 61
8.2 Moravany 63
8.2.1 Porovnání výsledků dle jednotlivých technologií 64
8.2.2 Pokrytí obce taškami 64
8.3 Hanušovice 67
8.3.1 Porovnání výsledků dle jednotlivých technologií 68
8.3.2 Pokrytí obce taškami 68

9 Srovnání obcí **70**
9.1 Poměr rovných a sedlových střech 70
9.2 Natočení střech 71
9.3 Porovnání potencionálních výkonů a produkce elektrické energie . . . 72

Závěr **75**

Literatura **77**

Seznam symbolů a zkratek **84**

Seznam obrázků

1.1 Potenciál elektrické energie z FVE v ČR. Převzato z [3]. 14
2.1 Monokrystalický článek. Převzato z [7]. 17
2.2 Polykrystalický článek. Převzato z [8]. 18
2.3 Amorfní článek. Převzato z [9]. 19
2.4 Konstrukce FV panelu. Převzato z [10]. 20
2.5 Monokrystalický panel Panasonic. Převzato z [11]. 20
2.6 Polykrystalický panel Victron Energy. Převzato z [12]. 21
2.7 Amorfní panel Avancis. Převzato z [13]. 21
2.8 Monokrystalický panel Sharp. Převzato z [14]. 22
2.9 Ohebný monokrystalický panel Sunman. Převzato z [15]. 22
2.10 Solární střešní krytina Lindab. Převzato z [16]. 23
2.11 Solární taška Tesla solar roof. Převzato z [18]. 24
2.12 Solární taška FIT 54. Převzato z [19]. 25
2.13 Solární taška BiSolar. Převzato z [20]. 25
2.14 Solární taška Hanergy. Převzato z [21]. 26
3.1 Družice Vanquard I. Převzato z [25]. 28
3.2 Vývoj FVE v České republice. Vlastní zpracování na základě [34]. . . 30
3.3 Vývoj účinnosti monokrystalických článků. Vlastní zpracování na základě [38]. 31
3.4 Vývoj účinnosti polykrystalických článků. Vlastní zpracování na základě [38]. 32
3.5 Vývoj účinnosti amorfních modulů. Vlastní zpracování na základě [38]. 33
3.6 Nejlepší účinnosti experimentálních článků. Převzato z [38]. 37
4.1 Přímé a difuzní záření. Převzato z [36]. 38
6.1 Kalkulačka Easy-PV. Převzato z [46]. 46
6.2 Kalkulačka PVGIS. Převzato z [47]. 47
6.3 Model střechy v kalkulačce Easy-PV. Převzato z [46]. 49
6.4 Model prvního domu v kalkulačce PVGIS. Převzato z [47]. 49
6.5 Srovnání hodnot vyrobené el. energie u 1. domu. 50
6.6 Model druhého domu v kalkulačce PVGIS. Převzato z [47]. 52
6.7 Srovnání hodnot vyrobené el. energie u 2. domu. 53
6.8 Model třetího domu v kalkulačce PVGIS. Převzato z [47]. 56
6.9 Srovnání hodnot vyrobené el. energie u 3. domu. 57
6.10 Srovnání hodnot oproti naměřeným datům 58
7.1 Zpracovaná část obce. Převzato z [43]. 59
7.2 Zpracovaná část obce. Převzato z [43]. 60
8.1 Fragment obce. Převzato z [44] 61

8.2 Účinnost FV panelu v závislosti na orientaci. Převzato z [53] 62
8.3 Vstupní data pro FV panely 63
8.4 Teoretický výpočet počtu panelů a využitelné plochy na danou střechu 63
8.5 Vypočtený potenciál výkonu a vyrobené el. energie 63
8.6 Srovnání panelů a tašek – Moravany 66
8.7 Srovnání panelů a tašek – Hanušovice 69
9.1 Srovnání střešních ploch 70
9.2 Poměr rovných a sedlových střech u různých typů budov 71
9.3 Poměr orientací střech 71
9.4 Poměr výsledného potenciálu výkonu 72
9.5 Poměr výsledného potenciálu vyrobené el. energie 73
9.6 Poměr výsledného potenciálu výkonu s FV taškami 73
9.7 Poměr výsledného potenciálu vyrobené el. energie s FV taškami . . . 74
9.8 Porovnání potenciální produkce 74

Seznam tabulek

2.1 Srovnání FV panelů 27
2.2 Srovnání FV tašek 27
3.1 Srovnání účinností jednotlivých technologií pro komerční použití . . . 34
5.1 Hodnoty součinitele špičkového výkonu 41
5.2 Hodnoty činitele výkonnosti 42
6.1 Hodnoty z měření první budovy 48
6.2 Skutečná výroba z FVE v období leden – říjen 2009 51
6.3 Skutečná výroba z FVE 54
6.4 Srovnání reálných a měřených hodnot 58
8.1 Výsledný potenciál výkonu – Moravany 64
8.2 Výsledný potenciál vyrobené el. energie – Moravany 64
8.3 Srovnání jednotlivých technologií v čase – Moravany 65
8.4 Výsledný potenciál výkonu s FV taškami – Moravany 66
8.5 Výsledný potenciál vyrobené el. energie s FV taškami – Moravany . . 66
8.6 Výsledný potenciál výkonu – Hanušovice 67
8.7 Výsledný potenciál vyrobené el. energie – Hanušovice 67
8.8 Srovnání jednotlivých technologií v čase – Hanušovice 68
8.9 Výsledný potenciál výkonu s FV taškami – Hanušovice 69
8.10 Výsledný potenciál vyrobené el. energie s FV taškami – Hanušovice . 69

Úvod

Světová populace se stále více potýká s vyšší spotřebou elektrické energie a s tenčením zásob neobnovitelných zdrojů elektrické energie. Jedna z možných variant vyhnutí se jejímu nedostatku je přechod na alternativní zdroje a co nejmenší závislost domácností na elektrické energii ze společné distribuce. Tuto variantu podporuje systém dotací v České republice, který podporuje výstavbu fotovoltaických elektráren do 10 kWp společně s akumulačními úložišti, která slouží především k vlastní spotřebě domácností. Tímto systémem dochází k postupné decentralizaci zdrojů, což má pozitivní vliv na ztráty elektrické energie v rámci distribuce. Bateriová úložiště také mohou pomáhat regulaci distribuční sítě.

Právě fotovoltaika je zdrojem elektrické energie, která má v České republice nejvyšší potenciál v rámci obnovitelných zdrojů. Vodní elektrárny v České republice svůj potenciál z velké části naplnily a již není možné pokračovat v jejich rozsáhlém rozvoji. U větrných elektráren je problém s povolováním výstavby. Proto se práce zaměřuje právě na zhodnocení vývoje fotovoltaiky ve světě a v ČR, sledování současných a budoucích trendů a její teoretické hranice využití. Dále se v práci uvažují různé typy technologií a jejich vhodné použití. Práce se věnuje instalacím FVE na střechy budov a další nevyužité plochy z důvodu co nejmenšího zásahu do krajiny.

Vzhledem k velkému rozmachu fotovoltaických systémů je vhodné znát potenciální produkci jak v ideálních, tak i v nevhodných podmínkách. Díky tomu by bylo možné předem připravit distribuční síť a vyvážení různých typů zdrojů elektrické energie pro vyrovnání elektrizační soustavy. FV technologie mají nevhodný dopad na kvalitu elektrické energie v síti, kterou způsobují výkyvy v množství el. energie ovlivněné počasím a také ročním obdobím, které mohou zapříčinit výkyvy napětí v síti, harmonické zkreslení apod., proto je třeba na budoucí instalace síť správně dimenzovat. Na toto téma bylo zpracováno několik odhadů, např. [57, 59], které ale počítají především se statickými daty a neuvažují další faktory o členitosti a natočení střech, případná zastínění FV instalací okolním terénem a podobně.

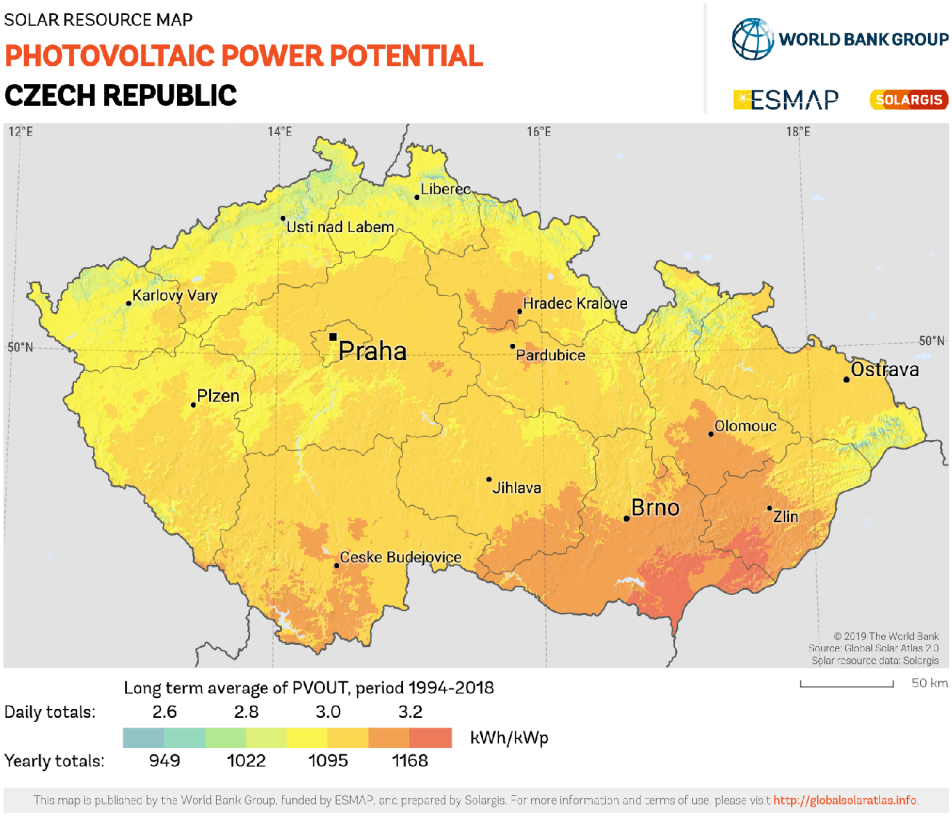
Tato práce proto počítá i s okolními faktory ovlivňujícími velikost potenciálně vyrobené elektrické energie. V rámci práce byly vybrány dvě rozdílné obce s podobným počtem obyvatel. První obec disponuje ideálními podmínkami pro instalaci FV systémů, zatímco druhá obec je díky svým parametrům a umístění méně vhodná pro výstavbu FV systémů. K výpočtu produkce elektrické energie byla použita norma ČSN EN 15316-4-3 doplněná o koeficienty zpřesňující výsledná data. Touto metodikou je nutné počítat každý dům zvlášť pro přesnější odhad produkce, proto je metodika vhodná pouze pro menší obce. Metodika má výhodu nízkého požadavku na vstupní data, která jsou dostupná zdarma na internetu, a lze s ní počítat i s okolními vlivy, které většina plošných výpočtů potenciálu el. energie nezapočítává.

1 Úvod do fotovoltaické technologie

1.1 Solární energie

Vzhledem k ubývání zásob neobnovitelných zdrojů se hledají alternativní zdroje výroby elektrické energie. Slunce disponuje takovou energií, která nás dokáže pohodlně zásobovat po několik generací. Technologie výroby elektrické energie se tedy čím dál více soustředí na využití solární energie. Výhoda solární energie spočívá v její dostupnosti, nevýhodou je poté odlišnost v množství energie, která závisí na geografické lokalitě, denním čase, ročním období a podobně. Na obrázku 1.1 lze vidět potenciál roční produkce z FVE v rámci ČR [1].

Sluneční energie je jinými slovy proud elektromagnetického záření. Toto záření vzniká fúzní reakcí ve Slunci, kde se lehké prvky vodíku a jeho izotopů přeměňují na prvky hélia a postupně na těžší prvky. Díky této rekci se uvolňuje velké množství energie, která je vyzařována až na Zemi [1].



Obr. 1.1: Potenciál elektrické energie z FVE v ČR. Převzato z [3].

Slunce lze považovat za absolutně černé těleso, které vyzařuje elektromagnetické záření v celém rozsahu vlnových délek. Celkový výkon dopadající na hranici at-

mosféry byl vypočítán na hodnotu 172 000 TW. Velká část energie se v atmosféře vyzáří zpět do vesmíru nebo se atmosférou pohltí, a proto byla zavedena sluneční konstanta, která udává průměrné celkové množství energie ve všech vlnových délkách, které dopadá za jednotku času na jednotku plochy kolmo na směr paprsků. Tato konstanta má hodnotu 1 366 $\mathrm{W/m^2}$ [2].

2 Rozdělení technologií

Od prvního komerčního užití fotovoltaického článku bylo vyvinuto velké množství různých technologií, přičemž jen malá část z nich nalezla uplatnění. Fotovoltaické články tvoří dvě třetiny z ceny celého modulu. Mezi rozhodující parametry tedy patří cena fotovoltaického článku na jeden Watt. Toto pravidlo lze porušit, pokud je potřeba speciálních vlastností článků, které snižují jejich výkon nebo zvyšují jejich cenu, např. ohebnost, určitý tvar a podobně [4].

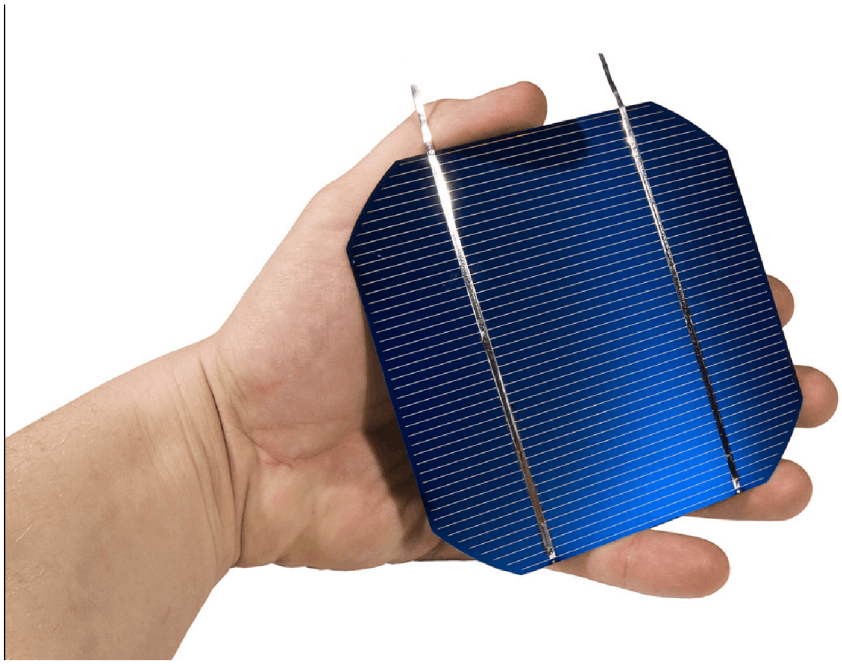
2.1 Články vyrobené z krystalického křemíku

V současné době je nejvíce používaným materiálem pro výrobu fotovoltaických panelů krystalický křemík. Křemík je velice dostupný materiál, který je zastoupen ve velké míře v zemské kůře, a technologie na separaci čistého křemíku je na vysoké úrovni. Na druhou stranu separace čistého křemíku je energeticky náročná [4].

2.1.1 Monokrystalické články

Nejpoužívanější způsob výroby monokrystalického článku je tzv. Czochralského proces. Jednou z hlavních surovin pro výrobu monokrystalu je polykrystalický křemík s čistotou 97–99 %. Do této taveniny se ponoří zárodek krystalu křemíku a následně vznikne monokrystalická kulatá tyč, která se seřízne na kvádr. Základním prvkem monokrystalického článku je podložka, která vzniká nařezáním křemíkového monokrystalu na tenké plátky. Monokrystal je velice čistý křemík, díky kterému je článek efektivní a dokáže vytvořit vysoký výkon na malém obsahu plochy při přímém osvětlení panelu. Proto se monokrystalické články používají pro maximalizaci výkonu na ploše. Nevýhodou je, že výroba čistého materiálu je energeticky velice náročná a při řezání plátků dochází k velké ztrátě materiálu. Účinnost monokrystalických článků při běžném použití je 16–20 %. V současné době se dají pořídit i články s účinností přesahující 22 %.

Monokrystalické články mají vyšší účinnost při přímém záření, jsou tedy optimální pro střechy orientované přímo na jih se sklonem 35°. Dále monokrystalický článek umožňuje částečnou průhlednost [4, 5, 6].



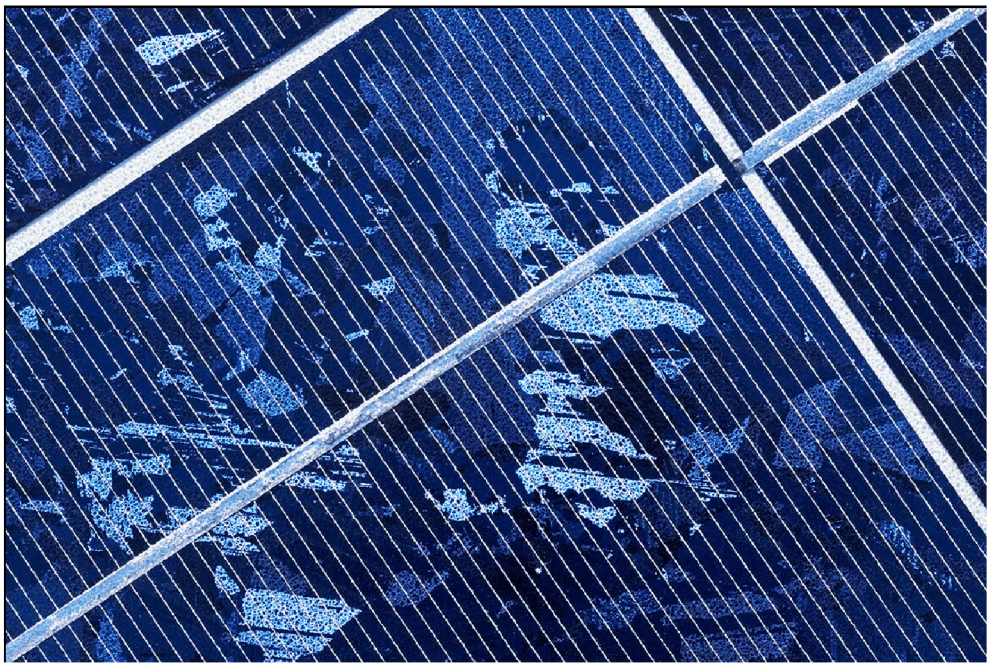
Obr. 2.1: Monokrystalický článek. Převzato z [7].

2.1.2 Polykrystalické články

Polykrystalický článek je stále více využíván díky nižším výrobním nákladům. Na rozdíl od monokrystalického článku se vizuálně odlišuje svojí nehomogenní krystalickou strukturou. Monokrystalický článek má jednolitou tmavě modrou až černou barvu. Polykrystalický článek má různé odstíny barev a místy je i skvrnitý.

Při výrobě se roztavený křemík slisuje do formy – jednotlivé krystaly mají rozdílnou polohu. Odpadá zde proces výroby čistého monokrystalu a metodou blokového lití se z taveniny polykrystalického křemíku vyrábí přímo články. Díky tomuto procesu se ušetří značné množství materiálu, protože se zde vynechává proces řezání monokrystalu.

Polykrystalické články jsou v laboratorních podmínkách méně účinné oproti monokrystalickým, protože nedokážou vyvinout srovnatelný výkon u přímého záření. Na druhou stranu polykrystalickým článkům vyhovuje více difuzní záření, které vzniká odrazem malých částeček v atmosféře např. při oblačnosti. Při zatažené obloze na povrch Země dopadá pouze difuzní záření, proto nemají v praxi polykrystalické panely o tolik menší účinnost. Článek je proto vhodný pro geografickou oblast ČR při celoročních změnách počasí. Polykrystalické články dosahují účinnosti v rozmezí 15–18 % a také umožňují částečnou průhlednost panelu [4, 5].



Obr. 2.2: Polykrystalický článek. Převzato z [8].

2.2 Články vyrobené z tenkovrstvých materiálů

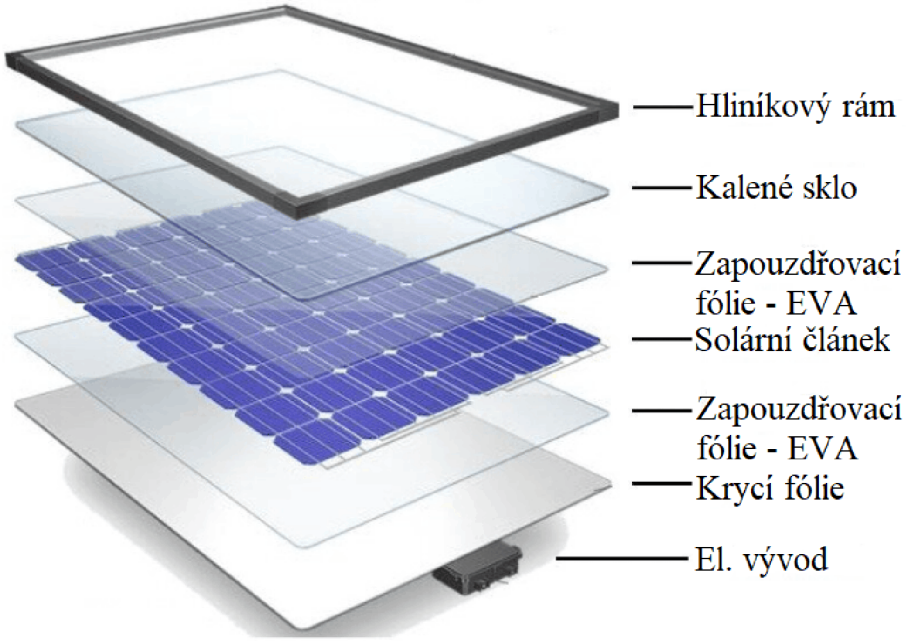
2.2.1 Amorfní moduly

Na rozdíl od krystalických článků se zde nevyrábí jednotlivé články, ale přímo celé moduly. Amorfní moduly netvoří krystalickou strukturu. Základem amorfních modulů je tenká vrstva fotocitlivého materiálu, která se nanáší na podkladový materiál. Materiálem může být vrstva skla, plastu nebo i nerezové oceli. Pro zlepšení účinnosti se nanáší více vrstev a každá zabírá jiné světelné spektrum. Amorfní moduly mají velkou výhodu ve své flexibilitě. Dají se tvarovat např. do speciálně tvarovaných tašek a podobně. Dále dobře pracují při horších světelných podmínkách a díky efektivnější výrobě a menší spotřebě materiálu mohou být levnější. Nevýhodou amorfních modulů je nižší účinnost, která se reálně pohybuje v rozmezí 8–10 %. Amorfní moduly se na světové produkci podílejí cca 15 %. Další nevýhodou je degradace materiálu, kdy se u modulu během prvního půl roku sníží účinnost o 10–15 %, a až poté se jeho účinnost ustálí na hodnotu udávanou výrobcem [4, 5].

Obr. 2.3: Amorfní článek. Převzato z [9].

2.3 FV panely

Fotovoltaický panel je u krystalických článků tvořen jednotlivými články. Články jsou seskládány buď paralelně, nebo do série podle toho, jaké napětí je požadováno na daném panelu. Fotovoltaické panely vznikají zapouzdřením článků, protože samotné články je nutné chránit před mechanickými a klimatickými vlivy (např. krupobití, vítr, sníh a podobně). K zapouzdření článků se používá zapouzdřovací EVA fólie, která se vyrábí z organického materiálu. Tento materiál má tendenci díky UV záření po čase žloutnout. Dochází tedy ke snížení optické transparentnosti a to má za následek nižší účinnost. Na ochranu článků kvůli vysokým požadavkům je použita vrstva kaleného skla, která by měla vydržet krupobití až 2 cm velkých krup. Používá se také teflon nebo litá pryskyřice. Výhodou fotovoltaických panelů je jejich cena. Pokud je střecha již postavená, tak jsou panely levnější variantou oproti fotovoltaickým taškám. Nevýhodou je, že panely nedokážou pokrýt celou plochu střechy kvůli svým továrním rozměrům. Dále je třeba počítat s hmotností instalace. Průměrná váha na 10 kWp výkonnou elektrárnu se pohybuje okolo jedné tuny. V následujících podkapitolách byly vybrány a zpracovány FV panely v co nejširším spektru technologií a vlastností. [10].



Obr. 2.4: Konstrukce FV panelu. Převzato z [10].

2.3.1 Panasonic VBHN335SJ53

Tento monokrystalický panel je od výrobce Panasonic s jednotkovým výkonem 335 Wp s rozměry 1 590×1 053 mm. Účinnost panelu je 20 %, což je nadprůměrná hodnota u komerčních panelů. Tento panel je vyroben z plátku křemíkového monokrystalu potaženého ultratenkou vrstvou amorfního křemíku pro zlepšení účinnosti při nepřímém záření. Hmotnost panelu je 19 kg. Cena panelu činí 213 EUR, což odpovídá ceně 5 204 Kč bez DPH (při kurzu 24,43 Kč za 1 EUR ze dne 13.4.2022) [11].

Obr. 2.5: Monokrystalický panel Panasonic. Převzato z [11].

2.3.2 Victron Energy 12V/115W

Tento polykrystalický panel má výkon 115 Wp a rozměry 1 015×668 mm. Tento panel nabízí nadprůměrný výkon při zhoršených světelných podmínkách, proto je výkonově více vyrovnaný v rámci ročních období. Hmotnost panelu je 8 kg. Cena panelu činí 2 710 Kč bez DPH [12].

Obr. 2.6: Polykrystalický panel Victron Energy. Převzato z [12].

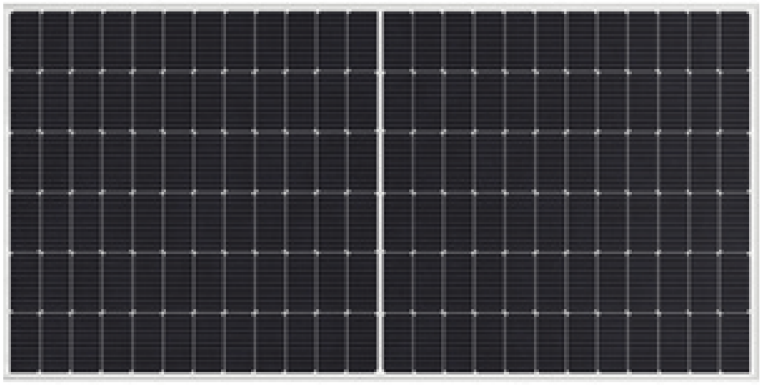
2.3.3 AVANCIS PowerMax

Tento amorfní panel má výkon 140 Wp při rozměrech 1 587×664 mm a vyniká svojí nadprůměrnou účinností, která dosahuje 13,3 %. Panel se hodí do prostor se zhoršenými okolními podmínkami nebo kde může být plocha instalace zastíněná. Zároveň může být panel umístěn na stěny budov, kde bývá plocha většinou nevyužitá. Hmotnost panelu je 17 kg. Cena panelu je 3 653 Kč bez DPH [13].

Obr. 2.7: Amorfní panel Avancis. Převzato z [13].

2.3.4 Sharp NUJD440

Jedná se o monokrystalický panel s účinností 19,9 %. Panel má výkon 440 Wp, jeho rozměry jsou 2 108×1 048 mm a hmotnost činí 25 kg. Panel disponuje half-cut články, které generují polovinu výkonu, ale mají o čtvrtinu nižší odporové ztráty. Poloviční proud navíc snižuje teplotu v jednotlivých článcích. Cena panelu činí 6 588 Kč bez DPH [14].



Obr. 2.8: Monokrystalický panel Sharp. Převzato z [14].

2.3.5 Sunman Flexi

Jde o flexibilní, lehký a ohebný monokrystalický panel, který má výkon 300 Wp. Panel váží 4,6 kg při rozměrech 1 661×990 mm. Tento panel je vhodný například pro instalaci FVE na karavany, členité a nerovné plochy, nebo do míst, kde je důležitá nízká hmotnost. Nevýhodou panelu je jeho cena, která je vzhledem k výkonu poměrně vysoká. Panel stojí 7 020 Kč bez DPH [15].

Obr. 2.9: Ohebný monokrystalický panel Sunman. Převzato z [15].

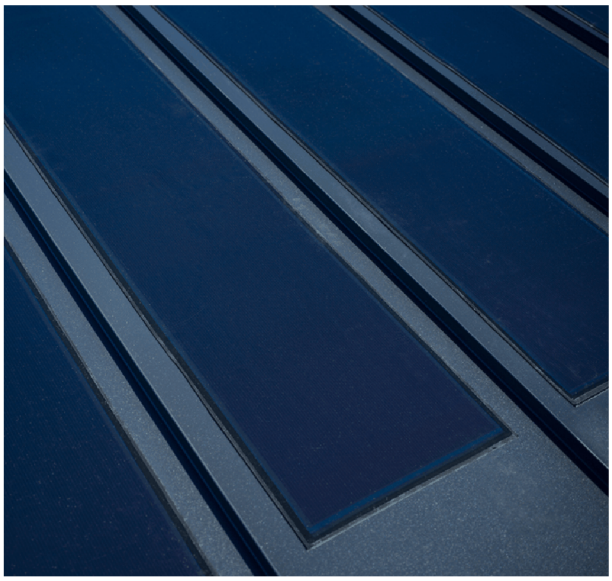
2.4 FV tašky

Solární taška je v poslední době zajímavou alternativou pro klasickou střešní tašku. Má potenciál hlavně u novostaveb nebo při výměně staré střechy. Fotovoltaická taška je obecně nákladnější variantou oproti FV panelu, ale v případě stavby střechy se zde musí počítat s odečtením nákladů za klasické tašky. Konstrukce tašky je podobná jako konstrukce FV panelu. Oproti panelu má menší a specifické rozměry.

S rostoucím trendem FV technologií lze vidět i reakci výrobců klasické střešní krytiny na rozvoj FV tašek. Tvrzení potvrzuje společnost Wienerberger, která také plánuje výrobu fotovoltaických tašek. Zatím se jedná pouze o plán spuštění výroby, ale lze pozorovat zájem o FV technologie i u výrobců klasické střešní krytiny. Společnost reaguje na poptávku FV instalací a jejím cílem je spuštění výroby fotovoltaických tašek, které by se měly vyrábět v Nizozemí [39].

2.4.1 Lindab Solar Roof

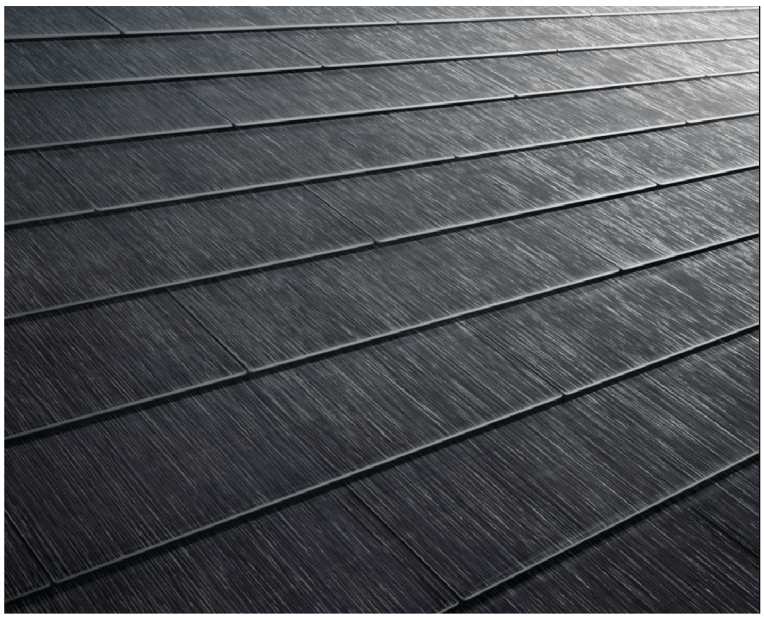
Nejedná se přímo o kusovou střešní tašku, ale o tenký amorfní panel, který se připevní na plechovou krytinu. Jeden kus střešní krytiny má rozměry 3 100×410 mm. Výkon jednoho modulu je 120 Wp a cena modulu je 4 427 Kč bez DPH. Výhodou modulu je jeho nízká hmotnost, která činí 2 kg. Společně se střešní krytinou má jeden kus dohromady 7 kg, takže zde není takové zatížení na konstrukci celé střechy. Nevýhodou modulu je jeho nižší účinnost. [16].



Obr. 2.10: Solární střešní krytina Lindab. Převzato z [16].

2.4.2 Tesla solar roof

Tesla u svých FV tašek používá několik speciálních technologií, které umožňují prakticky nerozeznání od klasických tašek. Používá se zde antireflexní vrstva, která zajistí nepropuštění světla z určitého úhlu. Tato vrstva zaručí, že při pohledu z ulice vypadá taška stejně jako klasická střešní krytina. Výkon jedné FV tašky činí 24 Wp při rozměrech 1 140×430 mm. Nižší výkon je způsoben použitím technologie amorfního modulu a snížením propustnosti světla díky použití antireflexní vrstvy. Hmotnost tašky na webových stránkách není dostupná. Cena jedné FV tašky je přibližně 112,3 USD, což odpovídá ceně 2 533 Kč bez DPH (při kurzu 22,56 Kč za 1 USD ze dne 13.4.2022). Cena FV tašky ovšem není pevná. Jedná se o cenu jedné tašky při stavbě elektrárny s nejnižším instalovaným výkonem, který Tesla nabízí. S vyšším instalovaným výkonem elektrárny se cena tašek bude snižovat. Nevýhodou tašky je zmíněný nižší výkon, který je ale vykompenzován větší využitelnou plochou střechy [17].



Obr. 2.11: Solární taška Tesla solar roof. Převzato z [18].

2.4.3 Gasser Ceramic FIT 54

FV taška je osazena monokrystalickými články, které zaručují vysoký výkon na jednotku plochy. Výhoda tohoto řešení je menší počet tašek, kterými je třeba střechu osadit. Články disponují vysokou účinností ve výši 22,2 %. Výkon jedné tašky činí 54 Wp při rozměrech 892×380 mm a hmotnost jedné tašky je 5,2 kg. Cena jedné

tašky činí 120 EUR, což odpovídá ceně 2 932 Kč bez DPH (při kurzu 24,43 Kč za 1 EUR ze dne 13.4.2022) [19].

Obr. 2.12: Solární taška FIT 54. Převzato z [19].

2.4.4 BiSolar roofing solution

Zde se nejedná přímo o kompletní FV tašku, ale pouze o panel, který lze nainstalovat na kompatibilní střešní krytinu. Toto řešení má několik výhod, např. není třeba měnit celou střechu, ale je možné nainstalovat jednotlivé kusy, které jsou vyrobeny na míru, na již používané rovné střešní tašky. Zatím se jedná pouze o koncept, u kterého výrobce neuvádí informace o ceně, hmotnosti ani rozměrech, které se vzhledem k instalaci na různé střešní tašky mění. Výkon na 1 m^2 je 173 Wp [20].

Obr. 2.13: Solární taška BiSolar. Převzato z [20].

2.4.5 Hanergy solar roof

Taška od společnosti Hanergy je specifická a ojedinělá svým zakřiveným tvarem, který více připomíná standardní střešní krytinu. Zakřiveného tvaru lze docílit díky použití amorfního modulu, který lze jednoduše tvarovat. Taška je potažena EVA organickou vrstvou a zakřiveným kaleným sklem. Jedna solární taška disponuje výkonem 30 Wp při rozměrech 703×415 mm. Technologie amorfních modulů sice nedisponuje tak vysokou účinností, na druhou stranu se zde počítá s pokrytím celé střešní plochy. Cena jedné tašky je 54 USD což odpovídá ceně 1 220 Kč bez DPH (při kurzu 22,58 Kč za 1 USD ze dne 13.4.2022) [21, 22].

Obr. 2.14: Solární taška Hanergy. Převzato z [21].

2.5 Srovnání solárních panelů a tašek

Následující kapitola porovnává vybrané produkty, které byly v práci popsány. Jde pouze o úzký výběr, u kterého byla snaha o co největší rozmanitost co se týče technologií a parametrů.

U solárních panelů je z hlediska výkonu na plochu nejlepší monokrystalický panel Panasonic VBHN335SJ53 nebo rovněž monokrystalický panel Sharp NUJD440. Panely mají výkon 200 Wp potažmo 199 Wp na 1 m^2. Pokud je požadován ideální poměr ceny a výkonu, tak vhodným panelem je Sharp NUJD440.

Fotovoltaické tašky se vyplatí převážně při výstavbě nové střechy. Oproti FV panelům jsou stále cenově méně dostupné. Ceny jednotlivých tašek jsou pouze orientační, protože daný typ tašky může distribuovat více prodejců za různé ceny. Dalším důvodem je, že většina vybraných tašek je ze zahraničních e-shopů v rámci Evropy, USA a Číny. Kurz měny, za kterou lze panel koupit, byl určen ze dne zapsaného za cenou tašky. Nejlepší výkon na jednotku plochy z prodávaných tašek má solární taška Gasser Ceramic FIT 54, která disponuje výkonem 162 Wp/m^2,

což je již srovnatelná hodnota se solárními panely. Nevýhodou této tašky je cena, která činí 8 650 Kč za 1 m^2. Nejlepší poměr ceny a výkonu má solární taška Lindab. V posledním řádku tabulky je popsána klasická střešní krytina za průměrnou cenu.

Tab. 2.1: Srovnání FV panelů

Název	**Rozměry**	**Váha**	**Výkon**	**Výkon**/m^2	**Cena**	**Cena**/m^2
Jednotka	(mm)	(kg)	(Wp)	(Wp)	(Kč)	(Kč)
Panasonic	1590 × 1053	19	335	200	5 204	3 108
Victron Energy	1015 × 668	8	115	170	2 710	3 997
AVANCIS	1587 × 664	17	140	133	3 653	3 467
Sharp	2108 × 1048	25,5	440	199	6 588	2 982
SUNMAN FLEXI	1661 × 990	4,6	300	182	7 020	4 269

Tab. 2.2: Srovnání FV tašek

Název	**Rozměry**	**Výkon tašky**	**Výkon**/m^2	**Cena**	**Cena**/m^2
Jednotka	(mm)	(Wp)	(Wp)	(Kč)	(Kč)
Lindab	3100 × 410	120	94,4	4 427	3 483
Tesla solar roof	1140 × 430	24	49	2 533	5 167
FIT 54	892 × 380	54	162	2 932	8 650
Bisolar	Na míru	dle rozměrů	173	–	–
Hangery	703 × 415	30	103	1 220	4 182
Klasická taška	420 × 332	–	–	38,6	386

3 Historický vývoj FV panelů a tašek

Základem fotovoltaické technologie je fotoelektrický jev, který byl objeven v roce 1876 Alexandrem Edmondem Berquerelem. První fotovoltaický článek byl sestrojen v roce 1883 Charlesem Frittsem. Článek fungoval na principu potažení polovodivého selenu tenkou vrstvou zlata. Článek měl velmi nízkou účinnost kolem 1 %. Výsledkem bylo přelomové zjištění, že světelný tok lze přeměnit na elektrickou energii. Po delším období si v roce 1946 nechal patentovat solární článek Russel Ohl, který objevil první P–N přechod [23].

3.1 Účinnost a využití prvních FV článků

V roce 1954 začaly počátky fotovoltaické technologie, která je známá dodnes. Experimenty se prováděly s krystalickým křemíkem, u kterého se zjistila vysoká citlivost na okolní světlo. Hlavním impulsem pro vývoj FV článků byly vesmírné programy, konkrétně použití článků v kosmické a satelitní technice. V 50. letech se účinnost článků posunula k 6 % a postupně stoupala až na 11 %. První praktické využití FV článku byla instalace FVE na družici zvanou Vanquard I, ve které byl po dobu 7 let napájen jeden vysílač pouze z FV panelů. Družice byla vypuštěna do vesmíru v roce 1958 [24].

Obr. 3.1: Družice Vanquard I. Převzato z [25].

Na počátku 60. let byl vypuštěn na oběžnou dráhu první satelit nesoucí jméno Teslar, který byl pokryt fotovoltaickými články s celkovým výkonem 14 Wp. V této době byly možnosti pro civilní využití velice omezené vzhledem k ceně, která přesahovala 300 USD/W. Běžná cena elektrické energie z klasických elektráren stála 50 centů za 1 Watt [24].

3.1.1 První civilní aplikace

Na počátku 70. let 20. století se ceny fotovoltaických článků výrazně snižovaly a začaly být využívány domácnostmi a průmyslovými podniky. Solární energií se začaly zásobovat vzdálené venkovské příbytky, ke kterým by byla výstavba distribuční soustavy velice nákladná. Dále se solární články využívaly u ropných plošin, majáků atd., kde nebyla vystavěna distribuční soustava [24].

Velikým impulsem pro rozvoj solární energie a obnovitelných zdrojů byla ropná krize, která vypukla v roce 1973. Začaly vznikat rozsáhlé vývojové programy a solární energií byla zásobována zdravotnická zařízení, čerpadla na vodu a jiné životně důležité objekty. V roce 1976 byl spuštěn projekt Lewis Research Center, spadající pod NASA, který zahájil výstavbu 83 fotovoltaických elektráren po celém světě. S koncem ropné krize ovšem začaly vývojové programy upadat a nastal útlum ve vývoji fotovoltaické technologie [24].

3.1.2 Rozvoj FVE v průmyslu

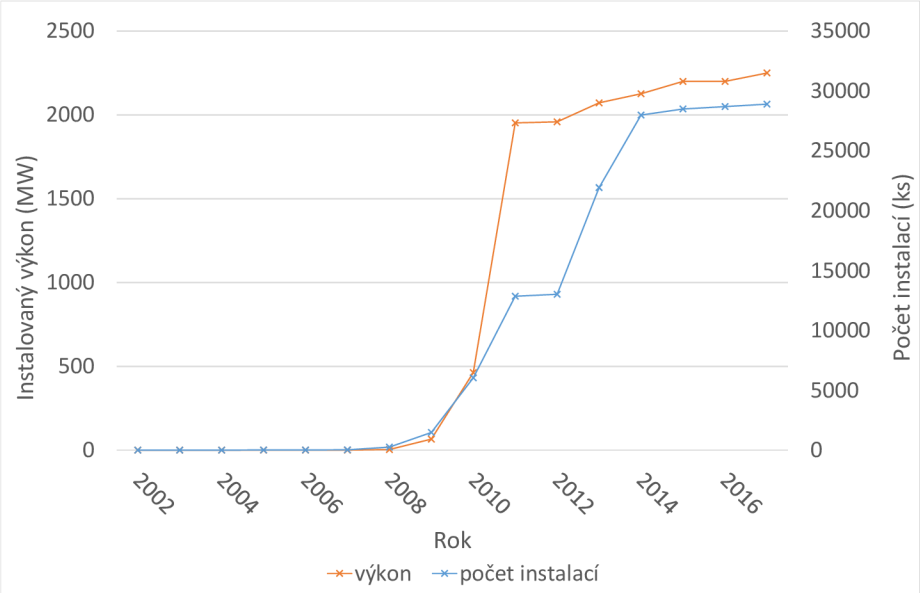
V 80. letech se na University of Delaware podařilo vyrobit první tenkovrstvý článek, který měl účinnost až 10 %. Vznikala první letadla a automobily poháněné solární energií. S rozšířením solární energie v průmyslu se razantně zvyšuje výstavba FVE. V roce 1982 bylo vyrobeno 9,3 MWh elektrické energie z fotovoltaických panelů. O rok později se produkce více než zdvojnásobila [26].

V roce 1984 byla ve Velké Británii vybudována fotovoltaická elektrárna s výkonem 30 kW. V roce 1986 společnost ARCO Solar uvádí na trh první komerčně dostupný amorfní modul s modelovým označením G-400. Vývoj fotovoltaických článků v 90. letech prodělal veliký rozmach. V roce 1992 byla překonána hranice 15 % účinnosti v laboratorních podmínkách. V roce 1993 byla překonána 20 % hranice účinnosti a o rok později účinnost přesáhla 30 %. FV technologie se vyvíjela dále a meziroční růst instalovaného výkonu se zvyšoval o 15–25 % [26].

3.2 Vývoj FV panelů a tašek ve 21. století

V počátcích 21. století účinnost panelů stále roste a u komerčních panelů se pohybuje mezi 9–15 % v závislosti na technologii. V roce 1998 byla v České republice postavena první fotovoltaická elektrárna s výkonem 10 kWp. Výstavba FVE se na začátku nového tisíciletí nikterak nezvyšovala. Veliký posun ve výstavbě nastal mezi lety 2009 a 2013, který byl zapříčiněn poklesem nákladů na výrobu fotovoltaických panelů společně s rozsáhlými dotačními programy ze strany států. Konkrétně v České republice se zavedl zákon č.180/2005 Sb, který masivně podpořil výstavbu rozsáhlých fotovoltaických elektráren. Tento zákon byl dne 1.1.2013 zrušen kvůli své nedokonalosti. Nedokonalost spočívala v obrovském využití dotačních programů na výstavbu elektráren společně s garancí vysoké výkupní ceny elektřiny, která se nesměla měnit o více jak 5 % ročně. Těchto výhod bylo zneužíváno různými metodami, např. generování elektřiny jiným způsobem i přes noc, kdy panely nevyrábí elektřinu apod. a generování zisku z rozdílu prodejní a výkupní ceny [27].

V tomto období v ČR vznikalo velké množství rozsáhlých FV elektráren s výkony v řádech MWp. Největšími jsou elektrárna Vepřek s výkonem 35,1 MWp, elektrárna Ševětín o výkonu 29,9 MWp a elektrárna Ralsko Ra 1 o výkonu 38,3 MWp [27].



Obr. 3.2: Vývoj FVE v České republice. Vlastní zpracování na základě [34].

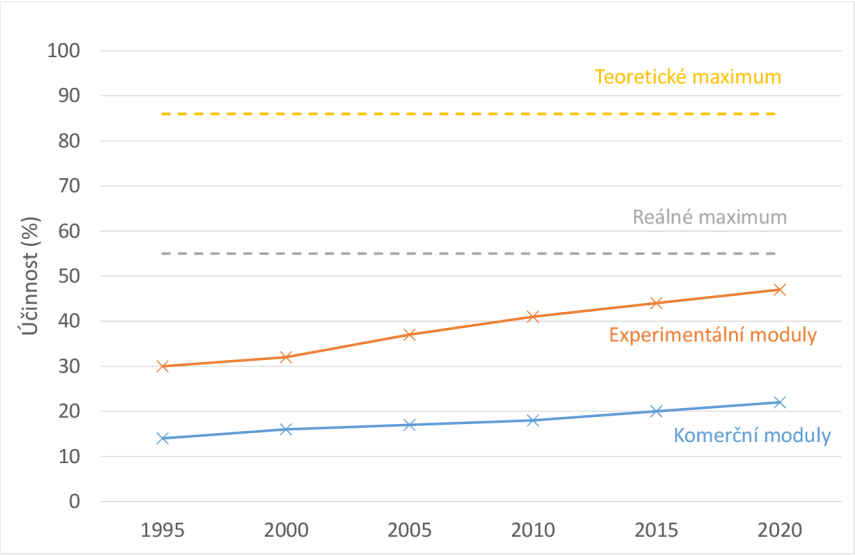
Mezi lety 2013 až 2017 nastal útlum ve výstavbě fotovoltaických elektráren. Tento útlum skončil s příchodem nového dotačního programu „Nová zelená úsporám“, díky

kterému se začalo stavět stále větší množství domácích fotovoltaických elektráren do 10 kWp. Nový dotační program se zaměřuje přímo na domácnosti, a tedy na elektrárny pro využití elektřiny k vlastní spotřebě. Z dotačního programu lze získat až 75 % z ceny na FV systém s akumulací, maximálně však 150 000 Kč. Pro klasický systém lze využít dotaci až 50 % z ceny. Díky tomuto novému dotačnímu programu došlo ke zrušení předem garantovaných cen za výkup elektřiny a již se tedy tolik nevyplatí stavby elektráren s vysokým instalovaným výkonem. Dnešním trendem jsou menší FV instalace na rodinné domy a nevyužité střechy budov viz 3.4 [28].

3.3 Vývoj účinnosti jednotlivých FV technologií

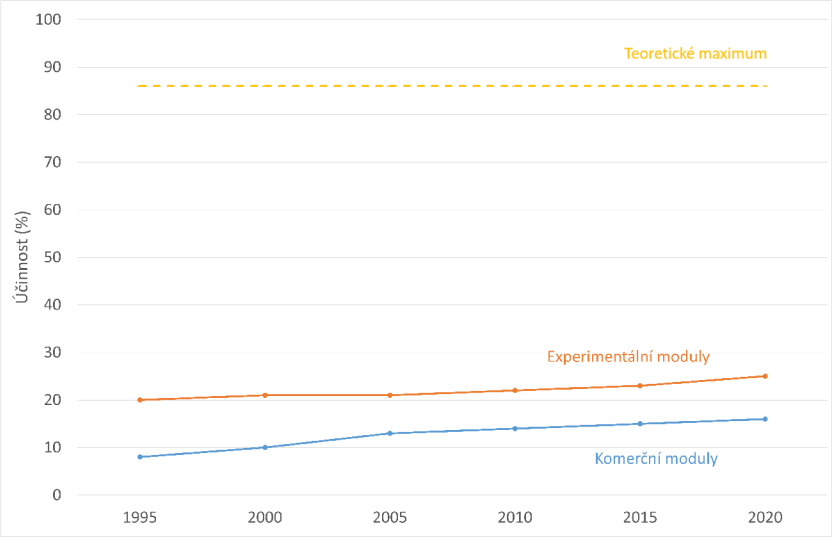
Během vývoje fotovoltaiky se různě vyvíjely jednotlivé technologie. V následujících grafech jsou znázorněny účinnosti komerčních a experimentálních modulů u tří hlavních technologií.

První graf na obrázku 3.3 vyobrazuje účinnost komerčních a experimentálních modulů u technologie monokrystalických článků. Dále graf obsahuje maximální teoretickou účinnost, která je vypočítána pomocí metody „Shockleyův–Queisserův limit“a teoretickou účinnost, která by mohla být v budoucnu reálná i pro komerční využití [38].



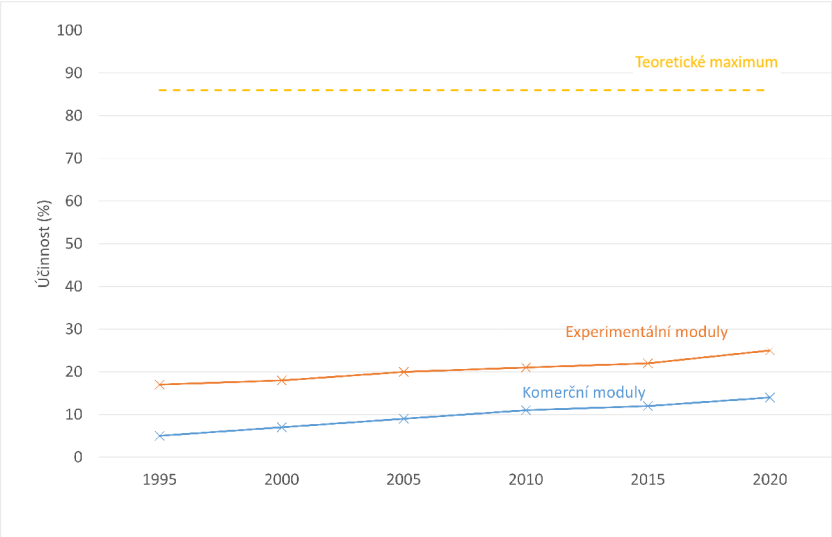
Obr. 3.3: Vývoj účinnosti monokrystalických článků. Vlastní zpracování na základě [38].

Ve druhém grafu na obrázku 3.4 je vyobrazen vývoj účinnosti polykrystalických panelů, u kterých již není stanovena teoretická hranice. Hranice je počítána pouze pro monokrystalické články. Vzhledem k procesu výroby polykrystalických článků nemohou přesáhnout teoretické hranice účinnosti, které byly spočítány pro monokrystalické články [38].



Obr. 3.4: Vývoj účinnosti polykrystalických článků. Vlastní zpracování na základě [38].

Třetí graf na obrázku 3.5 vyobrazuje účinnost amorfních modulů. Účinnost laboratorních modulů se přibližuje účinnosti laboratorních polykrystalických exemplářů. Vysoká účinnost experimentálních amorfních modulů je dosažena díky použití drahých materiálů, které se v běžné komerční výrobě nevyplatí použít [38].



Obr. 3.5: Vývoj účinnosti amorfních modulů. Vlastní zpracování na základě [38].

Účinnosti jednotlivých technologií jsou shrnuty v tabulce 3.1. Hodnoty vychází dle předpokladů z 2. kapitoly. Technologie monokrystalických článků byla jedna z prvních a díky procesu výroby dosahuje nejvyšší účinnosti. Monokrystalické články se využívaly hlavně ze začátku vývoje fotovoltaické technologie, např. u vesmírných družic. V komerční výrobě se využívají po celou dobu velmi významně. V poslední dekádě se ceny monokrystalických článků díky úspornější výrobě snižují, proto se monokrystalické články více využívají do menších zástaveb, kde je méně místa a je potřeba vyrobit co nejvíce energie vzhledem k ploše [24].

Polykrystalické články se začaly více využívat na začátku milénia. Nejvíce se využívaly kolem roku 2010, kdy se kladl důraz na nízké pořizovací ceny. V této době probíhaly výstavby převážně rozsáhlých instalací, díky zmíněným dotačním programům, a nebyl kladen takový důraz na plochu instalace [40].

Amorfní moduly se oproti monokrystalickým a polykrystalickým článkům využívají po celou dobu v menší míře s cca 15% podílem na světové produkci [4].

Tab. 3.1: Srovnání účinností jednotlivých technologií pro komerční použití

	Monokrystalické		**Polykrystalické**		**Amorfní**	
Rok	**Průměr**	**Maximum**	**Průměr**	**Maximum**	**Průměr**	**Maximum**
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1995	14	30	8	20	5	17
2000	16	32	10	21	7	18
2005	17	37	13	21	9	20
2010	18	41	14	22	11	21
2015	20	44	15	23	12	22
2020	22	47	16	25	14	25

3.4 Dnešní FV technologie

V současné době se výstavba FVE orientuje ve velké míře na již zmíněné malé zástavby na rodinné domy nebo střechy průmyslových objektů, které slouží především pro vlastní spotřebu. Obecně se zaměřuje spíše na pokrytí využitelných střech oproti instalacím na jinými způsoby využitelnou půdu. V nynější době cena FV panelů a tašek stoupá díky vyšší poptávce po FV instalacích. FVE se dostaly do popředí zájmu především kvůli energetické krizi v Evropě a snaze omezit závislost na elektrické energii za vysoké ceny.

Energetická krize v Evropě je zaviněná především nedostatečným exportem plynu z Ruska a také postupným odstavováním velkého počtu jaderných elektráren v Německu, které způsobilo mimo jiné obnovení některých uhelných elektráren. S růstem podílu elektřiny vyrobené právě z uhelných elektráren až trojnásobně stouply ceny emisních povolenek, které se promítly do cen elektrické energie. V neposlední řadě je cena energie nepříznivě ovlivněna dnešní geopolitickou situací na území Ukrajiny. Evropa se snaží omezit dovoz fosilních paliv z území Ruské federace a díky tomu se jejich ceny zvyšují. Kvůli nárůstu ceny za elektřinu se i přes vyšší ceny FV panelů a tašek instalace stále vyplatí a návratnost instalace se společně s využitím dotací pohybuje kolem sedmi až deseti let u FV systému s akumulací. V Evropě tedy dochází k velkému množství výstaveb nových FV instalací a konkrétně v České republice je stále větší zájem o instalace pro krytí vlastní spotřeby elektrické energie [30].

Domácí FV systémy se instalují především s akumulací. Technologie baterií se hlavně s nástupem elektromobilismu zlepšují. Akumulace může sloužit také jako vyrovnávací systém sítě a do budoucna částečně zastupovat přečerpávací elektrárny. Systémy se snaží zásobit domácnost v co možná nejvyšší míře, ale především v zimních měsících je u klasické velikosti FV systému stále potřeba alespoň částečného napájení z distribuční sítě.

3.5 Teoretické hranice technologií

Účinnost FV modulu se počítá dle vztahu:

$$\eta_{\text{modulu}} = 100 \cdot \frac{P_{\text{modulu}}}{G \cdot A}, \tag{3.1}$$

kde

P_{modulu} ... jmenovitý výkon modulu (W),
G ... konstanta slunečního ozáření (W/m^2),
A ... plocha FV modulu (m^2).

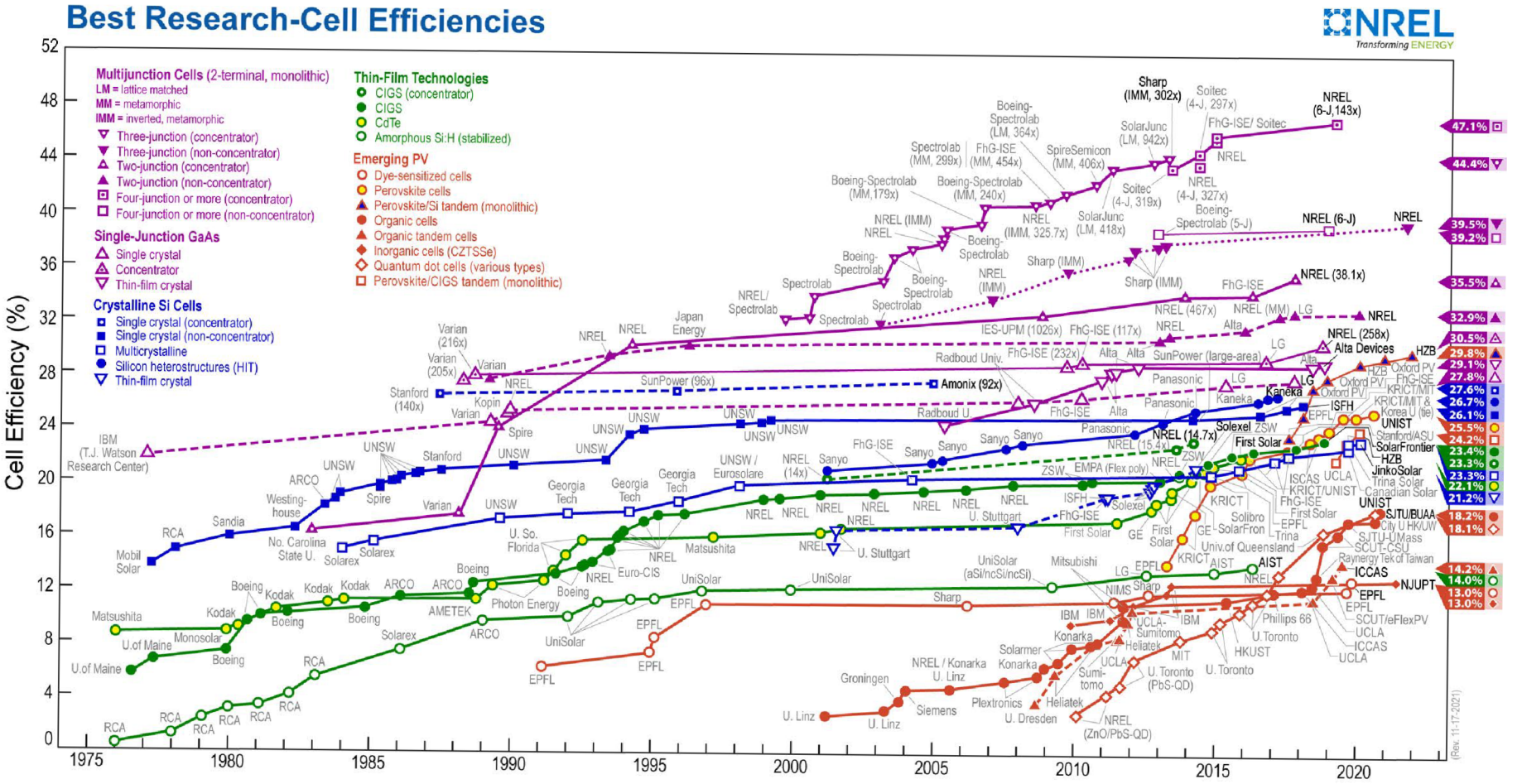
Hodnota konstanty slunečního ozáření neboli sluneční konstanta se pomocí satelitního měření spočítala na hodnotu $1366\,\text{W/m}^2$ viz kapitola 1. Konstanta je vypočtená jako průměr pro celou Zemi ve všech vlnových délkách slunečního záření. Pro výpočet účinnosti FV panelů se uvažuje sjednocená konstanta $1000\,\text{W/m}^2$. Teoreticky za použití této konstanty může mít panel se 100 % účinností instalovaný kolmo k slunečním paprskům výkon $1000\,\text{W/m}^2$. Tato úvaha je ovšem neproveditelná, protože při výpočtu teoretické maximální účinnosti FV panelu se musí uvažovat tzv. „Shockleyův–Queisserův limit“, který určuje maximální teoretickou účinnost přeměny ze slunečního záření na elektřinu pro FV článek s P–N přechodem. K přeměně na elektrickou energii lze totiž využít pouze část fotonů, jejichž energie odpovídá energii zakázaného pásu P–N přechodu (pro křemík je to hodnota 1,1 eV). Fotony s nižší energií jsou pohlceny materiálem a přeměněny na teplo. Fotony s vyšší energií jsou využity pouze z části odpovídající energii zakázaného pásu a zbylé fotony jsou rovněž přeměněny na teplo [31, 32, 33].

Pro běžné spektrum a intenzitu záření je teoretická účinnost křemíkového článku vypočtena na úroveň 33 %. Nejvyšší účinnosti byly v laboratorních podmínkách naměřeny 27,8 %. Tato účinnost byla naměřena u monokrystalického článku. Ostatní technologie mají zpravidla nižší účinnost. Zvýšení účinnosti lze dosáhnout pomocí dvou v praxi prováděných metod. První metoda je technologie více vrstev, kde každá vrstva panelu využívá určitou část spektra a tím dokáže využít širší část spektra sluneční energie a zvýšit tak účinnost přeměny. Díky této metodě byla v praxi poprvé překonána teoretická účinnost klasického jednovrstvého článku a teoretické hranice účinnosti se tak posunuly konkrétně u dvouvrstvých článků na 42 %, u třívrstvých na 49 %, u šestivrstvých na 65 % a limit pro nekonečný počet vrstev byl vypočítán na 68 % [33].

Další metodou pro zvýšení účinnosti je použití technologie koncentrovaných článků. Koncentrované články mají vyšší účinnost především při dobré intenzitě přímého slunečního záření. Pracují na principu zrcadla nebo Frensnelovy čočky používané ke koncentraci slunečního záření. Tato technologie je levnější než technologie vícevrstvých článků a dostupnost použitých materiálů pro výrobu je znatelně lepší [33].

Obě zmíněné technologie se dají zkombinovat a teoretická maximální účinnost se dá posunout na ještě vyšší hodnoty. Konkrétně pro jednovrstvé články na 41 %, pro dvouvrstvé na 55 %, pro třívrstvé na 63 % a pro nekonečný počet vrstev byla teoretická účinnost spočítána na hodnotu 86 % [33].

V laboratorních podmínkách byla naměřena nejvyšší účinnost 47,1 % u šestivrstvého koncentrovaného monokrystalického článku NREL (6-J,143x). Souhrn účinností je vyobrazen v grafu 3.6, který zobrazuje účinnosti jednotlivých technologií v daném období [34].



Obr. 3.6: Nejlepší účinnosti experimentálních článků. Převzato z [38].

4 Analýza prostředí a velikosti instalace FVE

Každá FV technologie se hodí do určité oblasti a na určitá místa instalace. Technologie jsou účinnější buď pro přímé záření, nebo pro difuzní záření. Poměrně novou technologií jsou bifokální panely, které dobře pracují s difuzním zářením. Bifokální panel na rozdíl od klasického dokáže generovat elektrickou energii z obou stran panelu. Jednak je odolnější proti vnějším vlivům, protože má ochranné folie a tvrzená skla z obou stran, a také dokáže přijímat i odražené záření z druhé strany a zvýšit svoji účinnost. Bifokální panely jsou v dnešní době stále málo dostupné kvůli vysoké pořizovací ceně, takže se i přes vyšší účinnost zatím neinstalují ve velké míře. [35].

4.1 Přímé a difuzní záření

Použití technologií se nejlépe dělí dle místa instalace. Na určitých místech je vyšší koncentrace přímého záření, na jiných je vyšší koncentrace difuzního záření. Na rozdíl od přímého záření je difuzní nepřímé záření odražené buď od různých staveb a objektů nebo od molekul přímo ve vzduchu, kde záleží na počasí, míře oblačnosti a podobně. Proto nelze poměr přímého a difuzního záření zcela ovlivnit. Lze ho ale v určité míře ovlivnit místem instalace [36].

Obr. 4.1: Přímé a difuzní záření. Převzato z [36].

4.2 Střechy

U střech obecně platí, že na ně dopadá nejvyšší koncentrace přímého záření. Střechy se mohou dělit na rovné střechy, sedlové střechy a sedlové valbové střechy (sedlové střechy s vikýři a dalšími prvky).

U rovných střech jsou nejlepší podmínky pro přímé záření, díky tomu je lepší na ně instalovat monokrystalické FV panely, které nejvíce využívají přímé záření. Na rovné střechy lze instalovat konstrukce, které umožní naklonit panely do úhlu kolmo na sluneční záření, nebo konstrukce, které sledují polohu Slunce a přizpůsobují tomu náklon samotných panelů.

U sedlových střech a sedlových valbových střech lze uvažovat o monokrystalických a polykrystalických panelech v závislosti na rozloze střechy. Nejlepší orientace střech je jižní strana se sklonem 35°. Pro zlepšení úhlu se na střechy dají instalovat podpěry panelů, aby zvýšily úhel naklonění.

4.3 Fasády

Instalace panelů na fasády je nejméně účinné řešení kvůli špatnému úhlu dopadajícího záření. Instalace na fasády je výhodná například ve městech, kde je vysoká koncentrace spotřeby el. energie a malý prostor na umístění FV panelů. Na fasády dopadá převážně difuzní záření s menší intenzitou, proto je pro instalaci nejlepší typ amorfních panelů, které mají nižší výkyvy dle typu záření a jsou levné. Vzhledem k zaměření této práce na menší obce, kde je dostatek prostoru pro uložení střešních FV panelů, se práce instalací panelů na fasádu zabývat nebude.

4.4 Velikost FVE

Dle již zmíněného dotačního programu Nová zelená úsporám je pro získání dotace maximální dovolený instalovaný výkon pro domácnosti 10 kWp. Většina domácností ve spotřebě elektřiny tuto hodnotu v praxi nepřekročí. V průměru 1 kWp instalovaného výkonu vyrobí 980 kWh ročně, tedy elektrárna s výkonem 10 kWp v průměru na území ČR vyrobí 9 800 kWh ročně. Pokud by domácnost používala el. energii pouze pro svícení a napájení běžných spotřebičů, tak by se její roční spotřeba pohybovala v průměru od 2 000 do 3 000 kWh. Při ohřevu vody se průměrně spotřebuje 1 160 kWh na osobu. Při čtyřčlenné domácnosti je to celkově 4640 kWh. Pro takovou domácnost by 10 kWp instalace s dostatečným akumulačním zařízením pokryla celkovou spotřebu domácnosti. Při tomto modelu je ale nutné počítat s využitím celkové vyrobené energie, což v praxi není zcela možné skrze výkyvy množství vyrobené energie v průběhu roku a podobně. Při vytápění rodinného domu záleží

na technologii použití. Při využívání odporového ohřívání se v průměru spotřebuje přibližně 12 000 kWh ročně. Při použití tepelného čerpadla je to kolem 5 000 kWh ročně. U obou variant by velikost instalace již nedostačovala. Pro celkovou spotřebu rodinného domu, který používá elektřinu na všechny tři zmíněné možnosti, by se velikost instalace pohybovala kolem 15–20 kWp. Jak již bylo naznačeno, FVE má velké výkyvy co se týče ročního období. V praxi to znamená, že i s nadprůměrně velkou FV instalací nebude v zimě vygenerovaná energie stačit na pokrytí celkové spotřeby domu. Proto se u většiny instalací nevyplatí přecházet přímo do ostrovního režimu, ale například je vhodné sjednat si u distributora tarif s možností časů levných proudů, kdy se může levná energie akumulovat do bateriového úložiště a značně se tím ušetří náklady za elektrickou energii [50].

5 Výpočet energie fotovoltaických instalací

K výpočtu teoreticky dosažitelné energie se mohou použít různé postupy. Při výpočtu je nutné zohlednit odpovídající přesnost, ale zároveň také co největší jednoduchost při výpočtech. Kapitola bude zahrnovat dva možné způsoby výpočtu energie FV instalací [41].

5.1 Výpočet dle normy ČSN EN 15316-4-3

V rámci ČR byla pro výpočet energie fotovoltaických soustav zavedena norma ČSN EN 15316-4-3. Tato norma se zabývá energetickou náročností budov. Mimo výpočty energií FV systémů lze tedy pomocí této normy spočítat výrobu tepla a obsahuje také metody výpočtu potřeb energie a účinnosti soustav [41].

Pro výpočet energie dodané FV systémem se uvažuje následující vzorec:

$$E_{\mathrm{PV,sys}} = \frac{H_{\mathrm{T,rok}} \cdot P_{\mathrm{pk}} \cdot f_{\mathrm{perf}}}{G_{\mathrm{ref}}}, \tag{5.1}$$

kde

$H_{\mathrm{T,rok}}$ ... roční dávka ozáření panelů (kWh/rok),
P_{pk} ... špičkový výkon FV systému (kW),
f_{perf} ... činitel výkonnosti FV systému (–),
G_{ref} ... sluneční konstanta (kW/m^2), G_{ref}=1 kW/m^2 [41].

Pokud není známý špičkový výkon FV systému, lze jej vypočítat univerzálním vzorcem, který uvažuje okolní teplotu 25 °C a sluneční konstantu G_{ref}=1 kW/m^2.

$$P_{\mathrm{pk}} = K_{\mathrm{pk}} \cdot A_{\mathrm{FV}}, \tag{5.2}$$

kde

K_{pk} ... součinitel špičkového výkonu (kW/m^2) viz Tab. 5.1,
A_{FV} ... aktivní plocha všech FV panelů (m^2) [41],

V následující tabulce 5.1 jsou vypsány hodnoty součinitele špičkového výkonu pro různé FV technologie.

Tab. 5.1: Hodnoty součinitele špičkového výkonu

Technologie FV modulu	K_{pk} (kW/m^2)
Monokrystalický křemík	0,16–0,22
Polykrystalický křemík	0,12–0,18
Amorfní křemík	0,06–0,12

Činitel výkonnosti FV systému f_{perf} zohledňuje výkonnost FV systému v závislosti na skutečné provozní teplotě FV panelů a také na integraci v okolních podmínkách instalace FV systému [41].

Tab. 5.2: Hodnoty činitele výkonnosti

Druh integrace	f_{perf} (–)
Nevětrané panely	0,70
Částečně větrané panely	0,75
Silně nebo nuceně větrané panely	0,80

5.2 Bilanční metoda

Oproti podrobnějším matematickým postupům zjednodušená bilanční metoda nepracuje s VA charakteristikou, ale využívá referenční účinnost modulů η_{ref} (%), špičkový instalovaný výkon P_{pk} (kW), případně aktivní plochu FV panelů A_{FV} (m^2) [41].

Účinnost panelů je ale závislá na teplotě FV článků. Čím větší je provozní teplota, tím více účinnost klesá. Tento vztah lze popsat následující rovnicí:

$$\eta_{\text{FV,t}} = \eta_{\text{ref}} \cdot \left(1 + \frac{\gamma}{100} \cdot (t_{\text{FV}} - t_{\text{ref}})\right), \tag{5.3}$$

kde

η_{ref} ... referenční účinnost panelu (%),
t_{FV} ... teplota FV článku (°C),
t_{ref} ... referenční teplota článku 25 °C (°C),
γ ... teplotní součinitel výkonu pro daný panel (%/K) [41].

Teplotní součinitel panelu je udáván přímo výrobcem. Výrobce v podkladech k FV panelům uvádí teplotní součinitel výkonu jako pokles výkonu vzhledem k zvýšení teploty o 1 K oproti referenční hodnotě 25 °C [41].

Účinnost FV panelu také závisí na úrovni slunečního ozáření, tedy na sluneční konstantě G. Většina FV technologií je logaritmicky závislá na intenzitě ozáření a s jejím poklesem klesá i účinnost FV panelů.

$$\eta_{\text{FV,G}} = \eta_{\text{ref}} \cdot \left(1 + k \cdot ln\frac{G}{G_{\text{ref}}}\right), \tag{5.4}$$

kde

η_{ref} ... referenční účinnost panelu (%),
G ... sluneční ozáření pro stanovení poklesu účinnosti (W/m^2),
G_{ref} ... sluneční konstanta (W/m^2),G_{ref}=1000 W/m^2,

k ... součinitel pro daný panel (–) [41].

Celková účinnost panelu se poté stanoví pomocí korigovaných účinností z předchozích vztahů:

$$\eta_{\mathrm{FV}} = \frac{\eta_{\mathrm{FV,t}} \cdot \eta_{\mathrm{FV,G}}}{\eta_{\mathrm{ref}}}. \tag{5.5}$$

Bilanční metoda je vhodná pro výpočet produkce elektrické energie za jeden měsíc. Metoda může také zahrnovat předpokládané elektrické ztráty vedení nebo také ztráty výkonu způsobené neideálním natočením FV panelu. Díky měsíčním výpočtům je třeba vypočítat produkci za každý měsíc a poté pro získání roční bilance výsledky sečíst.

$$E_{\mathrm{FV,sys}} = k_{\mathrm{or}} \cdot \frac{\eta_{\mathrm{FV}}}{100} \cdot H_{\mathrm{T,měs}} \cdot A_{\mathrm{FV}} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right), \tag{5.6}$$

kde

$H_{\mathrm{T,měs}}$ ... měsíční dávka slunečního záření (kWh/m^2 · měs),
p ... elektrické ztráty (%),
k_{or} ... koeficient ztrát natočením panelu (–) [41],

Oproti metodě výpočtu dle normy je bilanční metoda přesnější, ale je také náročnější na výpočet a na vstupní hodnoty. V práci se bude využívat upravená metoda podle normy, protože k bilanční metodě jsou potřeba hodnoty, které často nebývají k dispozici.

6 Porovnání reálných a teoretických hodnot u vybraných lokalit

Pro validaci teoretických výpočtů produkce elektrické energie u FV systémů je potřeba srovnat výpočty s reálnými hodnotami. Srovnání výpočtů s již naměřenými hodnotami slouží k validaci a ověření funkčnosti metody výpočtu, která bude využita v kapitole 8. Pro tuto kapitolu byly vybrány tři objekty.

První objekt se nachází v obci Omice nedaleko Brna. Jedná se o rodinný dům, jehož střecha je z poloviny natočena na východ a z druhé poloviny na západ. Druhý objekt se nachází také nedaleko Brna v obci Střelice. Jedná se opět o rodinný dům, který má střechu natočenou na jih. Měřená data z druhého objektu byla převzata z diplomové práce „Hodnocení provozu malých fotovoltaických elektráren s připojením do sítě NN“ [42]. Třetí objekt je rovněž rodinný dům, který má instalaci rozdělenou na tři stejné části orientované jižním, východním a západním směrem. Data z měření byla převzata z webu [52]. Natočení objektů je pro tuto práci výhodné, protože lze ověřit funkčnost teoretických výpočtů ve všech používaných směrech natočení pro výstavbu FVE.

Součástí kapitoly bude také srovnání měřených a vypočtených hodnot se solárními kalkulačkami pro ověření jejich funkčnosti. Přesnost výpočtu solárních kalkulaček se stále zlepšuje, protože kalkulačky započítávají velké množství okolních vlivů a podmínek, které upřesňují výsledky teoretických hodnot.

6.1 Metodika výpočtu energetického potenciálu

Zmíněná metodika z kapitoly č. 5 dle normy ČSN EN 15316-4-3 je ideálním základem pro teoretický výpočet energie FVE. Bohužel tato metodika nepočítá s dalšími faktory jako např. natočení střechy nebo její plochu. Proto bude využita její přepracovaná varianta z bakalářské práce „Potencionální produkce elektrické energie ze střešních fotovoltaických elektráren v obci do 3 000 obyvatel“ [43] doplněná o koeficient K_{zt} reflektující ztráty generované kabeláží, střídači a zkrátka vším, co generuje ztráty mezi FV panely a vývodem elektrické energie do sítě. Průměrné ztráty u domácích FVE se pohybují kolem 14 %, proto byl koeficient K_{zt} určen na hodnotu 0,86. Metodika musí být na jednu stranu jednoduchá, protože se s ní počítá poměrně velké množství různých ploch. Na druhou stranu musí být metodika dostatečně přesná, aby validace měla praktický účel. Kompletní rovnice výpočtu je zobrazena níže [47].

$$E_{\mathrm{FV/r}} = \frac{S_{\mathrm{O}} \cdot T_{\mathrm{st}} \cdot K_{\mathrm{V}}}{S_{\mathrm{p}}} \cdot P_{\mathrm{pk}} \cdot P_{\mathrm{po/r}} \cdot K_{\mathrm{tep}} \cdot K_{\mathrm{or}} \cdot K_{\mathrm{zt}}, \tag{6.1}$$

kde

$E_{\mathrm{FV/r}}$ ... potenciální roční produkce elektrické energie (kWh),
S_{O} ... plocha půdorysu domu (m^2),
T_{st} ... typizace střechy (–),
K_{V} ... koeficient využití střechy (–),
S_{p} ... plocha zabíraná jedním panelem (m^2),
P_{pk} ... instalovaný výkon (kWp),
$P_{\mathrm{po/r}}$ ... roční potenciál produkce el. energie z FVE ($\mathrm{kWh/kWp \cdot rok}$),
K_{tep} ... koeficient oteplení panelu (–),
K_{or} ... koeficient orientace panelu (–).
K_{zt} ... koeficient ztrát (–).

Hodnota S_{O} určuje plochu půdorysu budovy. Tato hodnota bude převzata z katastrálních map [44], nebo v některých případech ze serveru mapy.cz [45]. Další uvažovanou hodnotou je koeficient T_{st}, což je hodnota uvažující rozšíření plochy střechy v případě např. sedlových střech, pro které je koeficient stanoven ve většině případech na hodnotu 1,5. Pro střechy s mírnějším, nebo strmějším sklonem se koeficient může měnit. Pro rovné střechy je stanoven na hodnotu 1, protože zde nedochází k rozšíření plochy. Koeficient K_{V} je hodnota určující využití plochy střechy pro zástavbu FVE. Dle studie [48] má parametr hodnotu 1/3 pro sedlové střechy. V praxi se lze ale setkat s velkým počtem typů střech a i u sedlových střech lze v praxi využít větší či menší poměr plochy střechy k zástavbě. Koeficient proto bude často určen dle vlastního odhadu. Parametr S_{p} určuje velikost fotovoltaického panelu a parametr P_{pk} určuje špičkový výkon používaného panelu. Koeficient K_{tep} určuje vliv okolního chlazení FV panelů. Tento koeficient byl již rozebrán v kapitole č. 5 pod názvem f_{perf}. Koeficient K_{or} popisuje vliv natočení FV panelu. Zahrnuje natočení vzhledem ke světovým stranám, ale také natočení úhlu střechy nebo samotné FV instalace v případě rovných střech. Posledním parametrem je parametr $P_{\mathrm{po/r}}$, který reflektuje průměrný roční potenciál v ČR. Průměrná hodnota parametru vychází z měření mezi lety 1994–2018 a dle polohy FV instalace se může měnit [3, 43].

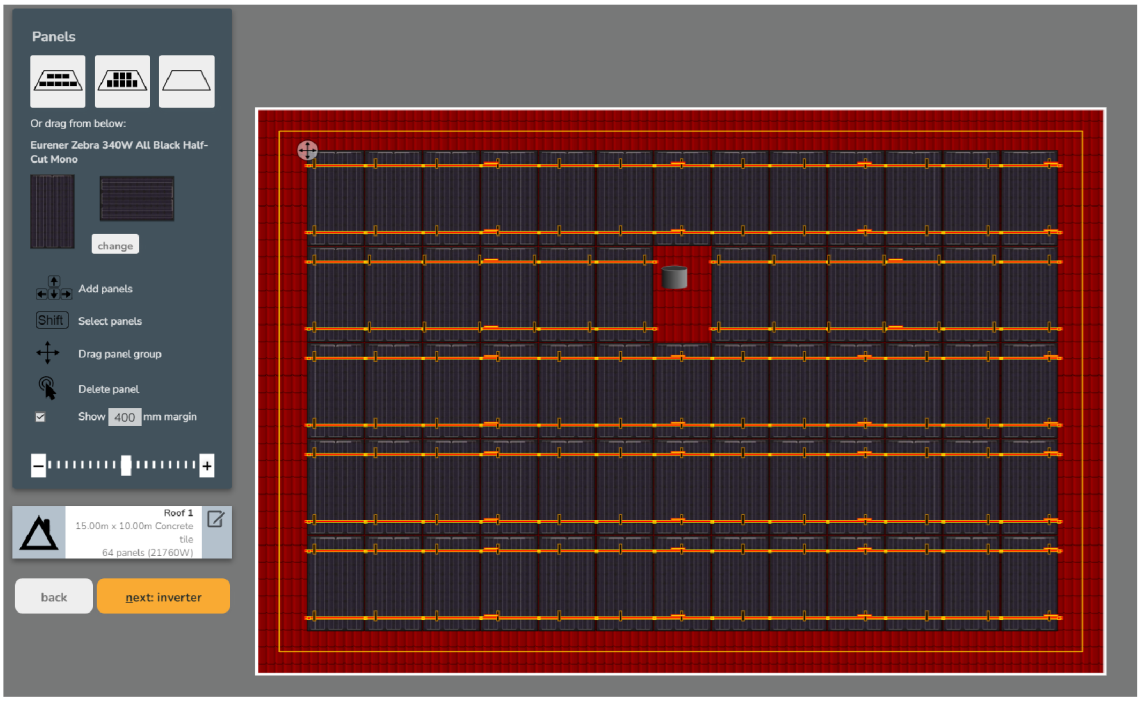
6.2 Solární kalkulačky

Dalším způsobem pro získání teoretických hodnot vyrobené elektrické energie z FVE jsou tzv. solární kalkulačky. Existuje mnoho kalkulaček, např. kalkulačka Project SUNROOF od společnosti Google, kalkulačka od společnosti E.ON a další. Tyto kalkulačky mají ale různá omezení, která jsou pro tuto práci nevhodná. Project SUNROOF lze zatím použít pouze v USA. Kalkulačka od společnosti E.ON zase nefunguje na všechny budovy, protože některé typy budov nedosáhnou na státní dotaci, se kterou kalkulačka počítá. Nejvhodnější kombinací kalkulaček pro tuto

práci jsou kalkulačky Easy-PV a kalkulačka PVGIS.

6.2.1 Easy-PV

Kalkulačka EASY-PV je vhodná spíše pro jednotlivé objekty, kde si lze na základě zadaných parametrů vybrat panel a střechu, na kterou má být systém instalován. Kalkulačku lze použít kromě střech i pro jiné oblasti. Jakmile je oblast vygenerována, lze panely přímo modelovat a skládat na vygenerovanou oblast. Výhodou kalkulačky je její přesnost. Nevýhodou je dlouhý proces modelování, tím pádem nevhodnost pro modelování větších ploch. Dále kalkulačka disponuje pouze svojí databází FV panelů, takže zde není zastoupeno velké množství FV panelů, které se prodávalo nebo stále prodává. Výsledkem z kalkulačky je maximální generovaný výkon instalace [46].

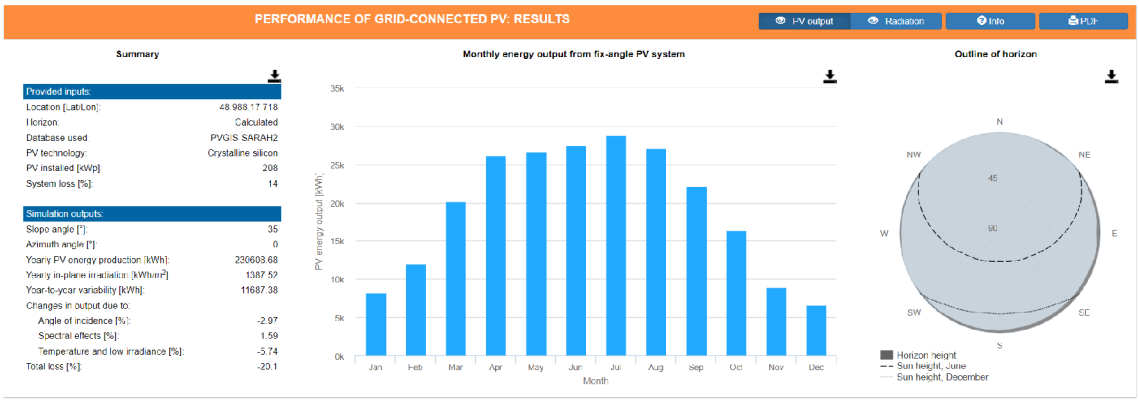


Obr. 6.1: Kalkulačka Easy-PV. Převzato z [46].

6.2.2 PVGIS

Oproti kalkulačce Easy-PV tato kalkulačka uvažuje maximální generovaný výkon instalace jako vstupní hodnotu. Proto je ideální tyto dvě kalkulačky vzájemně kombinovat. Dále se do kalkulačky zadávají ztráty celého systému, lokalita, natočení střechy vzhledem k zemi a také natočení vzhledem ke světovým stranám. Pokud

ztráty systému nejsou známy, kalkulačka je vyplní z průměrných hodnot již existujících instalací. Výsledkem kalkulačky je poté výpis teoretických hodnot vygenerované elektrické energie, který je rozdělen do jednotlivých měsíců [47].



Obr. 6.2: Kalkulačka PVGIS. Převzato z [47].

6.3 Porovnání s prvním měřeným domem

Prvním měřeným objektem je dům v Omicích u Brna, jehož střecha je natočena z poloviny na východ a z poloviny na západ. Dům je osazen 30 ks monokrystalických panelů *Jinko Solar 325 Wp Cheetah All Black* o výkonu 325 Wp. Plocha jednoho panelu činí 1,69 m^2. Celkový reálný výkon elektrárny je 9,8 kWp. Na každé straně je přesně polovina panelů, tedy 4,9 kWp směrem na východ a 4,9 kWp směrem na západ. Tento model natočení je sice méně účinný, co se týče celkové výroby elektrické energie, ale na druhou stranu má výhodu v rovnoměrnějším podání výkonu přes den. Elektrárna dokáže začít vyrábět elektřinu dříve ráno díky natočení na východ a dále později do večera díky natočení na západ.

6.3.1 Data z měření

K této práci byla poskytnuta data z měření elektrické energie během roku 2021. Bohužel při měření docházelo k poměrně rozsáhlým výpadkům měřených hodnot, proto bude vyhodnocení přepočítáno, aby odpovídalo celkové době vyhodnocování. Přepočtení proběhlo vydělením měsíční hodnoty počtem naměřených dní a následně vynásobením počtem dní v daném měsíci. V tabulce 6.1 níže jsou vypsány měřené hodnoty po jednotlivých měsících, počet dní, kdy bylo měření přerušeno, a v posledním sloupci je dopočtení vyrobené elektrické energie vzhledem k výpadkům měření.

Tab. 6.1: Hodnoty z měření první budovy

Měsíc	**Vyrobená energie (kWh)**	**Neměřené dny**	**Přepočet (kWh)**
Leden	39	18	93
Únor	95	15	204
Březen	467	1	482
Duben	756	0	756
Květen	641	10	946
Červen	1 224	0	1 224
Červenec	1 048	0	1 048
Srpen	709	1	733
Září	540	0	540
Říjen	329	0	329
Listopad	101	9	145
Prosinec	55	7	71
Celkem	6 003	61	6 570

6.3.2 Výpočet dle upravené normy

Výpočet je rozdělen do dvou částí. První část uvažuje reálnou FVE, která je na dům instalována. Tento výpočet slouží k co nejpřesnějšímu srovnání reálného měření s teoretickými hodnotami. Druhá část bude obsahovat všechny veličiny z upravené normy dle kapitoly 6.1 pro zjištění energetického potenciálu domu.

První část obsahuje výkon celé instalace násobený koeficienty z upravené normy:

$$E_{\mathrm{FV/r}} = P_{\mathrm{FVE}} \cdot P_{\mathrm{po/r}} \cdot K_{\mathrm{tep}} \cdot K_{\mathrm{or}} \cdot K_{\mathrm{zt}}, \tag{6.2}$$

$$E_{\mathrm{FV/r}} = 9,8 \cdot 1\,100 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,86 = 6\,304\,\mathrm{kWh}. \tag{6.3}$$

Druhá část nebude zohledňovat instalovaný výkon FVE, který bude vypočítán přímo v upraveném vzorci na základě plochy půdorysu budovy a potřebných koeficientů. Tento typ výpočtu je méně přesný, ale není potřeba znát reálný výkon instalace:

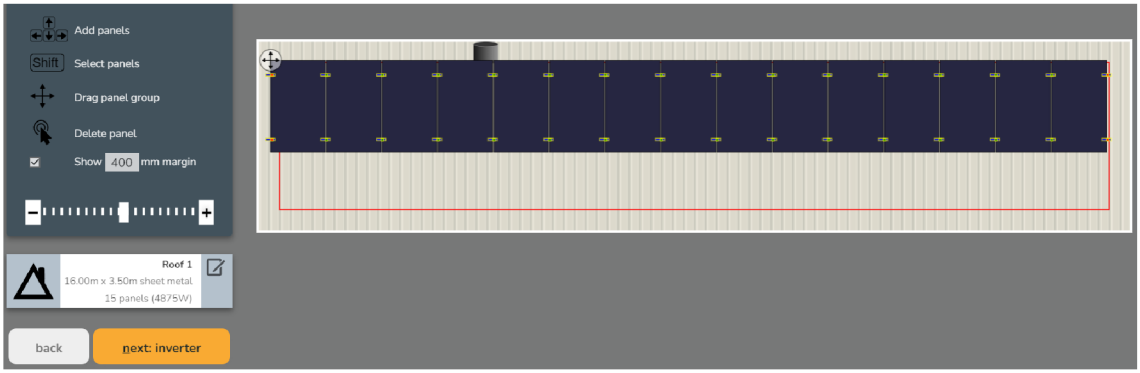
$$E_{\mathrm{FV/r}} = \frac{S_{\mathrm{O}} \cdot T_{\mathrm{st}} \cdot K_{\mathrm{V}}}{S_{\mathrm{p}}} \cdot P_{\mathrm{pk}} \cdot P_{\mathrm{po/r}} \cdot K_{\mathrm{tep}} \cdot K_{\mathrm{or}} \cdot K_{\mathrm{zt}}, \tag{6.4}$$

$$E_{\mathrm{FV/r}} = \frac{90,8 \cdot 1,5 \cdot 0,5}{1,69} \cdot 0,325 \cdot 1\,100 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,86 = 8\,424\,\mathrm{kWh}. \tag{6.5}$$

Lze pozorovat, že druhá metoda se více vzdaluje od reálných výsledků.

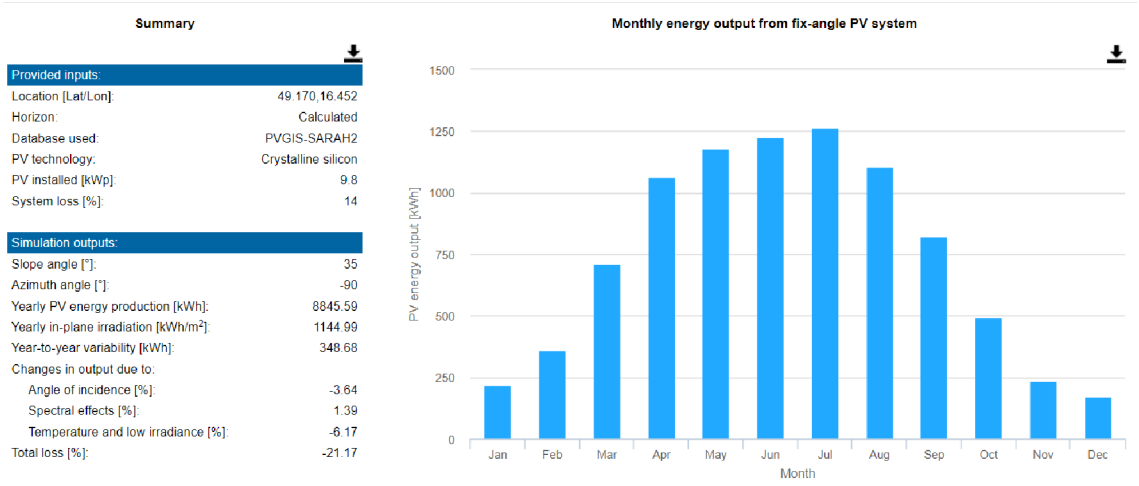
6.3.3 Výpočet pomocí solárních kalkulaček

První část simulace bude probíhat v kalkulačce Easy-PV, kde se namodeluje střecha měřeného domu. Kalkulačka disponuje osazením stejných panelů, které jsou použity v reálné FVE. V modelové situaci byla střecha osazena rovněž 15 ks panelů na každé straně střechy a celkový výkon byl vypočítán na 9,8 kWp. Na obrázku je osazena západní část střechy. Vzhledem k tomu, že dům je zrcadlově stejný, model vypadá stejně i na východní části střechy.



Obr. 6.3: Model střechy v kalkulačce Easy-PV. Převzato z [46].

Hodnota celkového výkonu se poté dosadí do kalkulačky PVGIS, která namodeluje simulaci výkonu po jednotlivých měsících za celý rok. Vzhledem k minimálním rozdílům vyrobené elektrické energie mezi východní a západní stranou, byl do kalkulačky zadán celkový výkon FVE a orientace pouze na západ.



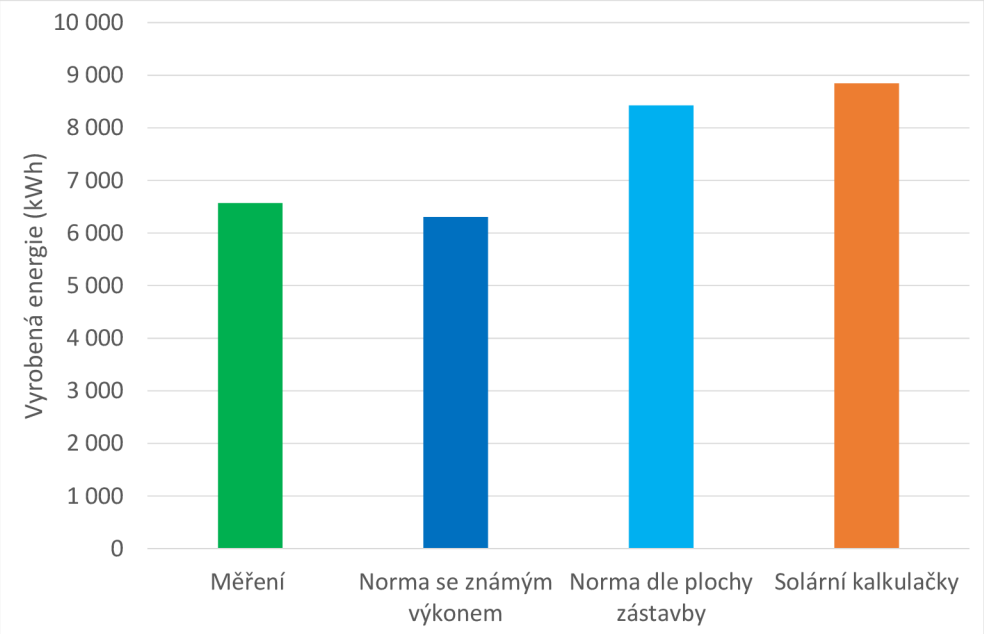
Obr. 6.4: Model prvního domu v kalkulačce PVGIS. Převzato z [47].

Celkové množství vyrobené energie je odhadováno na 8 846 kWh, což je podobná hodnota jako v upraveném výpočtu dle normy.

6.3.4 Porovnání

Celková skutečně vyrobená energie se započítanou kompenzací z neměřených dní činí 6 570 kWh, což je vzhledem k průměrným hodnotám podobně velkých instalací podprůměrné množství. Po diskuzi [56] s poskytovatelem dat bylo zjištěno, že velkou roli ve snížené produkci hrálo zastínění západní strany střechy stromem z jiného pozemku, který nebyl vidět na leteckých snímcích. Dalším důvodem nižší produkce může být fakt, že rok 2021 byl více náročný na klimatické a okolní podmínky. Byl zde zastoupen vyšší poměr oblačnosti a tím pádem i difuzního záření. Reálnému výsledku se nejvíce blíží výpočet dle upravené normy, do které se dosadil reálný výkon instalace. Vyrobená energie dle výpočtu vyšla na 6 304 kWh.

Dle normy v případě, kdy není znám reálný výkon instalace, bylo spočítáno množství vyrobené energie na 8 424 kWh. Hodnota se podobá vypočtenému množství pomocí solárních kalkulaček. Podle kalkulaček je celkové množství vyrobené energie rovno hodnotě 8 846 kWh.



Obr. 6.5: Srovnání hodnot vyrobené el. energie u 1. domu.

6.4 Porovnání s druhým měřeným domem

Druhý dům se nachází v obci Střelice. FV instalace je natočena na jižní stranu s azimutem 182° a je osazena celkově 39 ks monokrystalických panelů. Instalace je rozdělena na dvě části. První část (FVE 2) obsahuje 30 ks panelů *Vitovolt 200 SC2 (Viessmann)*, kde každý panel disponuje výkonem 170 Wp. Druhá část instalace (FVE 1) obsahuje 9 monokrystalických panelů *SPV 180-SMG-S (Schüco)*, kde každý panel disponuje výkonem 180 Wp. Celkový výkon instalace činí 6,7 kWp. Měření probíhalo v roce 2009, tím pádem jsou technické parametry na dnešní dobu na podprůměrné úrovni. Parametry FV panelů ovšem nemají vliv na validaci vlastních výpočtů s měřenými daty [49].

6.4.1 Data z měření

Jak již bylo zmíněno, data byla převzata z diplomové práce [49]. Měření probíhalo po dobu prvních deseti měsíců v roce 2009 po minutových záznamech. Celková výroba z FVE za prvních 10 měsíců vychází na 6 988 kWh. Výsledky z měření lze vidět v následující tabulce 6.2.

Tab. 6.2: Skutečná výroba z FVE v období leden – říjen 2009

Měsíc	**Výroba FVE 1 (kWh)**	**Výroba FVE 2 (kWh)**
Leden	100	147
Únor	106	178
Březen	193	352
Duben	340	748
Květen	302	623
Červen	264	531
Červenec	330	694
Srpen	285	597
Září	250	519
Říjen	154	275
Celkem	**2 324**	**4 664**

6.4.2 Výpočet dle upravené normy

Podkapitola bude opět rozdělena na dvě části, protože u instalace je znám celkový výkon. Vzhledem k tomu, že je k dispozici pouze prvních 10 měsíců měření, musí se zvýšit roční potenciál produkce el. energie. Listopad a prosinec jsou měsíce, kdy se vyrobí méně el. energie, proto je potenciál zvýšen na hodnotu 1 400 kWh/kWp · rok.

Dále výsledná hodnota je vypočtena pro celý rok, proto se vzorec musí vydělit počtem celkových měsíců a vynásobit počtem měřených měsíců.

$$E_{\mathrm{FV/r}} = \frac{P_{\mathrm{FVE}} \cdot P_{\mathrm{po/r}} \cdot K_{\mathrm{tep}} \cdot K_{\mathrm{or}} \cdot K_{\mathrm{zt}} \cdot 10}{12}, \tag{6.6}$$

$$E_{\mathrm{FV/r}} = \frac{6,7 \cdot 1\,400 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 0,86 \cdot 10}{12} = 5\,109\,\mathrm{kWh}. \tag{6.7}$$

Ve druhé části výpočtu dle normy se nebude uvažovat reálný výkon instalace a opět se bude vycházet z teoretického výpočtu. Celková plocha parcely činí 144 m^2. Dále jsou na střeše dva typy panelů s různými výkony, proto bude výkon vypočten váženým průměrem na průměrnou hodnotu, která činí 172,3 Wp na jeden panel.

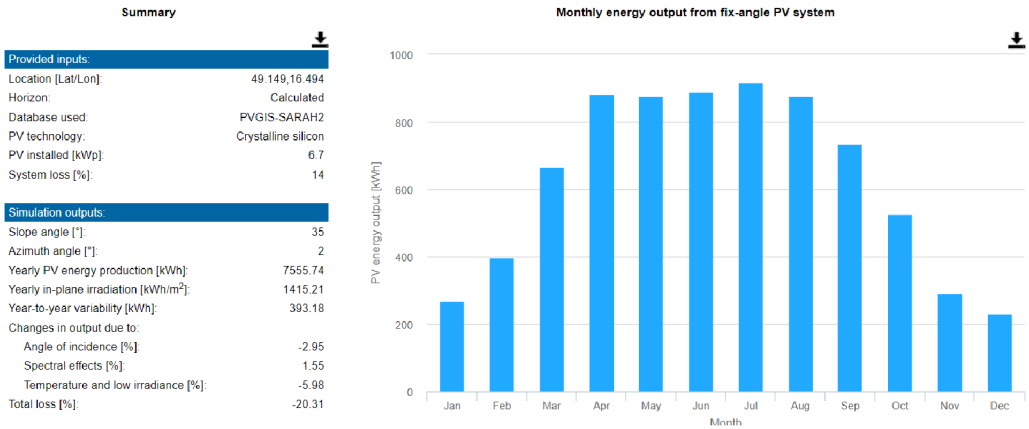
$$E_{\mathrm{FV/r}} = \frac{S_{\mathrm{O}} \cdot T_{\mathrm{st}} \cdot K_{\mathrm{V}} \cdot 10}{S_{\mathrm{p}} \cdot 12} \cdot P_{\mathrm{pk}} \cdot P_{\mathrm{po/r}} \cdot K_{\mathrm{tep}} \cdot K_{\mathrm{or}} \cdot K_{\mathrm{zt}}, \tag{6.8}$$

$$E_{\mathrm{FV/r}} = \frac{144 \cdot 1,5 \cdot 0,3 \cdot 10}{1,28 \cdot 12} \cdot 0,1723 \cdot 1\,400 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 0,86 = 6\,651\,\mathrm{kWh}. \tag{6.9}$$

Obě metody spíše podhodnocují reálný výsledek. Může to být způsobeno nepřesným stanovením ročního potenciálu $P_{\mathrm{po/r}}$, který byl díky zkrácení měření o dva měsíce vyhodnocen na základě odborného odhadu.

6.4.3 Výpočet pomocí solárních kalkulaček

Simulace bude probíhat stejně jako v případě prvního domu. Kalkulačka Easy-PV bohužel nedisponuje stejnými ani podobnými panely vzhledem ke stáří instalace, proto tento krok bude přeskočen a nahrazen reálnou hodnotou výkonu 6,7 kWp, která bude zadána do kalkulačky PVGIS.

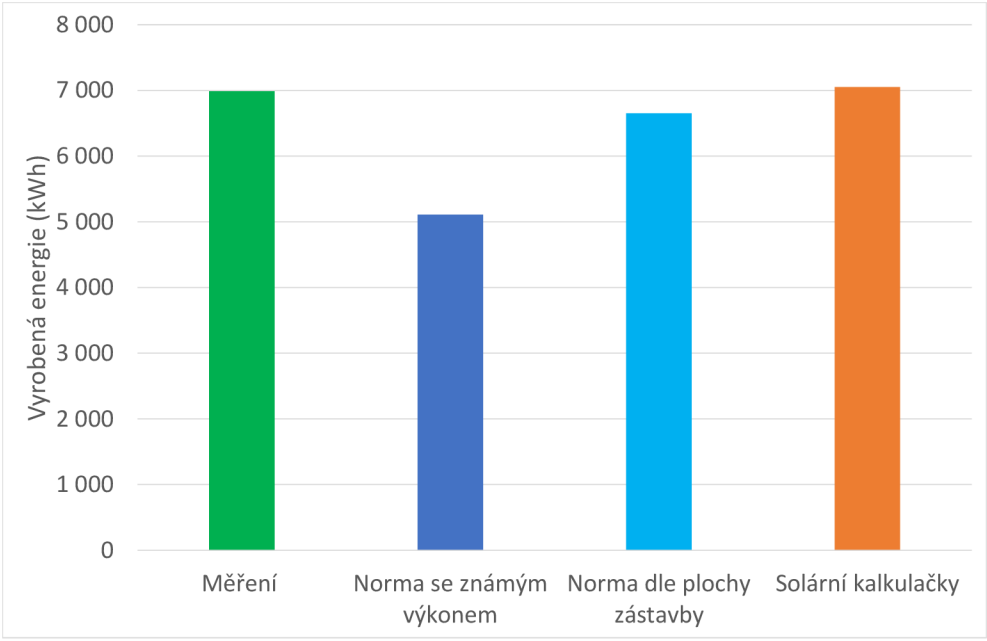


Obr. 6.6: Model druhého domu v kalkulačce PVGIS. Převzato z [47].

Celková vyrobená energie instalace za prvních 10 měsíců je odhadována na 7 050 kWh, což poměrně přesně odpovídá naměřeným hodnotám.

6.4.4 Porovnání

V případě druhého domu byla nejblíže reálným výsledkům solární kalkulačka, která vypočetla hodnotu vyrobené el. energie na 7 050 kWh oproti reálným 6 988 kWh. Kalkulačka měla ovšem k dispozici reálný výkon instalace, který při plošném počítání potenciálu vyrobené elektrické energie není dostupný. Nepřesnost mezi výpočtem dle normy a reálnými daty mohla vzniknout z důvodu nepřesnosti koeficientu využití plochy, protože instalace využívá nadprůměrně velkou část střechy. Výpočet dle normy se započítaným výkonem instalace je roven 5 109 kWh a výpočet dle obsahu zastavěné plochy je roven hodnotě 6 651 kWh.



Obr. 6.7: Srovnání hodnot vyrobené el. energie u 2. domu.

6.5 Porovnání se třetím měřeným domem

Třetí dům je ideální pro výrobu el. energie z FV instalace díky svému natočení. Jsou zde osazeny tři stringy po pěti panelech – celkově 15 ks FV panelů. Stringy jsou orientované po jednom na jih, na východ a na západ. Toto řešení je ideální pro co nejdelší výrobu elektřiny během dne. Bohužel u tohoto domu není dostupná jeho lokalita. Majitel poskytovaných dat nezveřejnil ani přibližnou adresu. Dům se nachází v ČR, proto bude energetický potenciál při výpočtech stanoven dle průměrné hodnoty v České republice. Jsou zde použity monokrystalické solární panely *Jetion 185Wp* [52].

6.5.1 Data z měření

V tabulce 6.3 jsou zapsána data vyrobené el. energie za každý měsíc po dobu roku 2013 [52].

Tab. 6.3: Skutečná výroba z FVE

Měsíc	**Skutečná výroba (kWh)**
Leden	133
Únor	146
Březen	232
Duben	258
Květen	225
Červen	214
Červenec	267
Srpen	232
Září	186
Říjen	201
Listopad	129
Prosinec	128
Celkem	2351

6.5.2 Výpočet dle upravené normy

K instalaci je také dostupný reálný výkon FVE. Proto bude výpočet opět rozdělen na dvě části.

$$E_{\mathrm{FV/r}} = P_{\mathrm{FVE}} \cdot P_{\mathrm{po/r}} \cdot K_{\mathrm{tep}} \cdot K_{\mathrm{or}} \cdot K_{\mathrm{zt}}, \tag{6.10}$$

$$E_{\mathrm{FV/r,J}} = 2,8 \cdot 1\,150 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,86 = 1\,993\,\mathrm{kWh}. \tag{6.11}$$

Dům má sedlovou střechu s vikýři, proto byl koeficient K_{V} stanoven na hodnotu 0,2. Jeho celková plocha je $90\,\mathrm{m}^2$.

$$E_{\mathrm{FV/r}} = \frac{S_{\mathrm{O}} \cdot T_{\mathrm{st}} \cdot K_{\mathrm{V}}}{S_{\mathrm{p}}} \cdot P_{\mathrm{pk}} \cdot P_{\mathrm{po/r}} \cdot K_{\mathrm{tep}} \cdot K_{\mathrm{or}} \cdot K_{\mathrm{zt}}, \tag{6.12}$$

$$E_{\mathrm{FV/r}} = \frac{90 \cdot 1,5 \cdot 0,2}{1,28} \cdot 0,185 \cdot 1\,150 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,86 = 2\,779\,\mathrm{kWh}. \tag{6.13}$$

Metoda se zadaným výkonem výsledek měření spíše podhodnocuje a naopak se zadanou zastavěnou plochou výsledek spíše nadhodnocuje. Reálná hodnota se pohybuje někde uprostřed. Výsledky se liší o necelých 20 %, což je vzhledem k plošnému vyhodnocení přijatelná hodnota.

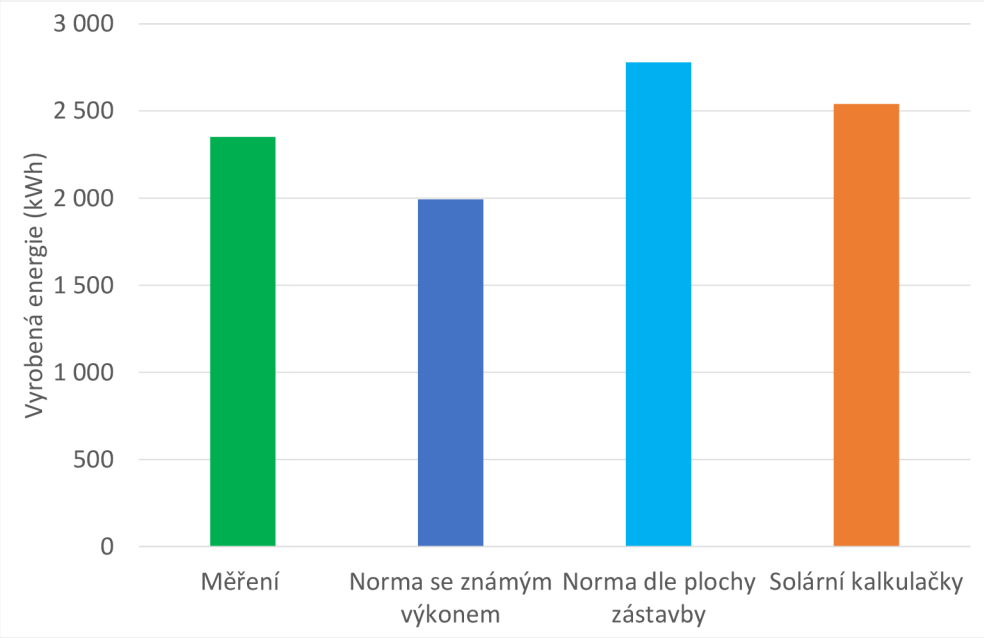
6.5.3 Výpočet pomocí solárních kalkulaček

V kalkulačce opět nebyl dostupný ani stejný ani podobný panel, který byl použit na dané instalaci, proto bude postup stejný jako v případě druhého domu pomocí kalkulačky PVGIS, do které bude zadán celkový výkon 2,8 kWp. Celkový výkon vypočtený kalkulačkou je roven 2 540 kWp, což je opět hodnota blízká naměřeným datům.

Obr. 6.8: Model třetího domu v kalkulačce PVGIS. Převzato z [47].

6.5.4 Porovnání

Nejblíže reálnému výsledku je opět solární kalkulačka, která vypočetla 2 540 kWh potencionální vyrobené el. energie oproti reálným 2 351 kWh. První část výpočtu dle normy s využitím výkonu FV instalace reálný výsledek o 17 % podhodnotila. Druhá část se známou plochou zástavby naopak výsledek nadhodnotila. Je třeba zdůraznit, že jde o sedlovou střechu s vikýři, tedy výpočty dle normy jsou méně přesné. Výpočet dle normy se započítaným výkonem instalace je roven 1 993 kWh a výpočet dle obsahu zastavěné plochy je roven hodnotě 2 779 kWh.



Obr. 6.9: Srovnání hodnot vyrobené el. energie u 3. domu.

6.6 Srovnání měřených objektů

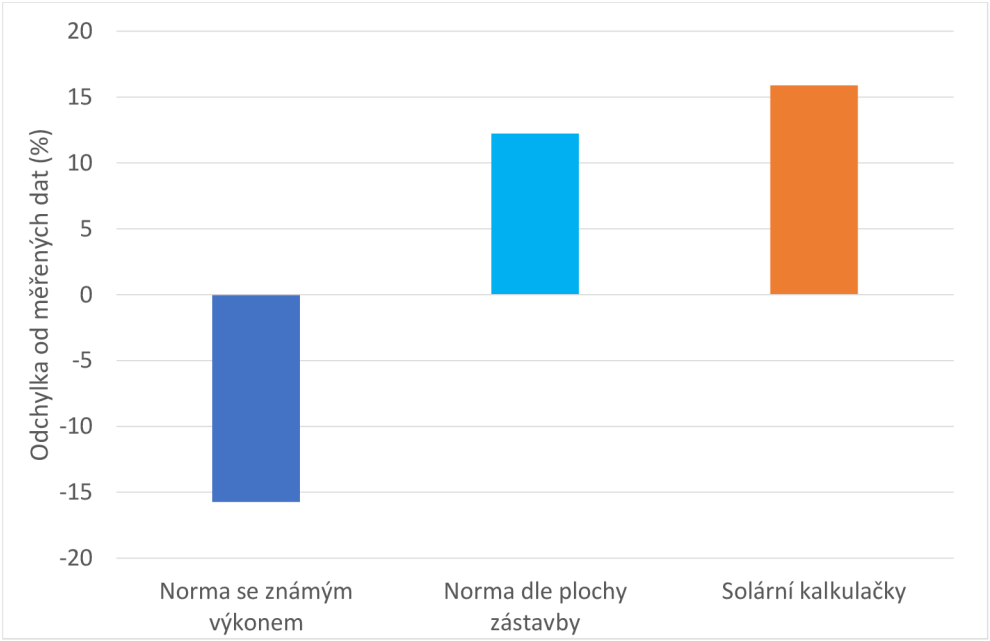
Vzhledem k naměřeným datům byl minimálně ve dvou případech nejblíže výpočet solárních kalkulaček. Poukazuje to na dobrý vývoj výpočetního a simulačního softwaru. Nevýhodou solárních kalkulaček je časová náročnost, kdy je potřeba v simulaci osadit každý dům zvlášť panely popř. solárními taškami, proto pro cíle této práce nejsou vhodné.

Výpočet podle normy se známou plochou zástavby je také relativně přesný vzhledem k aplikaci použití. Tento typ výpočtu bude v dalších kapitolách aplikován na celkové vyhodnocení vybraných obcí. V následující tabulce 6.4 je vypsáno srovnání hodnot u všech měřených objektů.

V grafu 6.10 je poté vyobrazené srovnání průměrných hodnot oproti naměřeným datům. Všechny hodnoty z tabulky byly dle kategorie zprůměrované a vložené do grafu. Lze tedy vidět průměrné odchylky všech typů výpočtu oproti reálným hodnotám. V grafu lze vidět, že nejmenší odchylku má výpočet dle normy se zadanou plochou zástavby .

Tab. 6.4: Srovnání reálných a měřených hodnot

	1. Ojekt	**2. Ojekt**	**3. Ojekt**	**Celkem**	**Rozdíl**
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(%)
Měření	6 570	6 988	2 351	15 909	0,0
Norma – zadaný výkon	6 304	5 109	1 993	13 406	-15,7
Norma dle plochy	8 424	6 651	2 779	17 854	12,2
Solární kalkulačky	8 846	7 050	2 540	18 436	15,9



Obr. 6.10: Srovnání hodnot oproti naměřeným datům

7 Výběr obcí

Praktická část práce se mimo jiné věnuje rozdílu potenciálu výroby el. energie u vhodných a nevhodných lokalit, proto byly vybrány dvě obce s rozdílnými okolními podmínkami. Jako první obec byly vybrány Moravany na jihozápad od Brna. Druhou obcí byly zvoleny Hanušovice v Olomouckém kraji 17 km severně od města Šumperk. Obě obce jsou podobně osídlené. Moravany mají cca 3 400 obyvatel a Hanušovice mají téměř 3 000 obyvatel.

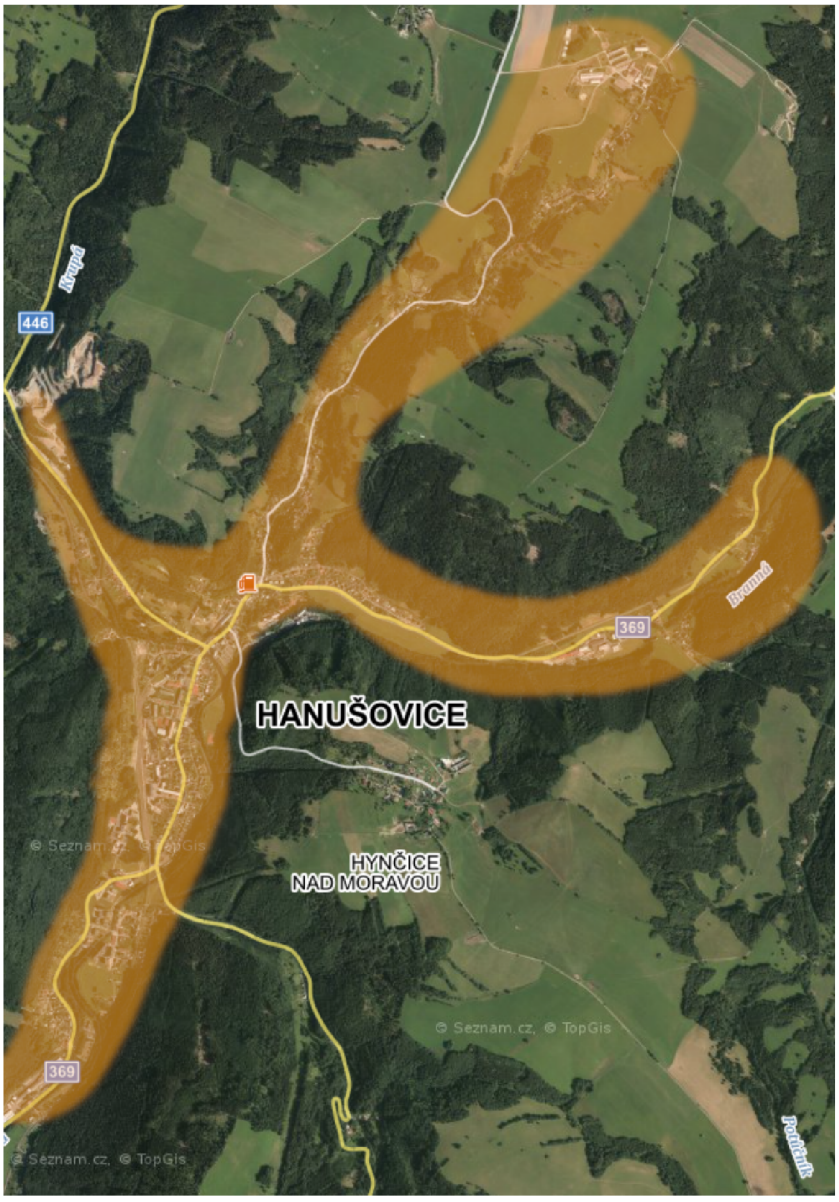
7.1 Moravany

Obec Moravany byla vybrána pro své ideální umístění v jižní části republiky s rovným okolním terénem. Velká část střech je orientovaná jihovýchodním, jižním a jihozápadním směrem, což má pozitivní vliv na účinnost FV systémů. V obci převažuje zástavba rodinných domů se sedlovou střechou. Obec disponuje také množstvím rozlehlých průmyslových budov s rovnou nebo sedlovou střechou s mírným úhlem sklonu [54].

Obr. 7.1: Zpracovaná část obce. Převzato z [43].

7.2 Hanušovice

Hanušovice byly vybrány jako varianta s horšími okolními podmínkami. Obec se nachází v údolí mezi menšími zalesněnými kopci, které v určitých částech dne vrhají na střechy stín. Dále se jedná o lokalitu s větším počtem výškových budov, je zde tedy menší množství využitelné plochy pro osazení FV panelů [55].



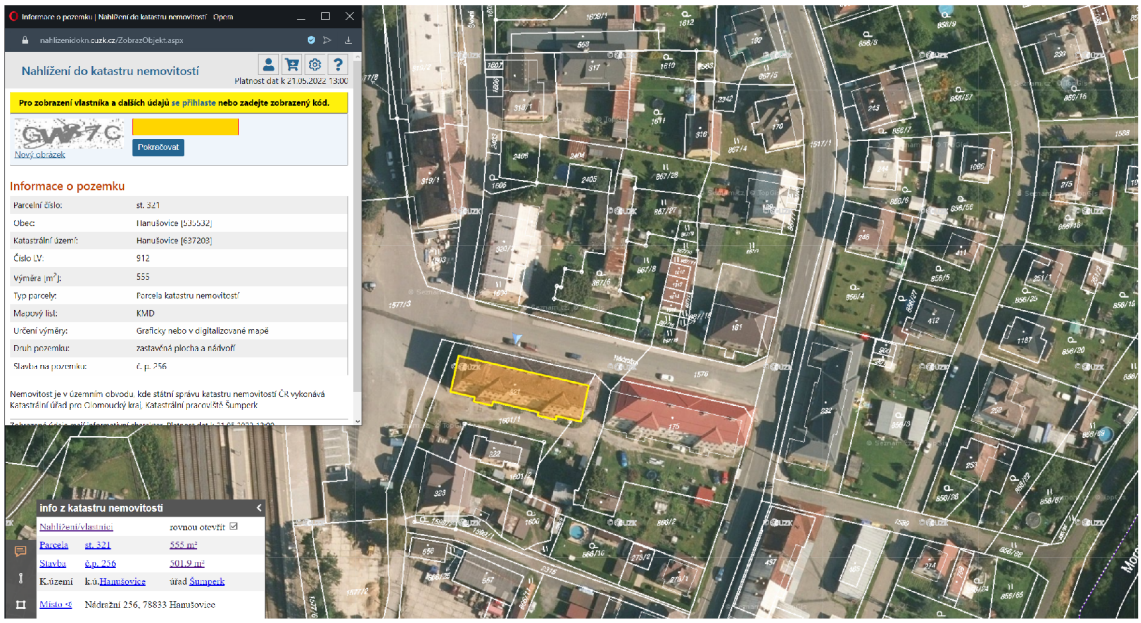
Obr. 7.2: Zpracovaná část obce. Převzato z [43].

8 Přehled výsledných dat

Data pro výpočet potenciálu el. energie byla čerpána převážně ze serveru *ikatastr.cz* a pro občasné doplnění a zpřesnění plochy byly využity také *mapy.cz*, které sloužily pro zpřesnění plochy zástavby u budov, které neměly přesné ohraničení zástavby v katastru nebo v něm nebyly vůbec uvedeny. Dále byla využívána funkce „panorama“a funkce „Google street view“od společnosti Google pro přesnější odhad sklonu střechy.

8.1 Aplikace metody

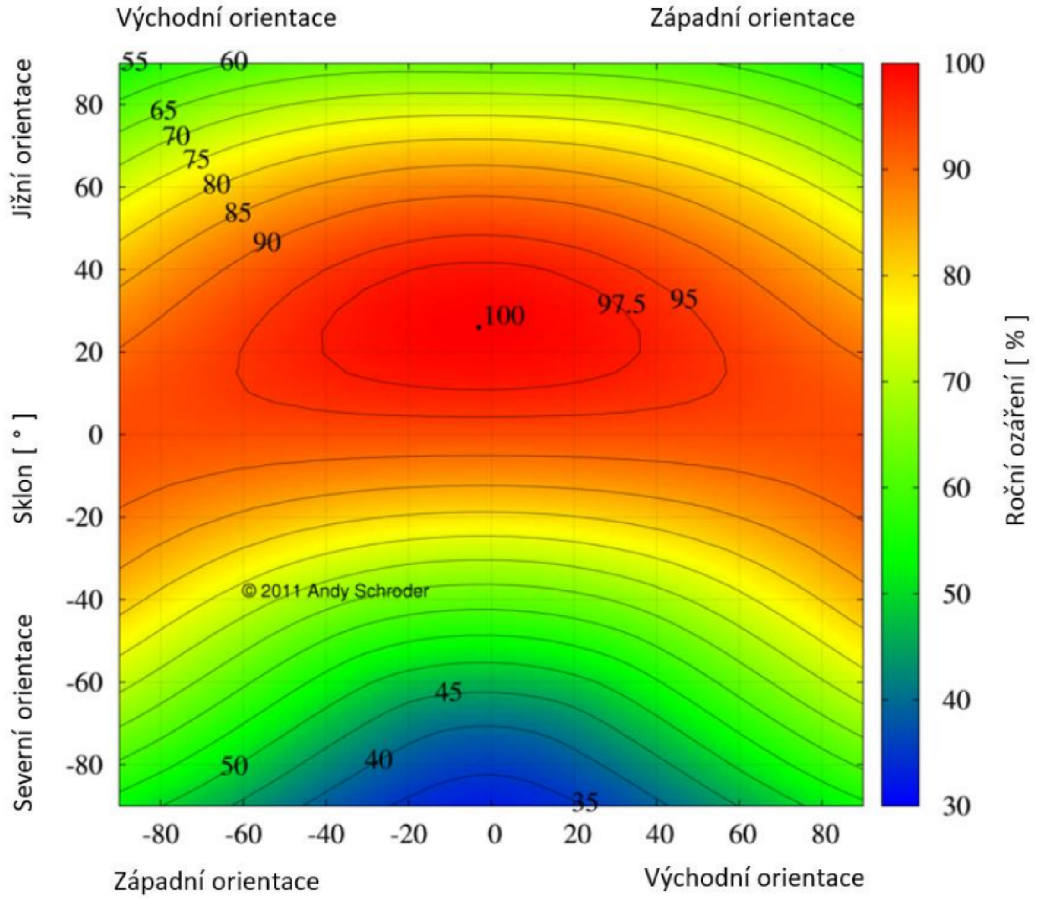
V rámci práce byla použita upravená metoda popsaná v kapitole 6.1, pomocí které byl každý objekt vypočítán individuálně. Vstupními daty pro každý objekt byly plochy zástavby dle katastru (v případě potřeby přepočítány pomocí mapových podkladů).



Obr. 8.1: Fragment obce. Převzato z [44]

Dále byl zadáván typ střechy (rovná/sedlová), typ objektu (rodinný dům, jiný typ objektu a v případě obce Hanušovice i výškové panelové domy), podíl střechy pro daný azimut, kde se pro zjednodušení počítalo pouze se čtyřmi základními směry S, V, J, Z. Pokud byla střecha objektu natočena mezi danými azimuty, byl zde využit poměr daných úhlů natočení (např. pokud byla střecha natočena jihovýchodně, do vstupních dat byl zadán poměr 50 % jižní orientace a 50 % východní orientace). Pro každý případ natočení byl využíván jiný činitel orientace viz obrázek 8.2. Pro rovné

střechy byla stanovena orientace celé střechy směrem na jih, protože se zde může orientace určit libovolně a natočení směrem na jih vykazuje nejvyšší účinnost.



Obr. 8.2: Účinnost FV panelu v závislosti na orientaci. Převzato z [53]

Do výpočtu byl také pro každý objekt zadáván koeficient typu střechy (pro rovné střechy byl roven jedné, pro sedlové byl zadáván pro každou budovu individuálně dle úhlu sklonu střechy, maximálně však 1,5) a koeficient využití plochy střechy, který byl opět zadáván pro každý objekt zvlášť dle vizuálního odhadu. Koeficient využití plochy střechy je ovlivněn převážně střešními okny, vikýři, světlíky a dalšími objekty, které se na střechách nachází a snižují tím využitelnost plochy pro osazení FV instalací.

Výkon modulu, plocha modulu, koeficient ztrát, koeficient oteplení modulu a roční potenciál pro dané oblasti, převzatý z [3], mají stejné hodnoty u všech počítaných objektů. Roční potenciál pro výrobu el. energie byl změněn pouze u daných obcí, kdy v Moravanech má hodnotu 1 150 kWh/kWp · rok a v Hanušovicích byla dosazena hodnota 1 050 kWh/kWp · rok. Změna potenciálu je ovlivněna geografickou polohou obcí a jinému okolnímu terénu. Hanušovice jsou oproti Moravanům situovány cca o 100 km více na sever.

Na obrázcích 8.3, 8.4 a 8.5 je vyobrazen příklad vstupních a výstupních hodnot výpočtu dat.

Pouze panely			Typ objektu	Typ střechy	Podíl střechy pro daný azimut (%)				Koeficient typu střechy	Využití plochy K_v
parcela	So	S_{atyp}			J	V	S	Z		
1114	121		RD	S	0,3	0	0,7	0	1,3	0,3
394	92		RD	S	0	0,5	0	0,5	1,5	0,4
398	77		RD	S	0,5	0	0,5	0	1,5	0,4
399	86		RD	R	1	0	0	0	1,5	0,7

Obr. 8.3: Vstupní data pro FV panely

Počet panelů	Účinnost při sklonu K_or				Využitelná plocha (m^2)			
	J	V	S	Z	J	V	S	Z
27	1,00	0,85	0,55	0,85	36,30	0,00	84,70	0,00
32	1,00	0,85	0,55	0,85	0,00	46,00	0,00	46,00
27	1,00	0,85	0,55	0,85	38,50	0,00	38,50	0,00
30	1,00	0,85	0,55	0,85	86,00	0,00	0,00	0,00

Obr. 8.4: Teoretický výpočet počtu panelů a využitelné plochy na danou střechu

Instalovaný výkon (kWp)				Roční energetický zisk (kWh)				Celková E
J	V	S	Z	J	V	S	Z	
2,65	0,00	6,19	0,00	2 100,22	0,00	2 695,28	0,00	4 795,50
0,00	5,18	0,00	5,18	0,00	3 480,33	0,00	3 480,33	6 960,67
4,33	0,00	4,33	0,00	3 426,93	0,00	1 884,81	0,00	5 311,74
9,68	0,00	0,00	0,00	7 654,95	0,00	0,00	0,00	7 654,95

Obr. 8.5: Vypočtený potenciál výkonu a vyrobené el. energie

Mimo modelové osazení vybranými FV panely byly zpracovány výsledky změn potenciálů výkonu a produkce elektrické energie v rámci vývoje jednotlivých technologií podle kapitoly 3.3. Dále byly zpracovány výsledky situace, kdy by všechny využitelné plochy mimo rovných střech byly osazeny vybranými FV taškami.

8.2 Moravany

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, obec Moravany sloužila jako model obce s ideálními podmínkami pro FV instalace. V rámci obce bylo zpracováno 1 075 budov. Při zpracování byla použita metodika výpočtu podle kapitoly 6.1 pro každou budovu zvlášť. Čas pro zpracování se u jednoduchých budov s rovnou střechou pohyboval kolem jedné minuty a u složitějších budov s atypicky tvarovanými střechami se čas na zpracování pohyboval kolem 5 minut kvůli využití různých podkladů pro přesné stanovení koeficientů sklonu střechy a využitelné plochy pro osazení. Pro současnou simulaci byl vybrán monokrystalický panel „Sharp

NUJD440“ disponující výkonem 200 Wp/m^2 popsaný v kapitole 2.3.4. Výsledný potenciál výkonu je shrnut v tabulce 8.1 a výsledný potenciál vyrobené elektrické energie během roku je shrnut v tabulce 8.2.

Tab. 8.1: Výsledný potenciál výkonu – Moravany

	RD	**Jiné**	**Celkem**
	(kW)	**(kW)**	**(kW)**
J	9 520	8 555	18 075
V	2 367	797	3 164
S	4 699	1 570	6 269
Z	2 064	743	2 807
Celkem	18 650	11 665	30 315

Tab. 8.2: Výsledný potenciál vyrobené el. energie – Moravany

	RD	**Jiné**	**Celkem**
	(MWh)	**(MWh)**	**(MWh)**
J	7 532	6 769	14 301
V	1 592	536	2 128
S	2 045	683	2 728
Z	1 388	500	1 888
Celkem	12 557	8 488	21 045

8.2.1 Porovnání výsledků dle jednotlivých technologií

V rámci této kapitoly budou srovnány celkové potenciální výkony a produkce elektrické energie v rámci vývoje jednotlivých technologií v čase. Každá technologie je specifická svoji účinností a fungováním v rámci difuzního záření. Pro monokrystalické články byly jednotlivé koeficienty K_{or} ponechány na původních hodnotách. U polykrystalických článků a amorfních modulů byly koeficienty zvýšeny o 3 % díky lepšímu využití difuzního záření. Dále se měnily výkony jednotlivých článků podle technologie a vývoje v čase. V tabulce 8.3 jsou obsaženy tři části s jednotlivými typy technologií. V každé části jsou výsledná data závislá na hodnotách komerčních panelů různých FV technologií převzatá z kapitoly 3.3.

8.2.2 Pokrytí obce taškami

Pro tuto kapitolu byla vybrána taška „Gasser Ceramic FIT 54“s výkonem 162 Wp/m^2 popsaná v kapitole 2.4.3. Při výpočtu osazení FV taškami byl upraven koeficient

Tab. 8.3: Srovnání jednotlivých technologií v čase – Moravany

Monokrystalické články		
Rok	**Instalovaný výkon (kW)**	**Roční produkce (MWh)**
1995	21 221	14 731
2000	24 252	16 836
2005	25 768	17 888
2010	27 284	18 940
2015	30 315	21 045
2020	33 347	23 149
Teoretické maximum	83 367	57 873

Polykrystalické články		
Rok	**Instalovaný výkon (kW)**	**Roční produkce (MWh)**
1995	12 126	8 670
2000	15 158	10 838
2005	19 705	14 089
2010	21 221	15 173
2015	22 736	16 257
2020	24 252	17 341

Amorfní moduly		
Rok	**Instalovaný výkon (kW)**	**Roční produkce (MWh)**
1995	7 579	5 419
2000	10 610	7 587
2005	13 642	9 754
2010	16 673	11 922
2015	18 189	13 006
2020	21 221	15 173

využití plochy na 70 % a osazovaly se pouze budovy se sedlovou střechou. U budov s rovnou střechou se dále uvažovalo osazení FV panely Sharp. Výsledná data simulace jsou vypsána v tabulce 8.4 a v tabulce 8.5.

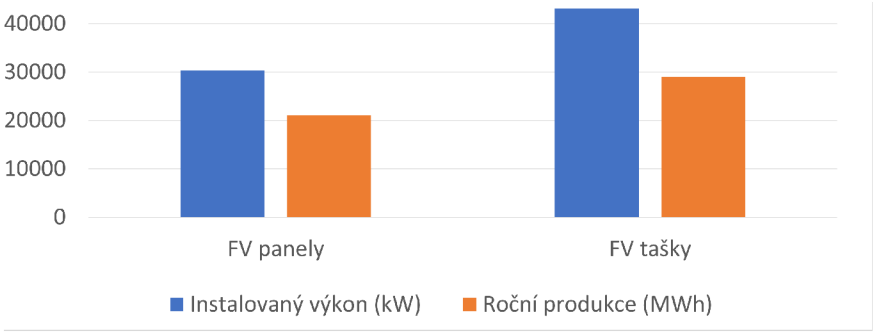
Tab. 8.4: Výsledný potenciál výkonu s FV taškami – Moravany

	RD	**Jiné**	**Celkem**
	(kW)	**(kW)**	**(kW)**
J	13 299	8 244	21 543
V	5 006	814	5 820
S	8 871	1 694	10 564
Z	4 452	741	5 193
Celkem	31 628	11 492	43 120

Tab. 8.5: Výsledný potenciál vyrobené el. energie s FV taškami – Moravany

	RD	**Jiné**	**Celkem**
	(MWh)	**(MWh)**	**(MWh)**
J	10 522	6 523	17 045
V	3 367	547	3 914
S	3 860	737	4 597
Z	2 994	498	3 492
Celkem	20 743	8 305	29 048

Z výsledných hodnot lze pozorovat, že při osazení budov FV taškami došlo ke skoro 30% nárůstu potenciální vyrobené el. energie oproti osazení střech pouze FV panely. Nárůst je i přes nižší výkon na jednotku plochy způsoben především výrazně lepší využitelností střešní plochy. Srovnání zakomponování FV tašek oproti samotným panelům je zobrazeno na obrázku 8.6.



Obr. 8.6: Srovnání panelů a tašek – Moravany

8.3 Hanušovice

Obec Hanušovice sloužila jako model s méně vhodnými okolními podmínkami pro osazení FV instalací. V rámci obce bylo zpracováno 677 budov. Hanušovice mají sice podobný počet obyvatel, ale je zde zastoupen velký počet panelových domů a jiných výškových budov, které celkový počet budov, a tím pádem i využitelné plochy, výrazně snižují. Právě proto bylo do výsledných dat přidáno zastoupení výškových budov. V rámci zpracování dat byly použity stejné vstupní hodnoty jako v případě Moravan. Výsledný potenciál výkonu je shrnut v tabulce 8.6 a výsledný potenciál vyrobené elektrické energie během roku je shrnut v tabulce 8.7.

Tab. 8.6: Výsledný potenciál výkonu – Hanušovice

	RD	**Jiné**	**Výškové budovy**	**Celkem**
	(kW)	**(kW)**	**(kW)**	**(kW)**
J	2 224	5 411	1 330	8 965
V	1 540	1 566	113	3 218
S	1 626	1 426	43	3 095
Z	1 525	1 523	113	3 160
Celkem	6 914	9 926	1 599	18 438

Tab. 8.7: Výsledný potenciál vyrobené el. energie – Hanušovice

	RD	**Jiné**	**Výškové budovy**	**Celkem**
	(MWh)	**(MWh)**	**(MWh)**	**(MWh)**
J	1 607	3 909	961	6 476
V	945	961	69	1 976
S	646	567	17	1 230
Z	936	935	69	1 941
Celkem	4 134	6 372	1 116	11 622

8.3.1 Porovnání výsledků dle jednotlivých technologií

V kapitole se postupovalo stejnou metodou jako v případě Moravan. Výsledky jsou znázorněny v tabulce 8.8.

Tab. 8.8: Srovnání jednotlivých technologií v čase – Hanušovice

Monokrystalické články		
Rok	**Instalovaný výkon (kW)**	**Roční produkce (MWh)**
1995	12 907	8 136
2000	14 751	9 298
2005	15 672	9 879
2010	16 594	10 460
2015	18 438	11 622
2020	20 282	12 785
Teoretické maximum	50 705	31 962
Polykrystalické články		
Rok	**Instalovaný výkon (kW)**	**Roční produkce (MWh)**
1995	7 375	4 788
2000	9 219	5 986
2005	11 985	7 781
2010	12 907	8 380
2015	13 829	8 978
2020	14 751	9 577
Amorfní moduly		
Rok	**Instalovaný výkon (kW)**	**Roční produkce (MWh)**
1995	4 610	2 993
2000	6 453	4 190
2005	8 297	5 387
2010	10 141	6 584
2015	11 063	7 183
2020	12 907	8 380

8.3.2 Pokrytí obce taškami

Zde se opět postupovalo stejným způsobem jako v případě Moravan. V případě Hanušovic je nárůst menší než v případě Moravan. Menší nárůst je způsoben převážně lepší využitelností střešních ploch osazením klasických panelů oproti Moravanům.

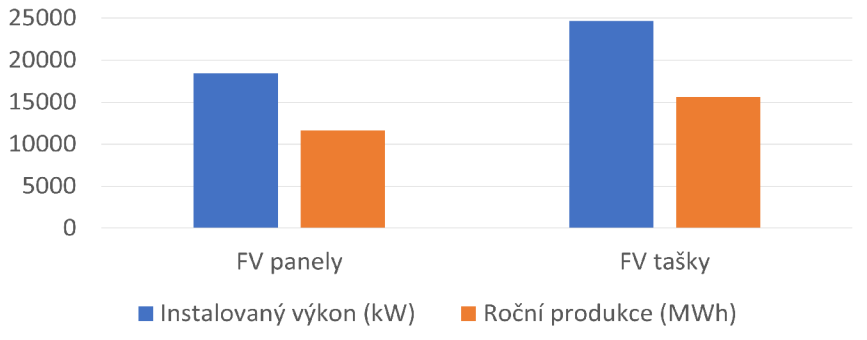
Moravany mají i více členité střechy a tím pádem jim více vyhovuje osazení taškami pro maximalizaci využití střešní plochy. Výsledky jsou opět graficky porovnány na obrázku 8.7.

Tab. 8.9: Výsledný potenciál výkonu s FV taškami – Hanušovice

	RD	**Jiné**	**Výškové**	**Celkem**
	(kW)	**(kW)**	**(kW)**	**(kW)**
J	3429	5388	1178	9996
V	2719	2066	198	4982
S	2875	1805	66	4746
Z	2697	2014	198	4909
Celkem	11720	11273	1640	24633

Tab. 8.10: Výsledný potenciál vyrobené el. energie s FV taškami – Hanušovice

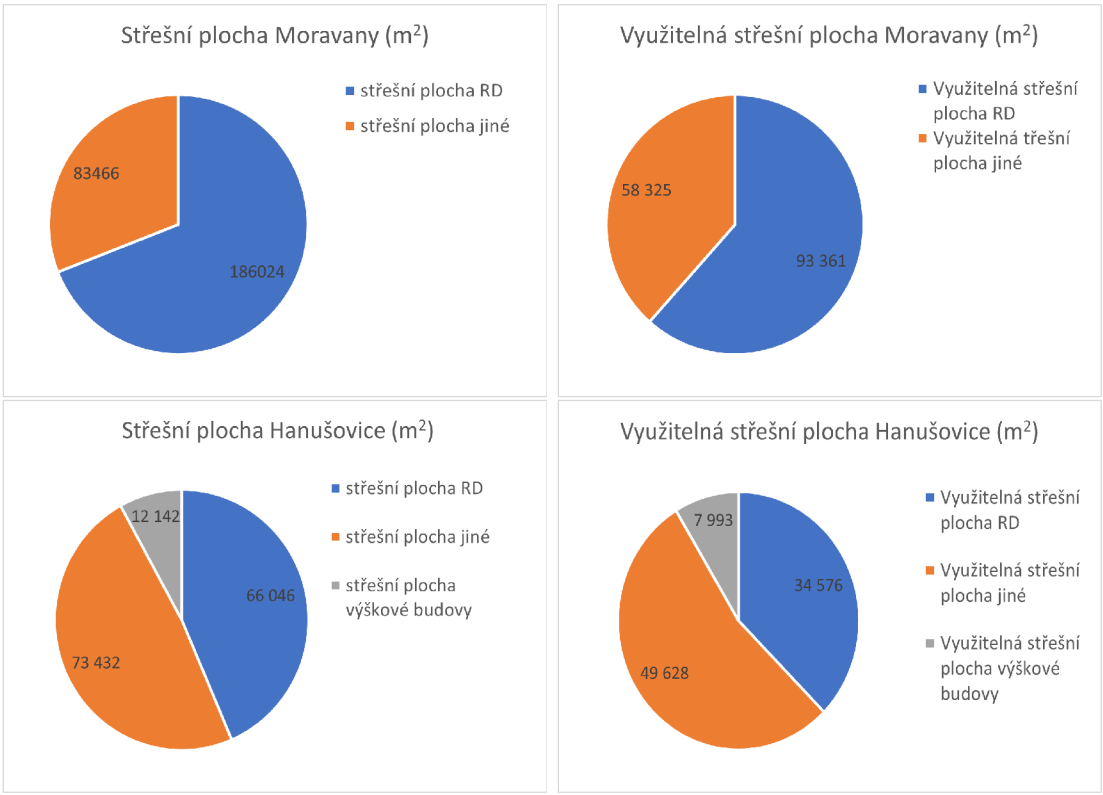
	RD	**Jiné**	**Výškové**	**Celkem**
	(MWh)	**(MWh)**	**(MWh)**	**(MWh)**
J	2552	4009	877	7437
V	1720	1306	125	3151
S	1177	739	27	1942
Z	1706	1274	125	3105
Celkem	7154	7328	1154	15636



Obr. 8.7: Srovnání panelů a tašek – Hanušovice

9 Srovnání obcí

Vzhledem k cíli práce, který spočívá v porovnání dvou obcí s vhodnými a nevhodnými podmínkami pro osazení FV instalací, bude kapitola obsahovat srovnání různých faktorů, které potenciál produkce el. energie ovlivňují. Jak již bylo zmíněno, v Moravanech bylo zpracováno 1 075 budov oproti 677 budovám v Hanušovicích. Velký rozdíl je zaviněn jednak menším počtem průmyslových budov, které jsou v Hanušovicích zastoupeny sice ve větším poměru, ale stále disponují menším počtem využitelných ploch. Dále se počet využitelných ploch v Hanušovicích redukuje velkým množstvím výškových budov, které koncentrují obyvatelstvo, a tím pádem se zde opět snižuje množství využitelných ploch pro FV instalace. Srovnání celkové a využitelné plochy v obou obcích je znázorněno v grafech na obrázku 9.1.

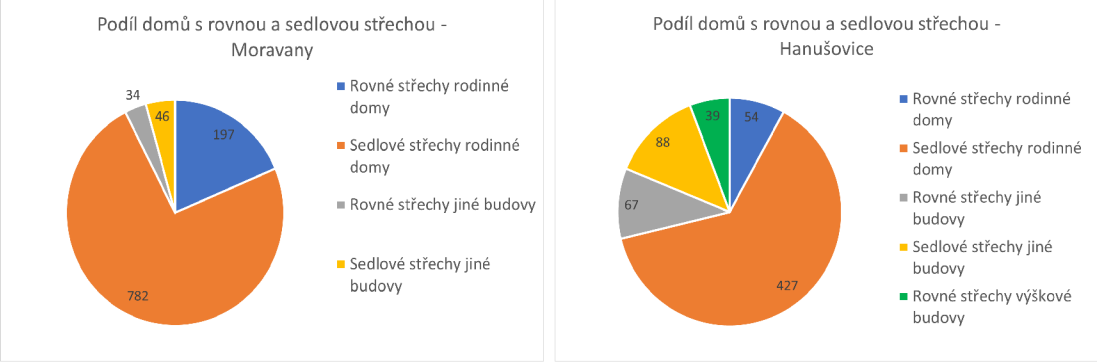


Obr. 9.1: Srovnání střešních ploch

9.1 Poměr rovných a sedlových střech

Dalším faktorem, který snižuje potenciální produkci elektrické energie v obci Hanušovice je počet rovných střech, který je o 32 % menší než v Moravanech. Konkrétně

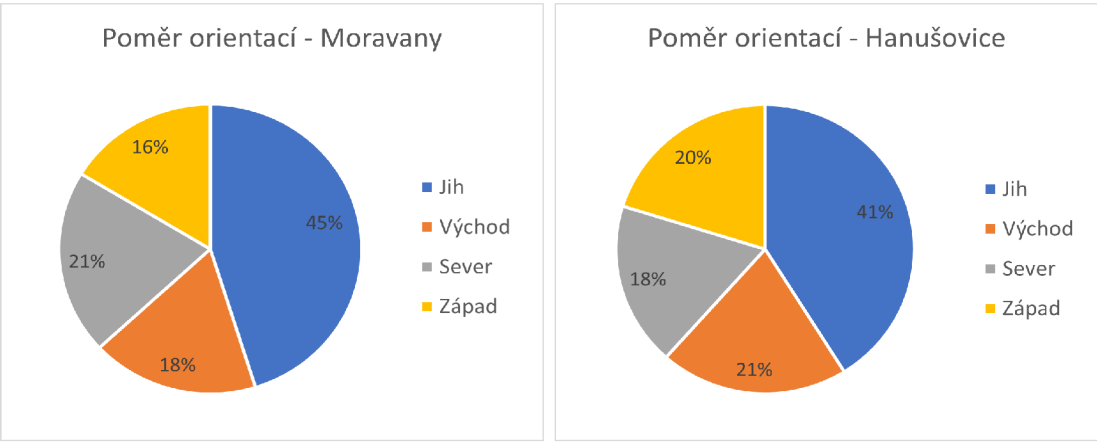
v Moravanech je 231 rovných střech, zatímco v Hanušovicích je pouze 159 rovných střech. Srovnání je znázorněno na obrázku 9.2.



Obr. 9.2: Poměr rovných a sedlových střech u různých typů budov

9.2 Natočení střech

Dalším podstatným faktorem je natočení střech, které vychází podobně u obou obcí. Hanušovice mají trochu více jižně orientovaných střech a také o něco méně severně natočených střech, což je způsobeno především větším počtem výškových budov, které mají rovnou střechu a tím pádem se počítá s instalací panelů přímo na jih. Srovnání je znázorněno v grafech na obrázku 9.3

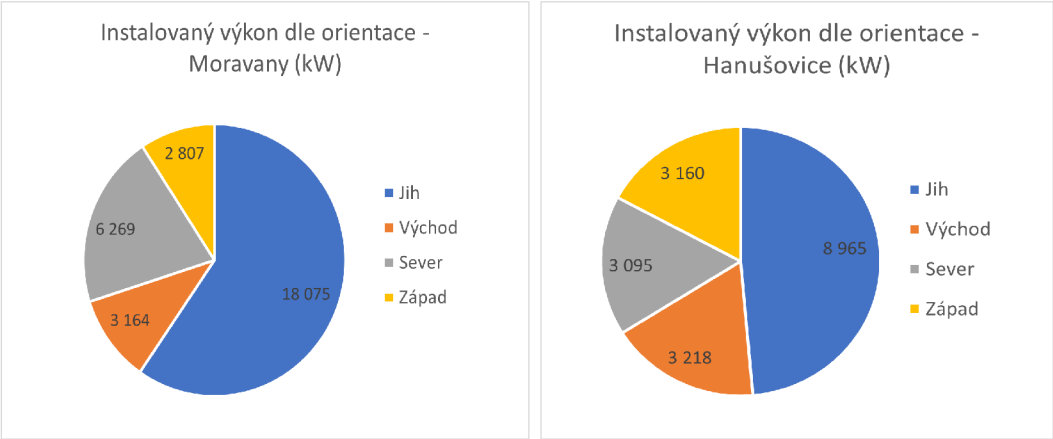


Obr. 9.3: Poměr orientací střech

9.3 Porovnání potencionálních výkonů a produkce elektrické energie

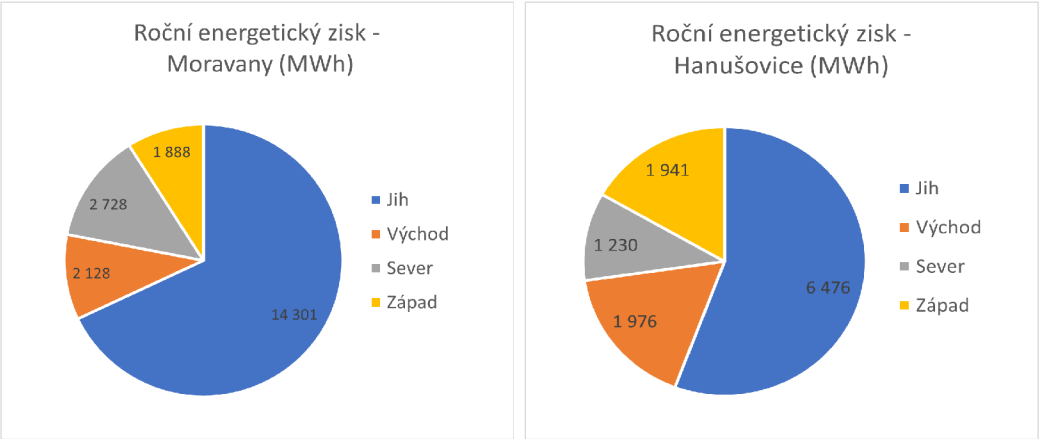
V rámci kapitoly byly srovnány výkony obou obcí s využitím FV panelů, a také při použití solárních tašek v případě sedlových střech. Při použití FV panelů se počítá pokrytí každé budovy zvlášť vzhledem k rozměrům použitých panelů. Využitelná plocha a tím pádem i potenciál množství vyrobené el. energie je výrazně nižší než v případě FV tašek.

Rozdíl výkonů jednotlivých obcí je více než třetinový, což je způsobeno především vyšší osídleností v jednotlivých budovách v případě Hanušovic a díky tomu i menšímu množství využitelné plochy. Celkový potenciálně instalovaný výkon činí 30 315 kW v Moravanech a 18 438 kW v Hanušovicích. Grafy na obrázku 9.4 graficky znázorňují jejich poměr v rámci měřených obcí. Co se týče potenciálu vyrobené el. energie, rozdíl je zde skoro dvojnásobný. Konkrétně v Moravanech je potenciál vypočítaný na 21 045 MWh a v Hanušovicích na 11 622 MWh. Zde lze vidět důležitost polohy samotné obce, ale také poměrů natočení střech a okolního zastínění instalací, které jsou v Hanušovicích na horší úrovni. Díky tomu Hanušovice vyrobí skoro dvakrát méně energie i přes to, že disponují skoro dvoutřetinovým instalovaným výkonem. Na obrázku 9.5 je srovnáno potenciální množství vyrobené el. energie.



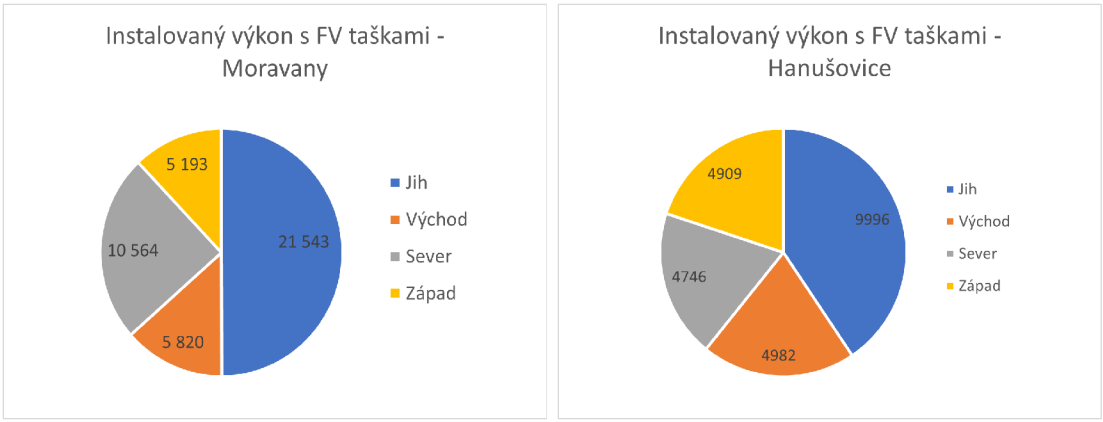
Obr. 9.4: Poměr výsledného potenciálu výkonu

U FV tašek se počítalo průměrně se 70 % pokrytí sedlových střech. Je zde ponechána rezerva pro případné objekty na střeše jako jsou střešní okna, komíny a další různá zakřivení, u kterých nelze tašky nainstalovat. Jak u potenciálu instalovaného výkonu, tak u potenciálu vyrobené el. energie je v tomto případě rozdíl skoro dvojnásobný. Celkový potenciálně instalovaný výkon při využití FV tašek činí 43 120 kW v Moravanech a 24 633 kW v Hanušovicích. Potenciál vyrobené el. energie činí 29 048 MWh v Moravanech a 15 636 MWh v Hanušovicích. Nárůst výkonu

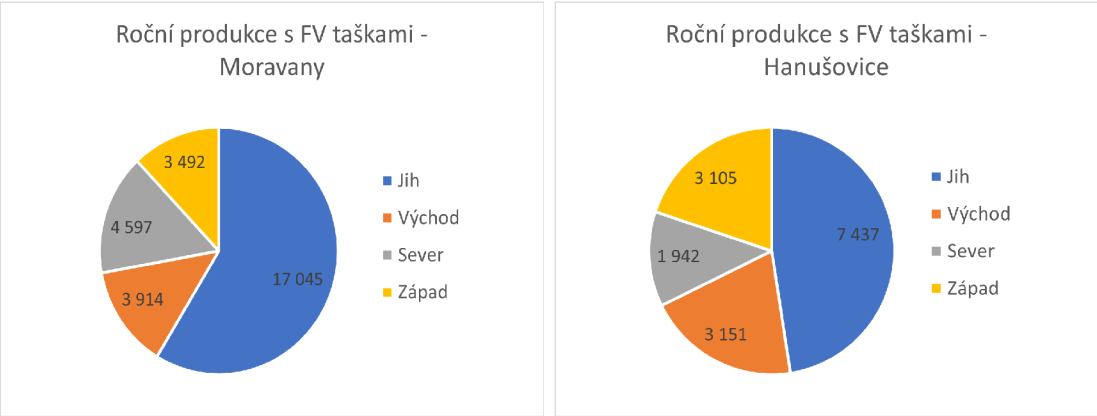


Obr. 9.5: Poměr výsledného potenciálu vyrobené el. energie

v případě Hanušovic je o poznání nižší oproti Moravanům. Menší nárůst je způsoben vyšší využitelností střech osazením klasických panelů v případě Hanušovic. V Moravanech je velké množství členitých střech, na které je problematická instalace FV panelů, ale díky použití tašek mají podstatně více využitelné plochy a tím pádem se skokově zvýší potenciál výkonu. Na obrázku 9.6 jsou vyobrazeny grafy s instalovaným výkonem u jednotlivých obcí a na obrázku 9.7 poté jejich roční produkce el. energie.

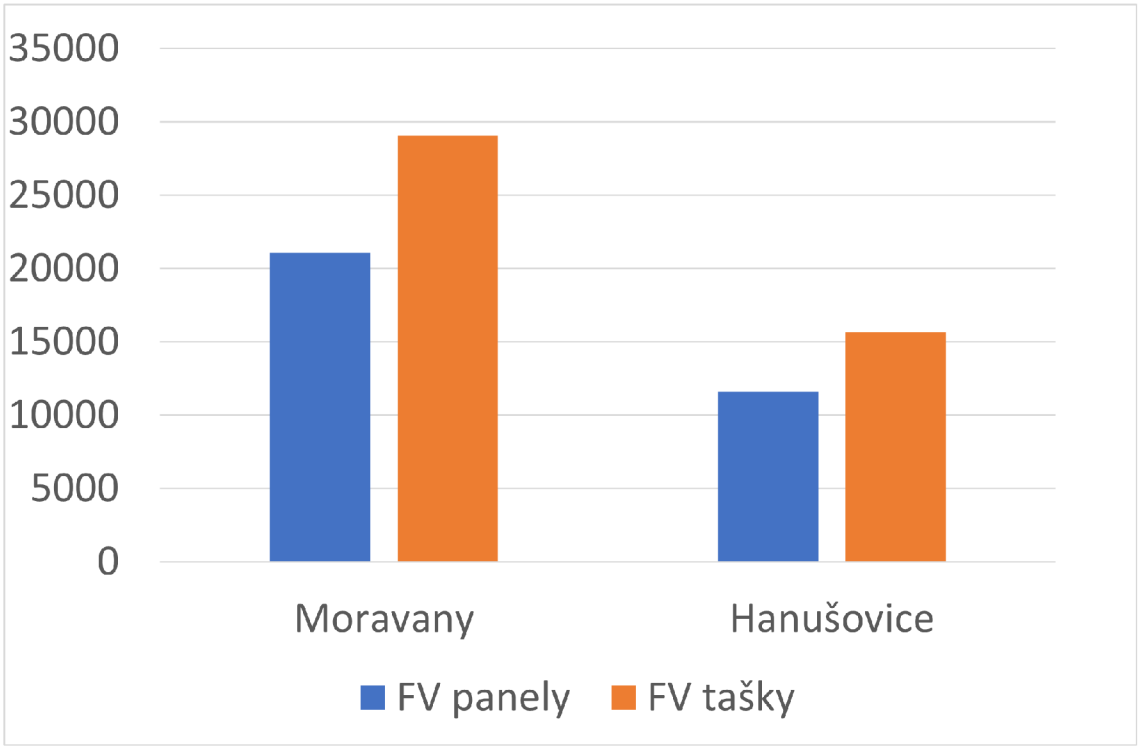


Obr. 9.6: Poměr výsledného potenciálu výkonu s FV taškami



Obr. 9.7: Poměr výsledného potenciálu vyrobené el. energie s FV taškami

V následujícím grafu 9.8 jsou srovnány hodnoty produkce el. energie v případě obou technických řešení v rámci měřených obcí.



Obr. 9.8: Porovnání potenciální produkce

Závěr

Stále zvětšující se komfort občanů zvyšuje nárok na spotřebu elektrické energie, proto je třeba produkci elektrické energie navyšovat a zamezit ztrátám v distribuci postupnou decentralizací zdrojů el. energie. Instalace FV panelů je jednou z variant pro splnění nároků budoucích generací. Správné využití FV panelů má pozitivní dopad na životní prostředí, díky decentralizaci zdrojů jsou domácnosti méně závislé na centrální produkci elektrické energie a s novým dotačním programem se zamezuje výstavbě rozsáhlých FV elektráren na jinými způsoby využitelnou půdu. FV panely se stále více instalují na nevyužité plochy rodinných a bytových domů a také na střechy průmyslových a nevyužívaných budov, kterým se práce věnuje. Díky rostoucím cenám elektrické energie a přívětivým dotačním podmínkám se malé zdroje elektrické energie stále rozšiřují a posilují vývoj těchto technologií.

Na vývoj fotovoltaiky do dnešní podoby mělo vliv několik událostí. Nejdůležitější z nich byly první cesty do vesmíru, kdy vesmírné stanice potřebovaly zásobovat elektrickou energií své výpočetní jednotky po neomezenou dobu. Díky misím do vesmíru proběhl prudký rozvoj fotovoltaiky, ta se začala postupně instalovat do špatně dostupných oblastí a dostala se do fáze prvního civilního použití. Díky průmyslovému využívání FV panelů se výzkum FV technologie posouvá dopředu a účinnost panelů se každým rokem zvyšuje. V dnešní době se stále pracuje na zvyšování účinnosti panelů, ale také na zefektivnění výroby a snížení nákladů na výrobu, díky čemuž se stále více vyplácí pořízení FV elektrárny. V práci jsou také uvedeny teoretické hranice možností FV technologií, díky kterým lze určit teoretický odhad produkce el. energie do budoucna.

Vzhledem k velkému nárůstu počtu FV instalací je potřeba mít povědomí, jaký energetický potenciál mohou instalace mít ve velkém měřítku, proto v práci byly v rámci co možná největší rozmanitosti zpracovány dvě obce s podobným počtem obyvatel, jedna s ideálními podmínkami pro osazení FV instalací (Moravany) a druhá s nevhodnými podmínkami (Hanušovice). Na tuto problematiku již bylo vypracováno několik studií a návrhů, např. [57, 59], které vzhledem k použití statistických a plošných dat nejsou dostatečně přesné a tím pádem nejsou zcela směrodatné. K výpočtu potenciálů byla proto v práci použita norma ČSN EN 15316-4-3, která počítá každou budovu zvlášť a tím pádem dochází k vysokému zpřesnění odhadů. Norma byla v rámci práce doplněna o další důležité koeficienty včetně průměrných hodnot dodatečných ztrát na měničích a další řídící elektronice nutné pro provoz FV instalací, které výpočet zpřesňují. Metoda výpočtu byla ověřena na třech budovách s reálnými daty z měření. Vybrány byly budovy s různými výkony FV instalací, orientací střech a lokalitou zástavby, aby se výpočet dal ověřit v co nejširším spektru reálných situací. Součástí porovnání hodnot byl i teoretických výpočet solárních

kalkulaček, které se ukázaly jako přesný nástroj pro určení teoretického potenciálu.

Pomocí použité normy se může výpočet energetického potenciálu aplikovat na různé FV technologie, popř. se dá provést porovnání rozdílů při použití klasických FV panelů oproti FV taškám, které se stále více dostávají do popředí zájmu a jsou zajímavou alternativou pro FV instalace. Při počítání s FV panely byl vypočítán teoretický výkon v Moravanech na 30 315 kWp, zatímco v Hanušovicích byl vypočítán pouze na 18 438 kWp. V porovnávaných obcích lze vidět rozdíl v hustotě obyvatelstva vzhledem k ploše zástaveb. V Hanušovicích jsou zastoupeny výškové budovy, které obyvatelstvo více koncentrují, a tím pádem je zde méně celkového počtu budov, což znamená méně využitelné plochy pro osazení FVE. V rámci Moravan bylo pomocí zmíněné metody zpracováno 1 075 budov, zatímco v Hanušovicích bylo zpracováno pouze 677 budov. V rámci potenciálu vyrobené elektrické energie hraje roli více parametrů jako je lokalita obce, okolní terén nebo také orientace natočení střech. Výsledná energie v Moravanech byla vypočtena na 21 045 MWh, zatímco v Hanušovicích byla vypočtena na 11 622 MWh. Lze tedy pozorovat, že i vzhledem k poměrům instalovaného výkonu je rozdíl potenciálů vyrobené el. energie ještě větší.

Co se týče výpočtu s FV taškami, v Moravanech byl stanoven teoretický výkon na 43 120 kWp, zatímco v Hanušovicích byl stanoven na 24 633 kWp. Rozdíl výkonů s použitím FV tašek je o poznání větší ve prospěch Moravan. Střechy v Moravanech jsou více členité než v Hanušovicích, proto výkonový rozdíl mezi panely a taškami je v případě Moravan vyšší, než v případě Hanušovic, které mají méně členité střechy a tím pádem zde není takový rozdíl ve výkonech.

Na podobné téma, které počítalo také s odhadem potenciálu, bylo zpracováno několik prací, např. od Martina Štefka [43] nebo od Martina Plačka [58]. Oproti zmíněným pracím se zde ve výpočtech zohledňují také okolní vlivy terénu a zastínění a také byla snaha zpracovat veškerou využitelnou plochu včetně zástaveb, které nebyly zapsány v katastru. Dále zde byly zpracovány výsledky pro jednotlivé technologie, kde každá technologie má své specifické vlastnosti a jiné rozmezí účinnosti. Tyto faktory byly v práci také popsány.

Práce tedy zhodnotila rozdíly v potenciálech vyrobené el. energie, které se dají v budoucnu využít pro projektování distribučních sítí, skladby elektrické energie z různých zdrojů, potenciály velikosti vyrobené el. energie v rámci lokalit jak v České republice, tak i ve světě, a také se může díky výsledkům výpočtů přizpůsobit elektrizační síť na vykrývaní výkonových špiček a podobně. Práce zhodnocuje pouze potenciál výroby el. energie. Práce nezohledňuje ekonomickou návratnost FV systémů ani legislativu České republiky, která pro hybridní zapojení do sítě umožňuje instalace pouze do instalovaného výkonu 10 kWp. Jde pouze o zhodnocení potenciálu FV elektráren v různých lokalitách s různými scénáři, které množství produkce elektrické energie ovlivňují.

Literatura

[1] BENEDIKT, Jaroslav. SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ JAKO ZDROJ ENERGIE [online]. Plzeň, 2010 [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <https://kke.zcu.cz>

[2] Incoming Sunlight. Https://earthobservatory.nasa.gov [online]. Washington, D.C., USA: NASA Goddard Space Flight Center, 2009 [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page2.php>

[3] Photovoltaic power potential. Https://globalsolaratlas.info [online]. Bottova 2A 811 09 Bratislava Slovakia: Solargis, 2021 [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <https://globalsolaratlas.info/map?c=11.609193,8.4375,3>

[4] ŘEHÁK, Jaromír a Radim BAŘINKA. FOTOVOLTAIKA A FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY V PODMÍNKÁCH ČR A JEJICH NAVRHOVÁNÍ [online]. In: . [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/98_8050.pdf>

[5] FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY A PANELY. Www.svetenergie.cz [online]. Praha: Simopt, 2020 [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/slunecni-elektrarny-podrobne/fotovoltaicke-clanky-a-panely/vyklad>

[6] ORAVA, Jiří. Kde se bere monokrystalický křemík? Tažení monokrystalů křemíku Czochralského metodou. Materialovaveda.blogspot.com [online]. Praha: Blogger, 2011 [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <http://materialovaveda.blogspot.com/2011/07/kde-se-bere-monokrystalicky-kremik.html>

[7] Monokrystalické články. Www.svetenergie.cz [online]. Praha: Simopt, 2020 [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/slunecni-elektrarny-podrobne/fotovoltaicke-clanky-a-panely/vyklad>

[8] Polykrystalické články. Www.svetenergie.cz [online]. Praha: Simopt, 2020 [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/slunecni-elektrarny-podrobne/fotovoltaicke-clanky-a-panely/vyklad>

[9] Amorfní křemíkové solární články. Www.panasonic-electric-works.com/cz [online]. Holzkirchen, Bavaria, Germany: Panasonic Electric Works Europe, 2020 [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <https://www.panasonic-electric-works.com/cz/amorton-amorfni-kremikove-solarni-clanky.htm>

[10] SVARC, Jason. Solar Panel Construction. Www.cleanenergyreviews.info [online]. Victoria, Australia: Clean Energy Reviews, 2020 [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>

[11] Panasonic VBHN335SJ53. Europe-SolarStore.com [online]. EU: Europe-SolarStore.com, 2021 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.europe-solarstore.com/panasonic-vbhn335sj53.html>

[12] Victron Energy solární panel polykrystalický, 12V/115W. Www.alza.cz [online]. Praha: Alza, 2021 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/victron-solarni-panel-polykrystalicky-12v-115w-d5855321.htm>

[13] AVANCIS PowerMax 3.5 Smart 140. Www.eshop.terms.eu [online]. České Budějovice: terms.eu, 2021 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/1505521/c68831-tenkovrstve-panely/avancis-powermax-35-smart-140.html>

[14] Sharp NUJD440. Www.eshop.terms.eu [online]. České Budějovice: terms.eu, 2021 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/2056623/t4898-sharp/sharp-nujd445.html>

[15] SOLÁRNÍ PANEL OHEBNÝ 300WP SUNMAN FLEXI. Https://www.dexhal.cz [online]. Velké Němčice: Dexhal, 2021 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.dexhal.cz/solarni-panel-ohebny-300wp-sunman-flexi_z3492/>

[16] Lindab Solar Roof. Www.lindabstrechy.cz [online]. Pavlov u Unhoště: Lindab, 2021 [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.lindabstrechy.cz/lindab-solar-roof>

[17] Tesla solar roof. Https://www.solarreviews.com [online]. San Francisco, California: solarreviews.com, 2021 [cit. 2021-11-28]. Dostupné z:<https://www.solarreviews.com/blog/how-much-does-the-tesla-solar-roof-cost-compared-to-conventional-solar>

[18] AKTUALITY / TESLA. Www.elonx.cz [online]. ElonX ©, 2021 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/tesla-predstavila-novou-generaci-solarnich-tasek-ktera-je-vyrazne-levnejsi/>

[19] The most elegant in roof solution. Https://gasserceramic.ch [online]. La Croix-de-Rozon, Švýcarsko: gasserceramic, 2017 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://gasserceramic.ch/range-photovoltaics/fit-54/?lang=en>

[20] BiSolar solar roof tiles for aesthetics and efficiency. Www.metsolar.eu [online]. Vilnius, Lithuania: MetSolar, 2021 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://metsolar.eu/solar-architecture/bisolar-solar-roof-tiles/>

[21] HANTILE SOLAR ROOF TILES. Www.hanergy.eu [online]. Amsterdam: Hanergy Thin Film Power EME B.V., 2020 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.hanergy.eu/hantile-solar-roof-tiles/>

[22] Hanergy solar tile 30w. Https://www.alibaba.com [online]. Čína: Alibaba.com, 2022 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.alibaba.com/product-detail/Cheap-price-solar-roof-tile-bluesun_1600203458805.html>

[23] SKÁCEL, Dalibor. Vývoj fotovoltaiky ve světě a v ČR. Alternativní energie. 2000, 3(3), 65.

[24] PERLIN, John. Passive Solar History. californiasolarcenter.org [online]. California: Astra, 2005 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <http://californiasolarcenter.org/history-pv/>

[25] WILLIAMS, David. Vanguard 1. Https://nssdc.gsfc.nasa.gov [online]. Washington, D.C., USA: NASA Official, 1970 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1958-002B>

[26] D ARCHER, Mary a Martin A GREEN, ed. Short historical perspective. Clean Electricity from photovoltaics. 2nd edition. Londýn: Imperial College Press, 2001, s. 145-146. ISBN 978-1-84816-767-4.

[27] NOS, Filip. Jaký je vývoj fotovoltaiky v České republice? A jak si stojíme v Evropě? Https://www.estav.cz [online]. Křenova 438/3 162 00 Praha 6: TopInfo, 2019 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/6385.jaky-je-vyvoj-fotovoltaiky-v-ceske-republice-a-jak-si-stojime-v-evrope>

[28] Jak na to. Https://novazelenausporam.cz [online]. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, 2021 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/jak-na-to>

[29] KUČEROVÁ, Barbora. Čína trestala Australany a střelila se do nohy. Kvůli hrdosti kolabuje. Seznam.cz [online]. Brno: Seznam.cz, 2021 [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/cina-trestala-australany-a-strelila-se-do-nohy-kvuli-hrdosti-kolabuje-178898>

[30] STAPCZYNSKI, Stephen. Europe's Energy Crisis Is Coming for the Rest of the World, Too. Https://www.bloomberg.com [online]. New York: Bloomberg L.P., 2021 [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-09-27/europe-s-energy-crisis-is-about-to-go-global-as-gas-prices-soar?utm_medium=cpc_search&utm_campaign=NB_ACQ_DSAXX_DSATESTTCPAXX_EVG_XXXX_XXX_COALL_EN_EN_X_BLOM_GO_SE_XXX_XXXXXXXXX&gclid=Cj0KCQiA1MCOBhCZARIsANLid6b_8W7Iu7PHvQ9byhCUXw5jrlIt4KcsZxXOSnbeCA9YYSQrqO4lF78aAoNMEALw_wcB&gclsrc=aw.ds>

[31] WATTS, Anthony. Historical and present Total Solar Irradiance has been tinkered with again. Https://wattsupwiththat.com [online]. USA: wattsupwiththat, 2014 [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: <https://wattsupwiththat.com/2014/02/10/historical-and-present-total-solar-irradiance-has-been-tinkered-with-again/>

[32] WOLF, Petr, Jan VČELÁK a Tomáš Matuška. Metodika výpočtu kritérií solárních fotovoltaických systémů pro veřejné budovy. Https://www.opzp.cz [online]. Buštěhrad: České vysoké učení technické, 2015 [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: <https://www.opzp.cz/files/documents/storage/2018/11/17/1542467152_Metodika%20vypoctu%20kriterii%20solarnich%20fotovoltaickych%20systemu%20pro%20verejne%20budovy.pdf>

[33] BECHNÍK, Bronislav. Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, méně rozšířené technologie. Https://oze.tzb-info.cz [online]. Praha: ČTK, 2009 [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5517-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-mene-rozsirene-technologie>

[34] SKLENÁŘ, Oldřich. Fotovoltaika v České republice v roce 2014. Https://oze.tzb-info.cz [online]. Jihlava: zpravodajství ČTK, 2014 [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/12162-fotovoltaika-v-ceske-republice-v-roce-2014>

[35] PICKEREL, Kelly. What are bifacial solar modules? Https://www.solarpowerworldonline.com [online]. Cleveland: WTWH Media, 2018 [cit. 2022-01-04]. Dostupné z: <https://www.solarpowerworldonline.com/2018/04/what-are-bifacial-solar-modules/>

[36] WOLF, Petr. Předpověď výroby fotovoltaických systémů. Https://oze.tzb-info.cz [online]. Praha: zpravodajství ČTK, 2017 [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/15928-predpoved-vyroby-fotovoltaickych-systemu>

[37] WOLF, Petr. Jaká je průměrná spotřeba elektřiny u rodinného domu? Https://www.srovnejto.cz [online]. Praha: Srovnejto.cz, 2021 [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: <https://www.srovnejto.cz/blog/jaka-je-prumerna-spotreba-elektriny-u-rodinneho-domu/>

[38] Champion Photovoltaic Module Efficiency Chart. Https://www.nrel.gov [online]. USA: Alliance for Sustainable Energy, 2022 [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>

[39] Wienerberger bude v Česku prodávat solární tašky. Https://www.solarninovinky.cz [online]. Dobrá 177, 739 51 Dobrá: Solarninovinky.cz, 2022 [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.solarninovinky.cz/wienerberger-bude-v-cesku-prodavat-solarni-tasky/>

[40] Monocrystalline vs Polycrystalline Solar Panels. Https://ases.org [online]. 2525 Arapahoe Ave Suite E-4 - 253, Boulder, CO 80302, USA: American Solar Energy Society, 2022 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://ases.org/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>

[41] MATUŠKA, Tomáš. Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací. Https://oze.tzb-info.cz [online]. ČR: In. OZE TZB INFO, 2016 [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>

[42] ČERNÝ, J. Hodnocení provozu malých fotovoltaických elektráren s připojením do sítě nn. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2010, 58 stran.

[43] ŠTEFEK, Martin. Potencionální produkce elektrické energie ze střešních fotovoltaických elektráren v obci do 3000 obyvatel. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2019. 74 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Paar, Ph.D.

[44] Ikatastr. Https://www.ikatastr.cz/ [online]. ČR: ČÚZK, 2022 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.ikatastr.cz/>

[45] Mapy.cz. Https://mapy.cz [online]. ČR: Seznam.cz, 2022 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://mapy.cz>

[46] EASY-PV. Https://pvcase.com / [online]. EU: PVcase, 2022 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://pvcase.com/ground-mount/>

[47] PVGIS calculator. Https://re.jrc.ec.europa.eu [online]. EU: re.jrc.ec.europa, 2022 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#api_5.2>

[48] Čambala P., Hrubý M., Muselík O., Špaček T., Procházka J.: Oponentní posudek k vybraným tématům z návrhu Národního Klimaticko-Energetického Plánu (NKEP) pro oblast FVE. In: EGÚ Brno a. s. Brno 2018, 36 s.

[49] ČERNÝ, J. Hodnocení provozu malých fotovoltaických elektráren s připojením do sítě nn. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2010, 58 stran.

[50] BŘEZINOVÁ, Jana. Jaká je průměrná spotřeba elektřiny u rodinného domu?. Https://www.srovnejto.cz/ [online]. Praha: Srovnejto.cz, 2021 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.srovnejto.cz/blog/jaka-je-prumerna-spotreba-elektriny-u-rodinneho-domu/>

[51] BUCHWALD, Jan. Měření a monitorování výkonových parametrů domácí FV elektrárny [online]. Plzeň, 2016 [cit. 2022-05-08]. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Pavel Štekl, Ph.D.

[52] Moje elektrárna. Http://www.mojeelektrarna.cz [online]. ČR: JML, 2013 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <http://www.mojeelektrarna.cz/moje-elektrarna.php#prettyPhoto>

[53] Photovoltaic panel sensitivity In: Andyschroder. Https://www.researchgate.net [online]. USA: ResearchGate, 2022 [cit. 2022-05-29]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/figure/Angular-Sensitivity-of-Average-Incident-Solar-Radiation-of-a-Fixed-Tilt-Solar-Collector_fig6_287203015>

[54] Mapové podklady Moravany u Brna In. Mapy.cz [online]. cit. [2022-5-17] Dostupné z: <mapy.cz>

[55] Mapové podklady Hanušovice. Mapy.cz [online]. cit. [2022-5-17] Dostupné z: <mapy.cz>

[56] Informace poskytl Ing. Josef Haber. Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, České vysoké učení technické v Praze. [elektronická pošta]. 26.5. 2022 9:22. [cit. 2022-05-27].

[57] Potenciál solární energie v ČR: střechy a fasády. Https://faktaoklimatu.cz [online]. Praha: Otevřená data o klimatu, z. ú., 2022 [cit. 2022-05-28]. Dostupné

z: Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/potencial-solarni-energie-cr-strechy>

[58] PLAČEK, Martin. Porovnání potencionální produkce elektrické energie fotovoltaických zdrojů u obcí do 3 000 obyvatel [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zavprace/detail/127268>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Martin Paar.

[59] Solar Photovoltaic Power Potential by Country. Https://www.worldbank.org [online]. Washington USA: The World Bank Group, 2022 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://www.worldbank.org/en/topic/energy/publication/solar-photovoltaic-power-potential-by-country>

Zdroje dat

HABER, Josef. Měřená data z FVE z instalace „Dům pro budoucnost“, Omice u Brna. [elektronická pošta]. 9. března 2022 13:09 [cit. 2022-05-27]. Osobní komunikace.

Seznam symbolů a zkratek

Zkratka	Význam
cca	Circa
ČR	Česká republika
DPH	Daň z přidané hodnoty
el.	Elektrický
EVA	Ethylene-vinyl acetate – Ethylen-vinyl acetát
FV	Fotovoltaika
FVE	Fotovoltaická elektrárna
J	Jih
JV	Jihovýchod
JZ	Jihozápad
Kč	Koruna česká
ks	Kus
NASA	National Aeronautics and Space Administration – Národní úřad pro letectví a vesmír
P-N	Positive-Negative – Pozitivní-Negativní
PV	Photovoltaic – fotovoltaika
RD	Rodinné domy
S	Sever
USD	United States dollar
UV	Ultra fialové
V	Východ
VA	Voltampérová
Z	Západ

Symboly	**Význam a jednotky**
A_{FV}	Aktivní plocha všech FV panelů (m^2)
A	Plocha FV modulu (m^2)
$E_{\mathrm{FV/r}}$	Potenciální roční produkce elektrické energie (kWh)
$E_{\mathrm{FV,sys}}$	Energie systému vypočtená bilanční metodou (kWh)
$E_{\mathrm{PV,sys}}$	Energie dodaná FV systémem (kWh)
f_{perf}	Činitel výkonnosti FV systému (–)
G	Konstanta slunečního ozáření ($\mathrm{W/m}^2$)
G_{ref}	Sluneční konstanta ($\mathrm{kW/m}^2$)
$H_{\mathrm{T,rok}}$	Roční dávka ozáření panelů (kWh/rok)
$H_{\mathrm{T,měs}}$	Měsíční dávka slunečního záření ($\mathrm{kWh/m}^2 \cdot$ měs)
K_{or}	Koeficient orientace panelu (–)
k_{or}	Koeficient ztrát natočením panelu (–)
K_{tep}	Koeficient oteplení panelu (–)
K_{V}	Koeficient využití střechy (–)
K_{zt}	Koeficient ztrát (–)
k	Součinitel pro daný panel udávaný výrobcem (–)
K_{pk}	Součinitel špičkového výkonu ($\mathrm{kW/m}^2$)
P_{FVE}	Instalovaný výkon FV elektrárny (kW)
P_{pk}	Instalovaný výkon (kWp)
$P_{\mathrm{po/r}}$	Roční potenciál produkce el. energie z FVE (kWh/kWp $\cdot$ rok)
P_{modulu}	Jmenovitý výkon modulu (W)
p	Elektrické ztráty (%)
P_{pk}	Špičkový výkon FV systému (kW)
S_{atyp}	Upravená plocha půdorysu domu (m^2)

S_{O}	Plocha půdorysu domu (m^2)
S_{p}	Plocha zabíraná jedním panelem (m^2)
t_{FV}	Teplota FV článku (°C)
t_{ref}	Referenční teplota článku (°C)
T_{st}	Typizace střechy (–)
γ	Teplotní součinitel výkonu pro daný panel (%/K)
η_{modulu}	Účinnost modulu (%)
$\eta_{\mathrm{FV,t}}$	Účinnost FV článku závislá na teplotě (%)
$\eta_{\mathrm{FV,G}}$	Účinnost FV článku závislá na sluneční konstantě (%)
η_{ref}	Referenční účinnost panelu (%)