



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

POTENCIONÁLNÍ PRODUKCE ELEKTRICKÉ ENERGIE FOTOVOLTAICKÝMI PANELE A TAŠKAMI V MĚSTSKÉ ZÁSTAVBĚ

POTENTIAL PRODUCTION OF ELECTRIC ENERGY BY PHOTOVOLTAIC PANEL AND TILES IN URBAN
AREA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jan Dvořáček

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Martin Paar, Ph.D.

BRNO 2020

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Jan Dvořáček

ID: 195660

Ročník: 3

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Potencionální produkce elektrické energie fotovoltaickými panely a taškami v městské zástavbě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Přehled fasádových a střešních fotovoltaických systémů a agrovoltaických systémů
2. Výpočet produkce elektrické energie u stacionárních FV systémů
3. Vytvoření zjednodušené metodiky výpočtu produkce elektrické energie pro oblast se sídlištním charakterem
4. Vyhodnocení potencionální produkce elektrické energie FV systémy pro zvolenou část města

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Materiály výrobců FV, studie zaměřené na oblast FV, IEEE

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 10.6.2020

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

doc. 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.

Bibliografická citace práce:

DVOŘÁČEK, Jan. *Potencionální produkce elektrické energie fotovoltaickými panely a taškami v městské zástavbě*. Brno, 2020. 58 s. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127251>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Martin Paar.

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Potencionální produkce elektrické energie fotovoltaickými panely a taškami v městské zástavbě* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.“

V Brně dne:

.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Paarovi, Ph.D. za poskytnuté cenné rady a věnovaný čas při konzultacích.

V Brně dne:

.....

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá možnými způsoby instalace fotovoltaické elektrárny na budovy, analýzou jejich zastínění a naznačuje možný výpočet pro jejich potenciální produkci elektrické energie. V práci je popsáno základní rozdělení a způsoby instalování fotovoltaických systémů. Dále jsou popsány příčiny zastínění, jeho diagnostika a vliv na fotovoltaické moduly. Práce popisuje i různé výpočty potenciální produkce elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou. Praktická část se zabývá analýzou vybrané oblasti a výpočtem potenciální elektrické energie, s využitím fotovoltaických modulů a fotovoltaických tašek, zvolenou výpočetní metodou.

KLÍČOVÁ SLOVA: analýza zastínění; fotovoltaický systém; výpočet elektrické energie z fotovoltaické elektrárny

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with possible form of installation photovoltaic power plant on building, shading analysis and impaly possible way of calculation potential production of elektrical energy. In thesis is describe basic division and diferent methods of instalation photovoltaic systems. The following charter describing source of shading, shading analysis and effect of fading on photovoltaic moduls. The thesis include different way of calcuation potential production of elektrical energy by photovoltaic power plant. The practical part deals with the analysis of a selected area and the calculation of potential electrical energy using photovoltaic modules and photovoltaic roof tiles with chosen calculation method.

KEY WORDS: calcuation of potential production of elektrical energy by photovoltaic power plant; fading analysis; photovoltaic systems

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 ÚVOD.....	13
2 UMÍSTĚNÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ NA BUDOVÁCH	14
2.1 FASÁDNÍ SYSTÉMY	15
2.1.1 ADITIVNÍ FASÁDNÍ SYSTÉMY	15
2.1.2 INTEGROVANÉ FASÁDNÍ SYSTÉMY	16
2.2 STŘEŠNÍ SYSTÉMY	18
2.2.1 ADITIVNÍ STŘEŠNÍ SYSTÉMY	18
2.2.2 INTEGROVANÉ SYSTÉMY	22
2.3 AGROVOLTAIKA.....	23
2.4 FOTOVOLTAICKÉ PARKOVIŠTĚ.....	25
3 ZASTÍNĚNÍ.....	27
3.1 ZASTÍNĚNÍ VLIVEM ZNEČIŠTĚNÍ	27
3.2 ZASTÍNĚNÍ VLIVEM STANOVIŠTĚ	27
3.3 ANALÝZA ZASTÍNĚNÍ.....	27
3.4 VLIV ZASTÍNĚNÍ NA FUNKCI FOTOVOLTAICKÉHO MODULU	29
4 VÝPOČET PRODUKCE ELEKTRICKÉ ENERGIE STATICKÝCH FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ.....	31
4.1 POSTUP PODLE ZJEDNODUŠENÉ BILANČNÍ METODY	31
4.2 POSTUP DLE NORMY ČSN 15316-4-3	33
5 DOSAVADNÍ PROJEKTY NA PODOBNÉ TÉMA.....	35
6 ZPŮSOB VÝPOČTU A JEHO APLIKACE.....	36
7 POUŽITÉ FOTOVOLTAICKÉ PANELE A TAŠKY	38
7.1 FOTOVOLTAICKÝ PANEL SHARP NU-AC 310	38
7.2 FOTOVOLTAICKÁ TAŠKA QUAD 40.....	39
8 OVĚŘENÍ VÝPOČETNÍ METODY	40
8.1 OVĚŘENÍ METODIKY PRO ROVNÉ STŘECHY.....	40
8.2 OVĚŘENÍ METODIKY PRO ŠIKMÉ STŘECHY	41
8.3 OVĚŘENÍ METODIKY PRO FASÁDY	42
9 INFORMACE O ANALYZOVANÉ OBLASTI	44
10 CELKOVÝ ENERGETICKÝ POTENCIÁL.....	48
10.1 CELKOVÝ INSTALOVANÝ VÝKON	48
10.2 CELKOVÝ ENERGETICKÝ ZISK.....	49
10.3 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S ONLINE KALKULAČKOU PVGIS	52

ZÁVĚR.....53
POUŽITÁ LITERATURA54

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Přibližné rozdělení dopadu slunečního záření na úhlu a směru natočení [4]</i>	14
<i>Obr. 2-2 Možné umístění fotovoltaických elektráren na budovách [2]</i>	14
<i>Obr. 2-3 Kotva uchycená k nosné stěně [32]</i>	15
<i>Obr. 2-4 Aditivní fasádní instalace [26]</i>	16
<i>Obr. 2-5 Teplá integrovaná fasáda propouštějící světlo [27]</i>	17
<i>Obr. 2-6 Tlaková lišta pro teplé fasádní instalace [28]</i>	17
<i>Obr. 2-7 Průřez studenou integrovanou fasádou s lineárním uchycením [29]</i>	17
<i>Obr. 2-8 Studená integrovaná fasáda s bodovým uchycením [30]</i>	17
<i>Obr. 2-9 Střešní hák do latí [33]</i>	18
<i>Obr. 2-10 Střešní hák na krokve [34]</i>	18
<i>Obr. 2-11 Kovová upevňovací taška [7]</i>	19
<i>Obr. 2-12 Plastová usazovací taška [8]</i>	19
<i>Obr. 2-13 Svorka pro trapézový plech [35]</i>	19
<i>Obr. 2-14 Svorka pro plech s kulatou drážkou [9]</i>	19
<i>Obr. 2-15 Závěsný šroub [2]</i>	20
<i>Obr. 2-16 Kolejnicové systémy [20]</i>	20
<i>Obr. 2-17 Plastové vany zatíženy pískem [19]</i>	21
<i>Obr. 2-18 Plastové vany zatíženy betonovými deskami [18]</i>	21
<i>Obr. 2-19 Fotovoltaické moduly zatíženy betonovými kvádry [17]</i>	21
<i>Obr. 2-20 Nosná konstrukce ukotvena k nosné konstrukci [16]</i>	21
<i>Obr. 2-21 Integrovaná fotovoltaická elektrárna s přidanou spodní izolací [15]</i>	22
<i>Obr. 2-22 Fotovoltaická taška [14]</i>	22
<i>Obr. 2-23 Fotovoltaická taška společnosti RUUKKI [13]</i>	22
<i>Obr. 2-24 Pole se systémem od společnosti Next2sun [12]</i>	23
<i>Obr. 2-25 Louka se systémem od společnosti Fraunhofer ISE [11]</i>	24
<i>Obr. 2-26 Pole se systémem od společnosti Fraunhofer ISE [10]</i>	24
<i>Obr. 2-27 Zastřešené parkovací stání Eco Park [51]</i>	25
<i>Obr. 2-28 Fotovoltaické parkoviště vysoké školy Stonehill College [52]</i>	26
<i>Obr. 2-29 Fotovoltaické parkoviště společnosti Dell v Texasu [53]</i>	26
<i>Obr. 3-1 Graf sluneční dráhy (Berlín) s obrysy stínů [2]</i>	28
<i>Obr. 3-2 Indikátor sluneční dráhy [21]</i>	28
<i>Obr. 3-3 Stínový analyzátor Suneye [23]</i>	29

<i>Obr. 3-4 Ampér-voltová charakteristika fotovoltaického článku při rozdílném zastínění [25].....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 6-1 Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [57]</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 7-1 Monokrystalický fotovoltaický modul [55].....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 7-2 Fotovoltaická taška QUAD 40 [49].....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 8-1 Graf měsíční produkce fotovoltaické instalace v období od září 2009 do května 2011 [45]</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 8-2 Část fotovoltaické instalace na střeše budovy John Dalton tower block v Manchesteru [45]</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 8-3 Fotovoltaická instalace ve Střelicích [44].....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 8-4 Graf měsíční produkce fotovoltaické instalace v období od ledna 2006 do prosince 2007 [42]</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 8-5 Fotovoltaická instalace na budově Fakulty stavební ČVUT v Praze [42]</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 9-1 Umístění analyzované oblasti v rámci Brna [60].....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 9-2 Ukázka typové zástavby ve zvolené oblasti [60].....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 9-3 Vyznačená analyzovaná oblast [60].....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 9-4 Poměr zastoupení budov v analyzované oblasti</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 9-5 Porovnání zastavěné plochy dle kategorie</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 9-6 Porovnání zastavěné plochy, celkové plochy střech a využitelné plochy střech u budov s šikmou střechou.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 9-7 Porovnání celkové plochy šikmých střech a využitelné plochy šikmých střech.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 9-8 Porovnání zastavěné plochy, celkové plochy střech a využitelné plochy střech u budov s rovnou střechou.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 10-1 Instalovaný výkon na šikmých střechách dle její orientace.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 10-2 Poměr instalovaného výkonu na na budovách s rovnou střechou [kWp]</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 10-3 Poměr instalovaného výkonu fasádních instalací dle orientace [kWp]</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 10-4 Roční energetický zisk na šikmých střechách podle orientace a kategorie</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 10-5 Poměr ročního energetického zisku u budov s rovnou střechou [MWh]</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 10-6 Poměr ročního energetického zisku fasádních instalací [MWh]</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 10-7 Poměr celkového ročního energetického zisku podle kategorie (fotovoltaické moduly) [MWh].....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 10-8 Poměr celkového ročního energetického zisku podle kategorie (fotovoltaické moduly a tašky) [MWh]</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 10-9 Poměr celkového ročního energetického zisku podle kategorie PVGIS (fotovoltaické moduly) [MWh]</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 10-10 Poměr celkového ročního energetického zisku podle kategorie PVGIS (fotovoltaické moduly a tašky) [MWh].....</i>	<i>52</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 4-1 Činitel sklonu a orientace fotovoltaického modulu [24].</i>	33
<i>Tab. 4-2 Informativní hodnoty součinitele špičkového výkonu [24].</i>	34
<i>Tab. 4-3 Informativní hodnoty činitele výkonnosti systému [24].</i>	34

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Popis	Jednotka
A_{FV}	celková činná plocha všech fotovoltaických modulů	[m ²]
$E_{FV,měs}$	potenciální měsíční produkce elektrické energie	[Wh/měsíc]
$E_{FV,rok}$	potenciální roční produkce elektrické energie	[Wh/rok]
f_{perf}	činitel výkonnosti fotovoltaického systému	[-]
f_o	podíl z celkové plochy střechy pro daný azimut	[-]
f_t	činitel sklonu a orientace fotovoltaického modulu	[-]
f_v	činitel využitelnosti střechy pro daný azimut	[-]
G	sluneční ozáření pro stanovení poklesu účinnosti	[W/m ²]
G_{NOCT}	ozáření použité pro ustanovení <i>NOCT</i>	[W/m ²]
G_m	střední sluneční ozáření	[W/m ²]
G_{ref}	referenční sluneční ozáření 1 kW/m ²	[kW/m ²]
$H_{T,měs}$	měsíční dávka slunečního ozáření	[Wh/(m ² ·měsíc)]
$H_{T,rok}$	roční dávka slunečního ozáření dopadající na fotovoltaický systém	[Wh/(m ² ·rok)]
$H_{T,rok,hor}$	dávka celkového ročního slunečního ozáření na vodorovnou rovinu	[Wh/(m ² ·rok)]
k	součinitel pro daný modul	[-]
K_{pk}	součinitel špičkového výkonu závisící na druhu technologie fotovoltaického modulu	[W/m ²]
N_m	využitelný počet modulů pro daný azimut	[-]
<i>NOCT</i>	jmenovitá provozní teplota článku	[°C]
p	elektrické ztráty	[%]
P_p	špičkový výkon jednoho modulu	[W]
P_{pk}	špičkový výkon	[W]
S	faktor stínění	[-]
S_C	celková plocha	[m ²]
S_m	plocha jednoho fotovoltaického modulu	[m ²]
S_p	plocha půdorysu	[m ²]
S_S	zastíněná plocha	[m ²]
U	celkový součinitel tepelné ztráty z FV článku do okolí	[W/(m ² ·K)]
a	pohltivost fotovoltaického modulu	[%]
g	teplotní součinitel výkonu pro daný modul	[%/K]

Symbol	Popis	Jednotka
η_{FV}	účinnost fotovoltaických modulů	[%]
η_{ref}	referenční účinnost	[%]
J_0	teplota okolí	[°C]
$J_{0,s}$	střední denní teplota okolí v době slunečního svitu	[°C]
J_{FV}	teplota fotovoltaického článku	[°C]
J_{ref}	referenční teplota článku 25 °C	[°C]
r	odrazivost fotovoltaického článku	[%]

1 ÚVOD

V dnešní době nastává, téměř po devíti letech, druhý „fotovoltaický boom“. Týká se především fotovoltaických instalací na rodinných a panelových domech, výrobních halách nebo nákupních centrech, které slouží z velké části pro vlastní spotřebu dané budovy nebo komplexu. Tento rychlejší nárůst fotovoltaických instalací je zapříčiněn vytvořením dotačního programu *Nová zelená úsporám*, díky kterému je možné získat od státu až 50 % nákladů zpět, nejvýše však 350 000 Kč. Díky neustálému vývoji fotovoltaických modulů dochází ke snižování cen fotovoltaických modulů. [41]

Dalším ovlivňujícím faktorem nárůstu počtu malých střešních či fasádních fotovoltaických elektráren je, že na území České republiky není možné rozvíjet ve větší míře vodní a větrné elektrárny. Důvodem je geografický charakter krajiny. Tím pádem jsou fotovoltaické elektrárny perspektivním zdrojem obnovitelné energie do budoucna.

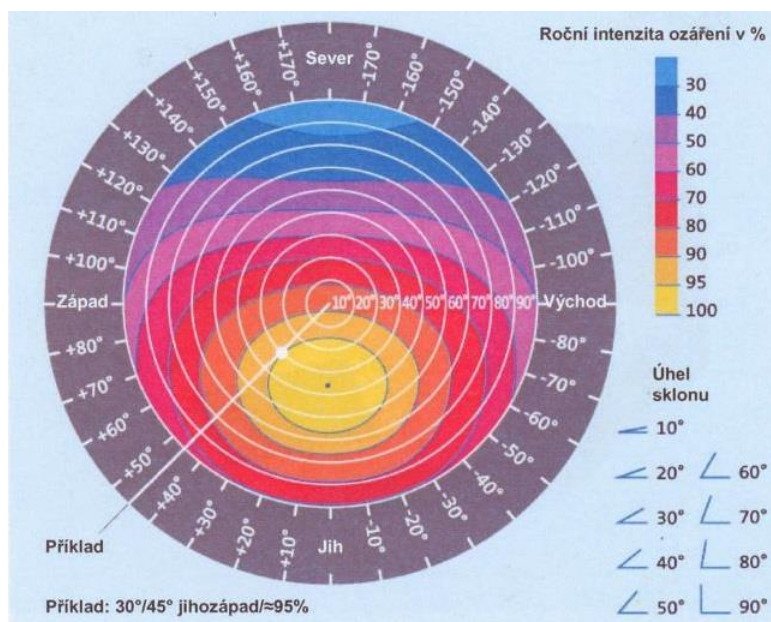
V této práci budou popsány různé způsoby instalací fotovoltaických elektráren na budovy. Základní rozdělení instalací je na aditivní a integrované, které se následně dělí podle umístění na budově na fasádní a střešní instalace. Rozebrány budou i základní pravidla nebo spíše doporučení pro efektivní využívání fotovoltaické elektrárny. Hlavním takovým pravidlem je úhel a směr natočení fotovoltaického panelu.

V další části práce budou rozebrány aspekty zastínění fotovoltaického článku. Velké nebezpečí pro fotovoltaické elektrárny na střeších i fasádách budov spočívá v bodovém zastínění modulu. Dochází k velkým ztrátám a rychlé degradaci fotovoltaického článku. Diagnostika zastínění je, bez drahých licencovaných zařízení, zdoluhavý a náročný proces. Diagnostika s licencovaným zařízením je o mnoho jednodušší, ale získání potřebných dat pro diagnostiku je stále časově a technicky náročné.

Praktická část práce se zabývá výpočtem energetického potenciálu budov v městské zástavbě. Přibližuje možné způsoby výpočtu. Některé metody čerpají pouze ze statistických dat a využívají jednoduchou typizaci budov, která je zatížena velkou chybou nebo využívají programy, které využívají přesná data, měřená pomocí letadel či dronů. V práci byla využita metoda po vzoru bakalářské práce [58]. Jedná se o časově nejnáročnější metodu, která se zabývá každou budovou zvlášť, proto je vhodná pouze pro menší zastavěné oblasti.

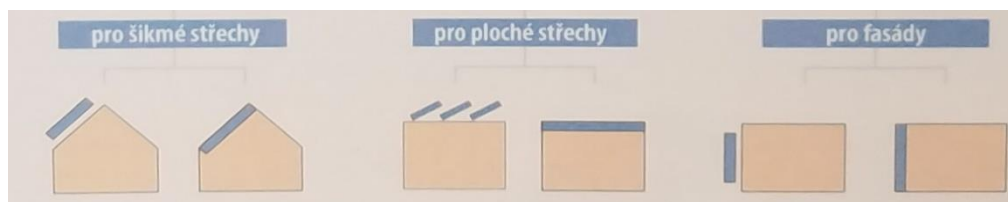
2 UMÍSTĚNÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ NA BUDOVÁCH

S určitou nadsázkou lze říci, že fotovoltaické panely můžeme umístit na každou budovu, nebo spíše na tu část budovy, která je vystavena přímému slunečnímu záření (šikmá střecha, plochá střecha, fasáda). Pro efektivní využití fotovoltaických panelů je zapotřebí směřovat aktivní plochu fotovoltaického modulu na jih, jihovýchod nebo jihozápad pod ideálním úhlem okolo 35° , pro statické systémy, v naší zeměpisné šířce. Ideální úhel fotovoltaického modulu se mění v závislosti na ročním období, tedy polohou země na oběžné dráze.



Obr. 2-1 Přibližné rozdělení dopadu slunečního záření na úhlu a směru natočení [4]

Aditivní systém, jak už název napovídá, spočívá v přidání fotovoltaických modulů na budovu pomocí kovových konstrukcí. Jediná funkce tohoto systému je přeměna slunečního záření na elektrickou energii. „Integrované systémy tvoří části střech nebo fasád pomocí fotovoltaických stavebních prvků.“ [2] Integrovaný systém se stává součástí vnější vrstvy budovy a jsou na něj, kromě přeměny slunečního záření na elektrickou energii, kladeny další funkční požadavky (tepelná a zvuková izolace, bezpečnost, ochrana před vnějšími vlivy). [2]



Obr. 2-2 Možné umístění fotovoltaických elektráren na budovách [2]

2.1 Fasádní systémy

Fasáda je vnější vrstva budovy, tvořící její vzhled. Dalo by se tedy říci, že fasáda je tvář budovy. Velká pozornost je kladena na vizuální přednes fasády a její celkové sladění se stylem budovy. Fasáda nám dokáže reflektovat styl a do jisté míry i technický stav budovy. [2]

Fasáda není na budovách jen kvůli estetickému vzhledu, ale primárně by měla chránit samotnou budovu, nebo jen interiér, pokud se jedná o teplou fasádu, před vnějšími vlivy (například vlhkost, hluk, sluneční záření, vítr a tak dále). Dále musí splňovat požárně bezpečnostní a statické podmínky. [2]

Konstrukčně lze fasády rozdělit na jednoplášťové a dvouplášťové. U dvouplášťové fasády se vytvoří mezera (průduch) mezi fasádou a nosnou konstrukcí (stěnou). Tato vzduchová mezera slouží k vyrovnání tepla a lepšímu útlumu hluku. Pokud je systém odvětrávaný tzn., že vzduchová mezera slouží k odvodu vlhkosti a vodní páry, jedná se o studenou fasádu. Neodvětrávané a jednoplášťové fasády se nazývají teplé. [2]

Fotovoltaické fasády jsou oproti střešním systémům, co se týče jejich svislého umístění na stěnu, v nevýhodě. Panely, které jsou namontované svisle, vykazují ztráty okolo 25 %. Také je zde velký problém se zastíněním fotovoltaického modulu ostatními budovami nebo okolní vegetací. Také při východu a západu je velká pravděpodobnost zastínění. Největší problémy se zastíněním mají moduly v nejnižším bodě fotovoltaické fasády. [1]

2.1.1 Aditivní fasádní systémy

Nejlépe se dají aditivní systémy využít u již zrealizovaných staveb, například velké průmyslové haly, panelové domy, obchodní centra. Instalace aditivního systému na budovu je snazší než instalace systému integrovaného. Je tomu tak, protože u instalace aditivního systému nejsou kladeny veliké nároky na tvar a rozměry modulů. Před přidáním fotovoltaiky na fasádu je však nutné zvážit možné narušení statiky stěny, na kterou bude systém montován. [2]

Připojení nosné konstrukce fotovoltaického systému k nosné stěně je provedeno pomocí ukotvovacích prvků. Nejvyžívanější ukotvením je hmoždinkové ukotvení: do nosné stěny se vyvrtají díry, do kterých se vkládají hmoždinky. Do nich se poté šroubují upevňovací prvky pro kotvu (v některých případech se upevňovací prvky stávají kotvou).[42]



Obr. 2-3 Kotva uchycená k nosné stěně [32]

Na kotvu se instalují nosné profily, které jsou převážně z hliníku či oceli. Provedení nosných profilů může být realizované mnoha způsoby například jako kolejnice, T profil nebo jako U profil.

Upevnění fotovoltaických modulů na nosné profily je bodové a lineární. Bodově se upevňují pomocí svorek, háků nebo šroubů v předem určených bodech. Pro bodové upevnění se využívají rámové fotovoltaické moduly.



Obr. 2-4 Aditivní fasádní instalace [26]

U lineárního upevnění se orámuje horní a spodní hrana modulu upínací kolejnicí. Kolejnice mohou být spojeny profily nebo zasazeny přímo do kotvy. Profily se následně upevňují na nosnou konstrukci.

2.1.2 Integrované fasádní systémy

Při instalaci integrovaných fotovoltaických fasádních prvků, podléhají stejným stavebním kritériím jako obyčejné fasádní prvky. U studených fasád slouží pouze jako vnější obložení, zato u teplých fasád tvoří celý plášť. U nových staveb je možnost využití designových panelů. [2]

Teplé fasádní systémy jsou tvořeny převážně transparentními moduly z izolačního skla, které propouští světlo do místnosti. V případě, kdy systém tvoří pouze malou část plochy, se k upevnění využívá zasklívací lišta zapuštěná do stěny. Pro takovéto případy je nutné vyvrtat díry pro kabeláž. U větších instalací, kdy může systém tvořit celou stěnu, se vytváří místo nosné stěny nosná konstrukce tvořená sloupky a příčkami. Do vytvořených otvorů se vkládají fotovoltaické fasádní prvky, které se upevňují převážně tlakovými lištami. Venkovní profily vytvářejí lineární tlak na fasádní prvky a spodní konstrukci, čímž zajišťují dostatečnou těsnost systému.

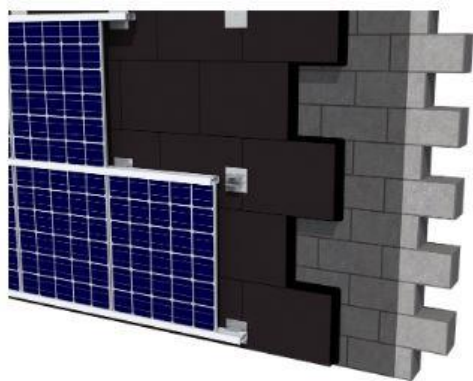


Obr. 2-5 Teplá integrovaná fasáda propouštějící světlo [27]



Obr. 2-6 Tlaková lišta pro teplé fasádní instalace [28]

Studené integrované fasádní systémy se instalují podobně jako aditivní fasádní systémy. Uchycení systému k nosné stěně probíhá pomocí kotvy. Upevnění fotovoltaických fasádních prvků je lineární nebo bodové. Oba uvedené případy upevnění jsou podobné jako u aditivních fasádních systémů, s rozdílem v izolačních a těsnících vlastnostech. Mezery a spáry se vyplňují silikonem. [2]



Obr. 2-7 Průřez studenou integrovanou fasádou s lineárním uchycením [29]



Obr. 2-8 Studená integrovaná fasáda s bodovým uchycením [30]

2.2 Střešní systémy

Střecha ukončuje stavbu shora a chrání budovu proti vlivům vnějšího prostředí. Skládá se z nosné konstrukce a střešní krytiny. Střechy se dělí podle úhlu zkosení na ploché (do 5°), šikmé (od 5° do 45°) a velmi šikmé (nad 45°). Hlavními funkcí střechy je tedy ochrana před vlivy vnějšího prostředí, odvod vody a tepelná izolace. [2]

S příchodem nových technologií může střecha nabývat další funkce, například pro přeměnu sluneční energie na tepelnou nebo elektrickou energii. Přidané technologie na střešní konstrukci musí být stabilní ve všech bodech konstrukce i jako samostatné části. Musí odolat zatížení větrem, námrazou i sněhem. Je potřeba navrhnout takový systém, aby neohrozil stabilitu nosné konstrukce a aby nedocházelo k poškození střešní krytiny. [2]

Veškeré fotovoltaické konstrukce se musí dimenzovat podle nosnosti dané střešní konstrukce.

2.2.1 Aditivní střešní systémy

Aditivní systémy rozdělujeme pro šikmé střechy a pro ploché střechy. Ploché střechy mají výhodu ve volném nasměrování fotovoltaických modulů, kdežto u šikmých střech je orientace i úhel sklonu předem dány střešní konstrukcí. [2]

2.2.1.1 Šikmé střechy

Fotovoltaické moduly se na střechy připevňují pomocí kovových konstrukcí nad střešní krytinu. Funkce modulů je pouze generátorická, tudíž nepřebírají žádnou funkci střechy. Nosná konstrukce modulů se skládá ze střešního upevnění, nosné kolejnice a upevnění modulu. Střešní upevnění prochází skrz střešní krytinu a ukotvuje celý systém na krokve nebo latě. Na střešní upevnění se přichytí nosné kolejnice, na které se následně uchytlí fotovoltaickými moduly. [2]

Střešní upevnění se může realizovat různým způsobem, záleží na použité střešní krytině. U taškových střech lze využít střešní háky, které se napevno připevňují do krokví. Je důležité, aby se střešní hák nedotýkal střešní tašky pod sebou, která by při zatížení mohla prasknout a nebyla by zajištěna správná funkce střechy. Rameno háku leží v prohlubni spodní tašky, a do horní tašky se ze spodní strany vybrousí drážka, díky které taška správně zapadne zpět do konstrukce. [2][36]

Druhý způsob využívá háky zavěšené do latí. Háky se nepřipevňují, ale pouze zavěšují. Při tomto typu upevnění se háky dotýkají spodní tašky, ale jelikož je možnost využití většího počtu háků, tlaková síla se rozloží na větší množství tašek a nepůsobí destruktivně. [2][36]



Obr. 2-9 Střešní hák do latí [33]



Obr. 2-10 Střešní hák na krokve [34]

Třetím způsobem je využití speciálních upevňovacích tašek, které jsou uzpůsobeny vždy pro jednu konkrétní krytinu. Vyrábí se tašky s uchycením do latí, ale také do krokví. Výhodou je, že nedochází ke zničení tašek vlivem přetížení. [2]



Obr. 2-11 Kovová upevňovací taška [7]



Obr. 2-12 Plastová usazovací taška [8]

Pro plechové střechy se využívají svorky. Pokud je nosnost samotné střešní krytiny dostatečná, je dovoleno upevnit fotovoltaické moduly pouze ke střešní krytině. „Odpovídající drážkové svorky pro profily se stojatou nebo kulatou drážkou se vsadí na plechovou drážku a pevně spojí.“ [2] Výhodou tohoto způsobu je, že nedochází k poškození střešní krytiny. [2]

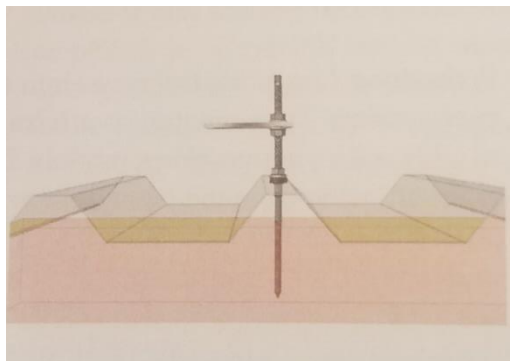


Obr. 2-13 Svorka pro trapézový plech [35]



Obr. 2-14 Svorka pro plech s kulatou drážkou [9]

Při nedostatečné nosnosti krytiny se použijí závěsné šrouby, ty se využívají i u eternitových střech. Krytina se provrtá v místě, kde je krokve pro přichycení závěsného šroubu. Spodní matkou se přitáhne samotná krytina, další matky slouží k nastavení vzdálenosti nosné kolejnice od střešní krytiny. Je velmi důležité, aby u tohoto typu montáže docházelo k utěsnění vyvrtaných otvorů. [2]



Obr. 2-15 Závěsný šroub [2]

Nosné kolejnice jsou vyrobeny převážně z hliníku, aby byla konstrukce co možná nejlehčí a nezatěžovala střešní konstrukci. Navíc je tu i cenová výhoda tohoto materiálu. Typů nosných kolejnic je spousta např.: svorkové systémy, bezšroubové systémy, zacvakávací systémy. Orientace kolejnic na střeše může být horizontální nebo vertikální. Nejrozšířenější je horizontální orientace. Vzájemná vzdálenost kolejnic se odvíjí podle fotovoltaického modulu a jeho způsobu připevnění. Při nerovnostech střechy se mohou využít dva kolejnicové systémy uloženy na sebe a vzájemně posunuty o 90°. Tímto způsobem je možno lépe kompenzovat nerovnosti střechy, nicméně celý systém je dražší a těžší. [2][36]



Obr. 2-16 Kolejnicové systémy [20]

Nejběžnější ukotvení fotovoltaických modulů je bodové. Upevnění bývá ve čtyřech bodech a může být šroubové nebo svorkové. Další způsob je lineární upevnění. Moduly se upevňují průběžně pomocí tlakové lišty. Výhodou je jednoduchá instalace: moduly vkládají do profilů mezi kolejnice a nemusí se již upevňovat a srovnávat jednotlivě. U bezšroubových systémů se využívá závěsný systém, kdy na zadní straně modulu je upevněna přichytka. Moduly se zavěšují do kolejnicového systému, kde drží pomocí vlastní váhy. [2]

2.2.1.2 Ploché střechy

Veliká výhoda plochých střech tkví ve volbě natočení modulů. Moduly můžeme na střechu upevnit pomocí závaží nebo ukotvením do nosné konstrukce. Moduly se usazují na speciální šikmé či vodorovné konstrukce.

První způsob je volné umístění se závažím. Výhodou je, že nedochází k poškození střechy úchyty (kotvami). Nevýhodou je velká hmotnost závaží, která se odvíjí od velikosti instalované plochy a typu konstrukce. Volný systém není pevně ukotven do nosné konstrukce nebo pevně spojen se střešní krytinou. [2] [37]



Obr. 2-17 Plastové vany zatíženy pískem [19]



Obr. 2-18 Plastové vany zatíženy betonovými deskami [18]

Zátěž tvoří převážně beton nebo štěrk. Beton lze využít jako základní desku vytvořenou z panelů. Na tuto desku se poté připevní nosné profily s kolejnicovým systémem v námi zvoleném úhlu. Obdobně se dají využít i betonové kvádry i bez využití kolejnicového systému. Obráceným způsobem lze využít betonové desky, které se vkládají do nosných rámců montážního podstavce. Pro využití štěrku jako kotvícího závaží, se využívají speciální kovové nebo plastové vany či nosné rámy s přidaným dnem. [2][36]



Obr. 2-19 Fotovoltaické moduly zatíženy betonovými kvádry [17]



Obr. 2-20 Nosná konstrukce ukotvena k nosné konstrukci [16]

Ukotvení do nosné konstrukce se využívá, pokud střecha není schopna pojmout závaží ze statických důvodů. Pro uchycení se musí vyvrtat otvory k nosné konstrukci na, kterou se připevní úchytné body konstrukce. Vyvrtané otvory se musí správně utěsnit, aby nedocházelo k průsakům a k poškození nosné konstrukce. Na úchytné body se připevňuje nosná konstrukce fotovoltaických modulů. [2] [36]

2.2.2 Integrované systémy

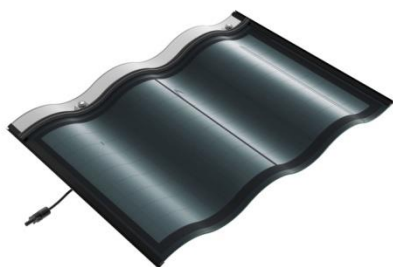
Integrované systémy jsou ukládány v jedné rovině se střešní krytinou. Výhodou je nižší váha systému, estetický vzhled a u novostaveb i cena, jelikož není potřeba běžná krytina pro celou plochu střechy. Integrovaný systém přebírá funkce střechy, musí tedy chránit budovu před vnějšími vlivy a být vodotěsný. Integrovaný střešní systém může být vytvořen pomocí běžných modulů nebo fotovoltaických střešních prvků. [2]

Integrovaný systém tvořený běžnými moduly se samonosnými rámy není primárně vodotěsný. Izolovat veškeré spáry je velmi náročné, a navíc není zaručena 100% účinnost. Proto se pod moduly přidává ochranná odvodňovací vrstva. Nosný systém fotovoltaických modulů je stejný jako u aditivních systémů. [2]

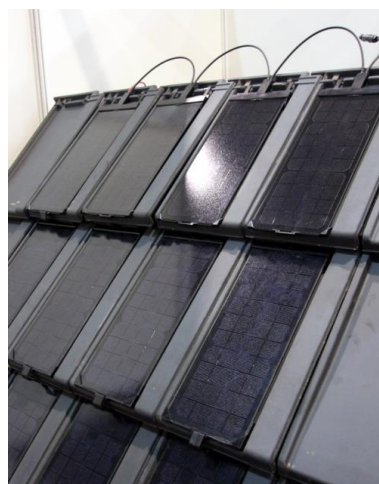


Obr. 2-21 Integrovaná fotovoltaická elektrárna s přidanou spodní izolací [15]

Střešní fotovoltaické prvky neboli fotovoltaické tašky jsou speciální fotovoltaické moduly vytvořené ve vzoru střešních tašek. Na rozdíl od fotovoltaických panelů nejsou zdaleka tak nápadné a nevyžadují speciální nosnou konstrukci ani speciální uchycení. Většinou se jedná o tenkovrstvé solární moduly. [38]



Obr. 2-22 Fotovoltaická taška [14]



Obr. 2-23 Fotovoltaická taška společnosti RUUKKI [13]

2.3 Agrovoltaika

V dnešní době, kdy stále roste poptávka po „čisté“ elektrické energii a nelze z jakýchkoliv důvodů zvyšovat počet větrných elektráren a vodních elektráren nebo zabírat půdu pouze pro fotovoltaické elektrárny, je agrovoltaika možnou vizí do budoucna. Společnosti jako Nex2sun nebo Fraunhofer ISE se zaměřují na vytvoření systémů pro pole a louky, na kterých se může nadále hospodařit. Systémy se dají využít na každém nezastíněném místě. Nevýhodou je nutnost oplocení pozemku s fotovoltaickou elektrárnou. Naopak výhodou je zpomalení eroze půdy, jelikož moduly částečně stíní a tvoří větrolamy. [5]

První způsob využití fotovoltaických modulů je koncept Next2sun: umístění oboustranných modulů směrem na východ a západ. Podle zdroje [3] má jižně orientovaná fotovoltaická elektrárna výkon 1 megawatt na hektar, zatímco východě-západní systém má výkon 0,35 MW/ha. Výhodou je, že koncept Next2sun dodává nejvíce energie ráno a večer, kdy je cena na trhu vyšší. [3]

Fotovoltaické moduly jsou připevněny na stojanech a tvoří řady napříč hospodářskou půdou, přičemž vzdálenosti sousedních řad se pohybují okolo 12-15 metrů, aby mezi nimi mohla projet zemědělská technika. Výška stojanů je závislá na výšce pěstované plodiny, která by neměla zastíňovat moduly. Půda pod moduly zůstává neobdělávána, tvoří tak oddělující pruh s biodiverzním charakterem. Nespornou výhodou je zabránění méně jak 1% půdy.[5]



Obr. 2-24 Pole se systémem od společnosti Next2sun [12]

Druhý koncept je Fraunhofer ISE. Nosná konstrukce je podobná jako na plochých střechách, pouze s tím rozdílem že musí být vyvýšena minimálně na 5 metrů, aby pod ní mohla projet zemědělská technika. Moduly jsou směřované na jih pod vhodným úhlem. Jelikož fotovoltaický systém vytváří pod sebou mikroklima výhodnější pro růst pouze určitých plodin. Plodiny mají také chladivý efekt na moduly a zvyšují jejich efektivitu. Systém také zabraňuje většímu odparu vody a snižuje erozi půdy. [6]

Další možností, která nepřímo spadá pod termín agrovoltaika, jsou nezastřešená parkoviště, kde je možné dvojitě využít plochy. [31]



Obr. 2-25 Louka se systémem od společnosti Fraunhofer ISE [11]



Obr. 2-26 Pole se systémem od společnosti Fraunhofer ISE [10]

2.4 Fotovoltaické parkoviště

Při hledání dalších využitelných ploch pro fotovoltaické systémy ve městské zástavbě bylo automatické se zaměřit na větší plochy parkovišť, například před obchodními komplexy či panelovými domy. Naše městské prostředí není příliš nakloněno tomuto druhu instalací, jelikož na většině parkovišť či volných plochách jsou vysázeny stromy které slouží k ochlazení během horkých letních dnů a zabraňují většímu využití fotovoltaických instalací, jelikož by docházelo k velkému zastínění a znečištění.

Fotovoltaická parkoviště není žádná novinka na trhu, tyto systémy se využívají více jak 25 let, převážně v zámoří, kde jsou velká obchodní centra s rozsáhlými parkovacími plochami lokalizovanými na okrajích měst nebo u školních parkovišť, které bývají také velká. [61]

Výhoda fotovoltaického zastřešení parkovacích ploch je podobná jako u integrovaných teplých systémů budov. Fotovoltaické moduly tvoří samotnou krycí plochu, to přináší ekonomické výhody. Další výhodou je v jednoduché instalaci, jelikož práce neprobíhají na střeších budov či lešení při instalaci na fasádách a nejsou zde překážky jako komíny, antény nebo dnes už i klimatizace a zároveň se z minimalizují rizika spjatá s výškovými pracemi. Vytvořená elektrická energie a nízké plynoucí výhody jsou zde spíše bonus, jelikož se zdá výhodnější samotný fakt zastínění a ochrany proti vlivům prostředí působící na zaparkovaná vozidla. [61][62][63]



Obr. 2-27 Zastřešené parkovací stání Eco Park [51]

Existuje mnoho různých konceptů pro tvorbu fotovoltaického parkoviště. V roce 2012 začala firma H2Eco vyrábět samostatné kryté parkování Eco Park. Jeho střešku tvoří devět zabudovaných fotovoltaických modulů s instalovaným výkonem 1,8 kW. V samotném produktu je zabudováno i napájecí zařízení pro dobíjení elektromobilu. Dalším příkladem může být fotovoltaické parkoviště vysoké školy Stonehill College v Massachusetts. S přibližnou plochou 17 000 m² obsahuje 775 parkovacích míst a instalovaný výkon je 2,8 MWp. Oproti Eco Park tvoří vždy souvislou střešní plochu nad čtyřmi řadami současně. Další možností je vybudování tzv. fotovoltaických stromů. Příkladem může být parkoviště firmy Dell v Texasu nebo UCSD Hopkins Parking v San Diegu.

V Texasu je rozmístěno po parkovišti 11 solárních stromů s instalovaným výkonem 110,6 kWp. V San Diegu je jich vybudováno 28 na střeše parkovacího domu s instalovaným výkonem 197 kW. Nevýhodou solárních stromů může být rozdělenost systému, a tedy nevyužití celkového potenciálu plochy s čímž souvisí i nižší ochrana vozidel, v mezerách, před vlivy prostředí. Výhodou je menší potřeba styčných ploch se zemí a také možnost lepšího vizuálního zakomponování do okolí. [50][51][52][53]



Obr. 2-28 Fotovoltaické parkoviště vysoké školy Stonehill College [52]



Obr. 2-29 Fotovoltaické parkoviště společnosti Dell v Texasu [53]

3 ZASTÍNĚNÍ

Výkon fotovoltaických modulů je velmi citlivý na zastínění, proto se mu vždy snažíme předejít. Ne vždy je to však možné, například oblačnosti nebo znečištění se zabránit nedá, ale obecně vzato se snažíme eliminovat každý stín, který by mohl dopadat na fotovoltaické moduly. Snažíme se vyhnout i zdánlivě malému zastínění (hromosvody, antény), jelikož i takové zastínění má na funkci celého modulu velký vliv.

3.1 Zastínění vlivem znečištění

Časté zastínění bývá zapříčiněno znečištěním fotovoltaického modulu. Takové znečištění je dočasné a může být způsobeno ptáčím trusem, listím, prachem, pylem či sněhem, záleží pouze na lokalitě fotovoltaické elektrárny. Míra znečištění je přímo úměrná úhlu sklonu a lokalitě modulů. Od úhlu sklonu 12° funguje samočisticí efekt: čím větší úhel sklonu, tím rychleji voda stéká a samočisticí efekt je efektivnější. [2][39]

Také konstrukce modulu má vliv na samočištění. U modulů s rámem se mohou usazovat na spodní hraně rámu nečistoty. V krajním případě se zde může objevit i mech. Jelikož se pro větší využití plochy modulu vytváří mezi rámem a fotovoltaickým článkem jen malá mezera, má takové znečištění vysoký vliv na kvalitu a životnost nejen daného fotovoltaického článku, ale celého fotovoltaického modulu. [2]

Pokud není zajištěno samočištění vlivem malého sklonu nebo nedostatkem srážek, je nezbytné fotovoltaické moduly čistit. Mělo by se zabránit otírání či zametání modulů, jelikož by mohlo dojít k poškrábání vrchní vrstvy. Moduly se čistí pouze vodou.

Znečištění sněhem nemá na celkové ztráty velký vliv, jelikož v zimních měsících je jen velmi málo slunečních hodin.

„Na normálním stanovišti při dostatečném sklonu lze vycházet z toho, že ztráty znečištěním činí 2 až 5%.“ [2] Podle zdroje [39] však může klesnout výkon modulu až o 12%.

3.2 Zastínění vlivem stanoviště

Zastínění vlivem stanoviště je zapříčiněné okolím fotovoltaické elektrárny. V urbanistických oblastech to jsou převážně výškové budovy, sousední stavba, komín či antény. U takového typu zastínění je důležitá vzdálenost stínícího objektu, tudíž čímž blíže se stínící objekt nachází, tím je stín intenzivnější a ztráty modulu větší. Pokud by zastínění bylo dlouhodobé, byť jen částečné, je vhodné uvážit posunutí takového modulu mimo dosah stínu. [2]

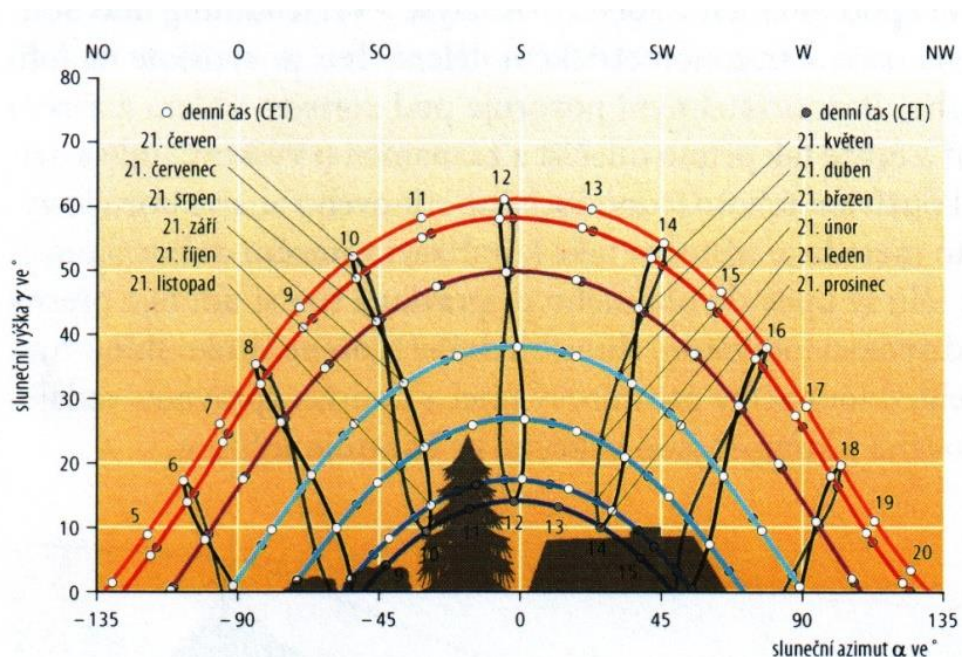
Zastínění stromy bývá častěji mimo město. Je však nutné brát na vědomí růst stromů, aby nedošlo k zastínění v průběhu několika let.

Vlastní zastínění bývá často u modulů, jež jsou instalovány do řad například na plochých střechách nebo u naváděcích systémů. [2]

3.3 Analýza zastínění

Analýza zastínění se provádí pouze pro zastínění vlivem stanoviště. U menších fotovoltaických elektráren se pro analýzu bere jako výchozí bod její střed. Analýzu lze provést pomocí stínového analyzátoru (kamera a software) nebo pomocí ručního odečítání či polohového plánu a grafu dráhy Slunce.

Každá metoda využívá k analýze zastínění grafy dráhy Slunce po obloze. Jelikož se zeměkoule otáčí vůči slunci pod úhlem, průběh sluneční dráhy po obloze je silně závislý na zeměpisné šířce a přesném datu, neboli na aktuální poloze Země na oběžné dráze kolem Slunce.



Obr. 3-1 Graf sluneční dráhy (Berlín) s obrisy stínů [2]

V grafu dráhy Slunce se vynášejí nejčastěji sedm křivek, které reprezentují všech dvanáct měsíců. Krajní křivky vyznačují dráhu Slunce při zimním a letním slunovratu. Ostatní křivky vyznačují pohyb slunce během ostatních měsíců.

Graf dráhy Slunce můžeme využít v kombinaci s indikátorem sluneční dráhy (ruční odečítání), kompasu a vodováhy. Tento způsob se využívá na místě instalace systému. Výhodou je jeho jednoduchost, snadná manipulace a nízká finanční nákladnost. Nevýhoda je v nižší přesnosti analýzy.



Obr. 3-2 Indikátor sluneční dráhy [21]

Při určování zastínění pomocí polohovacího plánu a grafem dráhy Slunce musí být známy rozměry a vzdálenosti stínících objektů od analyzovaného bodu, ze kterých se vypočítá azimut a výškový úhel stínícího objektu.

Způsob, kdy je nafocen horizont a složen do panoramatické fotografie, je vytvořen modifikací polohového plánu. Na vytvořenou fotografii se přiloží graf dráhy Slunce ve správném měřítku, následně lze odečíst dobu zastínění pro určitý den či určité časové rozmezí.

Stínový analyzátor funguje obdobně jako předchozí způsob. Kamera snímající okolí je připevněna na speciální stojan, který ji drží neustále ve vodorovné poloze. Příslušný software dále rozpozná horizontální linii. Poté dochází k analýze stínících objektů a k vyhodnocení zastínění. Vypočítávají se ztráty ozáření a z nich vyplývající ztráty výnosu. Vyhodnocení probíhá vždy pro jeden bod, proto je třeba u větších systémů vytvořit jakousi stínovou linii z více měřených bodů. [40]



Obr. 3-3 Stínový analyzátor Suneye [23]

3.4 Vliv zastínění na funkci fotovoltaického modulu

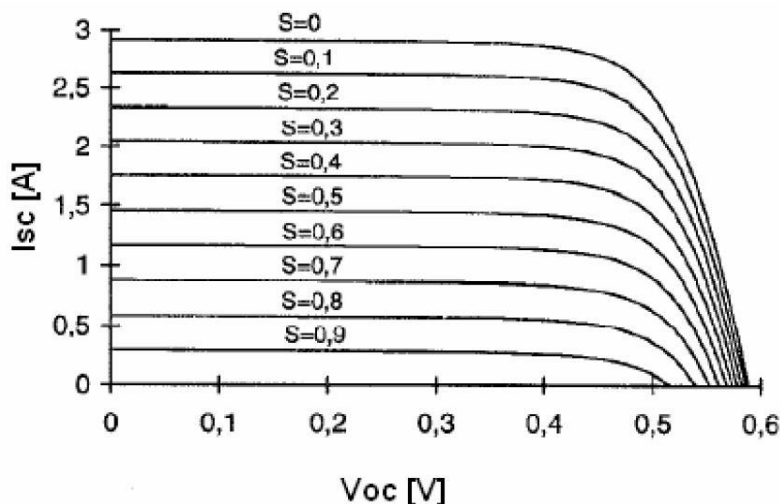
Při zastínění článku nebo jeho části dochází k rozdílnému slunečnímu ozáření. Tím se mění jeho výstupní charakteristika. Rozdílné ozáření článku má za následek změnu napětí naprázdno, proudu nakrátko, faktoru plnění a účinnosti. [25]

Zavádí se faktor stínění, který slouží při teoretických výpočtech.

$$S = \frac{S_s}{S_c} \quad (3.1)$$

Kde: S faktor stínění [-]
 S_s zastíněná plocha [m²]
 S_c celková plocha [m²].

Na Obr. 3-4 je znázorněna závislost ampér-voltové charakteristiky na faktoru stínění při teplotě 27°C a intenzitě záření 1000 W/m². [25]



Obr. 3-4 Ampér-voltová charakteristika fotovoltaického článku při rozdílném zastínění [25]

U zastínění jednoho nebo více článků dochází k jevu, při kterém se zastíněný článek přestává chovat jako zdroj proudu, ale stává se spotřebičem napájeným ostatními nezastíněnými články. V takovýchto případech dochází k nadměrnému zahřívání článku, jelikož se akumuluje vysoký ztrátový výkon na jeho malé ploše. Nadměrné zahřívání článku může způsobit poškození nebo dokonce zničení celého modulu.

Pro minimalizování těchto problémů se do řetězců antiparalelně připojují přemostňovací diody. Přidáním takové diody do řetězců dochází k vyřazení zastíněné části z obvodu. Diody mají na výslednou celkovou účinnost pouze mírný vliv, a to z důvodu zkratových proudů v závěrném směru. Při konstantním ozáření by měl být ztrátový proud nejmenší. Veškerému zastínění by se mělo zabránit nebo ho co nejvíce minimalizovat. V případě takového zastínění je vhodné uvažovat o způsobu umístění modulu (vodorovně, svisle). Z toho důvodu je důležité znát průběh zastínění a způsob zapojení modulu (vzájemného propojení článků mezi sebou a přemostňovacími diodami). Rozdíly umístění mohou být vysoké. Při vhodném umístění může nastat i při větším zastínění odpojení například jedné třetiny modulu, kdežto při nevhodném umístění může nastat při malém zastínění odpojení celého modulu. [25]

4 VÝPOČET PRODUKCE ELEKTRICKÉ ENERGIE STATICKÝCH FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ

Výpočet produkce fotovoltaického systému můžeme rozdělit do několika skupin podle velikosti časového období, například roční, měsíční, hodinová. Nejvyužívanější metoda je měsíční bilanční metoda, která umožňuje zahrnout vliv teploty, slunečního ozáření a technické parametry fotovoltaického modulu.

Simulační modely se pro výpočet efektivnosti systému v praxi využívají jen zřídka. Norma ČSN EN 15316-4-3 pracuje pouze se špičkovým výkonem, ale již nezahrnuje provozní vlivy pro použité fotovoltaické moduly. Proto byla, za účelem lepšího odhadu produkce elektrické energie, vytvořena zjednodušená bilanční metoda zahrnující i provozní vlivy daného fotovoltaického článku. [22] [24]

Výpočtové postupy neuvažují akumulaci elektrické energie do bateriových systémů.

4.1 Postup podle zjednodušené bilanční metody

Jelikož se, při výpočtu celkové produkce fotovoltaického systému v normě ČSN EN 15316 4-3 neuvažují parametry daného fotovoltaického modulu, vznikla pro tyto účely zjednodušená bilanční metoda. Pro využití této metody je důležité, aby výrobci modulů uvedli potřebné parametry k výpočtu (referenční účinnost modulu η_{ref} [%], špičkový výkon modulu P_{PK} [W], účinná plocha A_{FV} [m²], teplotní výkonový součinitel g [%/K], jmenovitá provozní teplota článku $NOCT$ [°C], pokles účinnosti s poklesem ozáření modulu $D\eta_G$ [%]).[22]

Účinnost fotovoltaického modulu je závislá na střední teplotě fotovoltaického článku J_{FV} [°C] a také na velikosti slunečního ozáření fotovoltaického modulu. Závislost na teplotě fotovoltaického článku je lineární a s rostoucí teplotou účinnost klesá. S klesající velikostí slunečního ozáření se účinnost snižuje přibližně logaritmicky. [22]

$$\eta_{FV} = \eta_{ref} \cdot \left[1 + \frac{\gamma}{100} \cdot (J_{FV} - J_{ref}) \right] \cdot \left[1 + k \cdot \ln \left(\frac{G}{G_{ref}} \right) \right] \quad (4.1)$$

Kde:	J_{ref}	referenční teplota článku [°C]
	J_{FV}	teplota fotovoltaického článku [°C]
	g	teplotní součinitel výkonu pro daný modul [%/K]
	k	součinitel pro daný modul [-]
	G	sluneční ozáření pro stanovení poklesu účinnosti [W/m ²]
	G_{ref}	referenční ozáření 1 kW/m ²
	η_{FV}	účinnost fotovoltaických modulů [%]
	η_{ref}	referenční účinnost [%].

Součinitel tepelných ztrát U [W/(m²·K)] zahrnuje vliv přestupu tepla sáláním, konvekcí a přestup tepla mezi vrstvami modulu. Pro zjednodušení výpočtu uvažujeme, že součinitel tepelných ztrát zůstává konstantní, abychom mohli určit střední teplotu fotovoltaického článku.

Součinitel tepelných ztrát se určuje pomocí jmenovité provozní teploty článku $NOCT$ [°C], která je stanovena při teplotě okolí 20 °C a celkové ozáření modulu je 800 W/m². Nejběžnější

hodnota jmenovité provozní teploty je okolo 45 °C. Jmenovitá provozní teplota článku se obecně pohybuje v rozmezí 33 °C až 58 °C v závislosti na použité technologii článku. [22]

$$U = \frac{\alpha \cdot G_{NOCT}}{NOCT - \vartheta_0} = \frac{(1 - \rho) \cdot G_{NOCT}}{NOCT - \vartheta_0} \quad (4.2)$$

- Kde: α pohltivost fotovoltaického modulu [%]
 G_{NOCT} ozáření použité pro ustanovení $NOCT$ [W/m^2]
 $NOCT$ jmenovitá provozní teplota článku [°C]
 J_0 teplota okolí [°C]
 r odrazivost fotovoltaického článku [%]
 U celkový součinitel tepelné ztráty z FV článku do okolí [$W/(m^2 \cdot K)$].

Při výpočtu střední teploty fotovoltaického článku se využívá účinnosti fotovoltaického modulu. Jelikož bychom měli tak v rovnici dvě neznámé, lze místo účinnosti fotovoltaického modulu dosadit referenční účinnost. Tato změna vytváří odchylku výsledku v řádech setin až desetin stupňů K . [22]

$$\vartheta_{FV} = \vartheta_{0,s} + \frac{(1 - \rho) \cdot G_m - \frac{\eta_{FV} \cdot G_m}{100}}{U} = \frac{(1 - \rho) \cdot G_m - \frac{\eta_{ref} \cdot G_m}{100}}{U} \quad (4.3)$$

- Kde: G_m střední sluneční ozáření [W/m^2]
 $J_{0,s}$ střední denní teplota okolí v době slunečního svitu [°C].

Součinitel k , se vypočítává pomocí parametrizační hodnoty poklesu účinnosti s poklesem ozáření $\Delta\eta_G$. Ta se povětšinou udává jako pokles účinnosti z hodnoty ozáření 1000 W/m^2 na 200 W/m^2 . Hodnota $\Delta\eta_G$ je záporná. [22]

$$k = \frac{\Delta\eta_G}{\ln \frac{G}{G_{ref}}} \quad (4.4)$$

Celková potenciální měsíční produkce elektrické energie fotovoltaického systému se stanovuje za pomoci průměrných měsíčních klimatických podmínek a předpokládaných elektrických ztrát.

$$E_{FV,m\acute{e}s} = 0,9 \cdot \frac{P_{pk}}{G_{ref}} \cdot H_{T,m\acute{e}s} \cdot \frac{\eta_{FV}}{\eta_{ref}} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right) = 0,9 \cdot \frac{\eta_{FV}}{100} \cdot H_{T,m\acute{e}s} \cdot A_{FV} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right) \quad (4.5)$$

- Kde: $H_{T,m\acute{e}s}$ měsíční dávka slunečního ozáření [$Wh/(m^2 \cdot m\acute{e}s\acute{ı}c)$]
 P_{pk} špičkový výkon [W]
 A_{FV} celková činná plocha všech fotovoltaických modulů [m^2]
 G_{ref} referenční sluneční ozáření 1 kW/m^2
 p elektrické ztráty [%]
 η_{FV} účinnost fotovoltaických modulů [%]
 η_{ref} referenční účinnost [%].

„Elektrické ztráty rozvodu v budově je možné zjednodušeně uvažovat následovně: ztráty na DC vedení 2 %, ztráty na měniči a sledovači výkonového maxima okolo 5 % a ztráty na AC vedení cca 1 %. Optické ztráty vlivem nekolmého úhlu dopadu slunečního záření během roku na FV moduly jsou v rovnici zohledněny konstantou 0,9.“ [22]

4.2 Postup dle normy ČSN 15316-4-3

Uvedené informace vycházejí z [22] [24].

Dodaná roční elektrická energie $E_{FV,rok}$ [kWh/rok] je stanovena vzorcem:

$$E_{FV,rok} = \frac{H_{T,rok} \cdot P_{pk} \cdot f_{perf}}{G_{ref}} \quad (4.6)$$

kde: $H_{T,rok}$ roční dávka slunečního ozáření dopadající na fotovoltaický systém [Wh/(m²·rok)]

P_{pk} špičkový výkon [W]

f_{perf} činitel výkonnosti fotovoltaického systému [-]

G_{ref} referenční sluneční ozáření rovné 1 kW/m².

Roční dávka slunečního ozáření se stanoví pomocí vzorce:

$$H_{T,rok} = H_{T,rok,hor} \cdot f_t \quad (4.7)$$

kde: $H_{T,rok,hor}$ dávka celkového ročního slunečního ozáření na vodorovnou rovinu [kWh/(m² rok)]

f_t činitel sklonu a orientace fotovoltaického modulu [-].

Hodnota celkové dávky slunečního ozáření na vodorovnou rovinu pro zeměpisnou šířku ČR je v normě stanovena na $H_{T,rok,hor} = 1050 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. Činitel sklonu a orientace pro zeměpisnou šířku ČR je znázorněn v Tab. 4-1.

Tab. 4-1 Činitel sklonu a orientace fotovoltaického modulu [24].

Úhel sklonu\orientace	Z	JZ	J	JV	V
0°	1	1	1	1	1
30°	0,94	1,06	1,11	1,06	0,94
45°	0,88	1,03	1,08	1,03	0,88
60°	0,8	0,96	1,01	0,96	0,88
90°	0,61	0,72	0,74	0,72	0,61

Špičkový výkon fotovoltaických modulů je výkon dosažený za normovaných zkušebních podmínek (referenční teplota článku 25 °C, záření v rovině $G_{ref} = 1 \text{ kW}/\text{m}^2$, referenční sluneční spektrum $AM = 1,5$). Pokud hodnota špičkového výkonu není dostupná, lze ji vypočítat podle vztahu:

$$P_{pk} = K_{pk} \cdot A_{FV} \quad (4.7)$$

kde: K_{pk} součinitel špičkového výkonu závisící na druhu technologie fotovoltaického modulu [W/m^2] (informativní hodnoty jsou v *Tab. 4-2*)

A_{FV} celková činná plocha všech fotovoltaických modulů [m^2].

Tab. 4-2 Informativní hodnoty součinitele špičkového výkonu [24].

Druh technologie fotovoltaického modulu	K_{pk} [kW/m^2]
Monokrystalický křemík ^{a)}	0,12 až 0,18
Multikrystalický křemík ^{a)}	0,1 až 0,16
Tenkvrstvý amorfni křemík	0,04 až 0,08
Ostatní tenkvrstvé	0,035
Tenkvrstvý CIGS (měď-indium-galium-diselenid)	0,105
Tenkvrstvý CdTe (kadmium-telurid)	0,095
a – minimální faktor zaplnění je 80 %	

Činitel výkonnosti systému f_{perf} zohledňuje výkonnost fotovoltaické instalace integrované do budovy v závislosti na:

- soustavě přeměny ze stejnosměrného proudu na střídavý proud
- skutečné provozní teplotě fotovoltaických modulů
- integraci fotovoltaických modulů do budovy (*Tab. 4-3*).

Rozlišení mezi různými druhy integrace do budovy je provedeno podle způsobu větrání fotovoltaických modulů.

Tab. 4-3 Informativní hodnoty činitele výkonnosti systému [24].

Způsob větrání modulů	f_{perf} [-]
Nevětrané moduly	0,70
Mírně větrané moduly	0,75
Silně větrané moduly nebo nuceně větrané moduly	0,80

5 DOSAVADNÍ PROJEKTY NA PODOBNÉ TÉMA

Prací, které jsou zaměřeny na výpočet potenciálu elektrické energie v urbanistických oblastech (jedná se zejména o střechy, méně již o fasády, či jiné vhodné plochy pro instalaci fotovoltaických modulů) je mnoho, tím pádem je i spousta různých způsobů, jak se k výsledným hodnotám dopracovat. Některé jsou méně či více přesné nebo časově a technicky náročné.

Velké množství projektů pracuje s geoprostorovými daty, tedy s 3-D modelem zkoumané oblasti. Tato data jsou velmi ojedinělá a velmi těžko se získávají, jelikož většinou nejsou veřejně přístupná. Skenování okolí je finančně a technicky náročné, probíhá pomocí skeneru připevněného k letadlu nebo dronu. S těmito daty se dále pracuje v GIS (Geografic informatic systém) programech, kterých je více s různými vlastnostmi a funkcemi. Některé programy nejsou licencované, není potřeba za ně platit vysoké částky. Nevýhodou většiny programů je, možnost počítání pouze potenciálu pro střešní plochy. Pokud tedy chceme zahrnovat i možné fasádní instalace je zapotřebí je ručně analyzovat a vypočítat, nebo zakoupit licencovaný program, který touto funkcí disponuje. [64] [65]

Dalším způsobem je ruční analýza s jednotlivým výpočtem všech vhodných ploch. Tuto metodu zvolil ve své práci Martin Štefek. Využití metody je nevhodné pro větší územní celky, jelikož je nutné všechna data zaznamenat jednotlivě a následně vše samostatně vypočítat. Je však velmi jednoduchá a není zapotřebí zvláště výkonná výpočetní technika. Nevýhodou je výrazná časová náročnost. [58]

Jedna z nejznámějších internetových, volně dostupných, kalkulaček je PVGIS. Projekt Evropské unie, který byl vyvinut v JRC (Joint Reseach Center), nabízí výpočet potenciálu elektrické energie a záznamy velikosti dopadajícího slunečního záření od roku 2005 do roku 2016, pro Evropu, Afriku a části Asie, Severní a Jižní Ameriky. Pro výpočet využívá Googlemap, databázi změřených hodnot dopadajícího záření a uživatelem zadané hodnoty např. sklon a azimut fotovoltaického modulu. [66]

Přesnost každé metody je dána, do jaké hloubky se zabývá veškerými možnými vlivy, jako třeba zastínění, znečištění, úhel sklonu, azimut, teplota článků a okolí či množství dopadajícího slunečního záření.

6 ZPŮSOB VÝPOČTU A JEHO APLIKACE

Pro získání hodnoty energetického potenciálu bylo zapotřebí vytvořit či upravit výpočetní metodiku. Jako hlavní způsob výpočtu jsem vybral ruční metodu podle vzoru Martina Štefka [58]. Jeden z hlavních důvodů zvolení této metody je nedostatečná technická vybavenost. Pro vyhotovení kvalitního výstupu je zapotřebí množství vstupních dat ve formě 3-D map, které jsou k dispozici, nikoli však ve vhodné kvalitě, aby mohlo dojít ke zpracování. Dále je zapotřebí zpracovat velký objem dat, proto je zapotřebí výkonná výpočetní technika. Podle zdroje [66] trval samotný výpočet bez nutných příprav podkladů devět dní, na pěti samostatných počítačích pro sedmkrát větší oblast. Z těchto důvodů byla tato metoda zavrhnuta.

Jak již bylo zmíněno, byla vybrána ruční metoda. Samotný výpočet vychází z normy ČSN 15316-4-3. Důvodem je jednoduchost výpočtu a také nízké množství vkládaných parametrů, které jsou veřejně dostupné.

Jelikož se nejedná o již vytvořené instalace, není tak znám počet využitých fotovoltaických modulů. Proto je potřeba určit špičkový výkon instalace z celkové využitelné plochy objektu. K tomu, abychom zjistili celkovou využitelnou plochu šikmé střechy, potřebujeme znát půdorysnou plochu objektu, kterou lze získat z katastrálních map, kde je k nahlédnutí číslo parcely, její plocha i zastavěná plocha. Abychom dostali reálnou plochu střechy je zapotřebí znát její sklon. Většina rodinných domů má sklon střechy v rozmezí od 40° do 60°, proto bylo použito zjednodušení určující jediný sklon střech a to 45°. Při tomto sklonu je plocha střechy větší téměř o 30% oproti půdorysu k tomu je ještě nutno připočítat přesahy střechy, které mohou tvořit průměrně kolem 5% půdorysné plochy. Plocha střechy je tedy průměrně větší o 35% oproti zastavěné ploše. Pro každou střechu se jednotlivě určoval činitel využití plochy střechy, tak aby co nejvíce odpovídal skutečnosti. Velikost činitele záleží na proporcích a rozmístění překážek na střechách jako jsou komíny či vikýře. [67]

U rovných střech není potřeba počítat plochu střechy, jelikož se rovná zastavěné ploše. U většiny střech bylo třeba stanovit činitel využití plochy z důvodu různých překážek které brání možné instalaci systému. Šířka mezi jednotlivými řadami byla vypočtena na 60 cm při úhlu podpěrné konstrukce 30° a instalaci modulů naležato. Jedna řada je tedy široká 150 cm. Při předpokladu, že jsou v modulech umístěny přemostovací diody po sloupcích je možné zachovat tuto minimální vzdálenost i za cenu zastínění spodních sloupců, kdy Slunce není dostatečně vysoko. Po zjištění šířky řady bylo možné určit poměr mezi využitelnou plochou střechy a celkovou využitelnou plochou modulů, který byl stanoven na 0,6. Veškeré instalace jsou směřovány na jih.

Data pro analýzu fasád byla získána pomocí funkce panorama na stránkách mapy.cz [60]. Většina panelových domů nemohla být využita, jelikož má k jihu směřovaná fasády s okny a balkony. Tyto fasády nebyly uvažované jako vhodné pro instalaci přídatných fasádních systémů. Jako vhodné byly určeny fasády, které mají větší souvislou plochu bez narušení prvky, jakými jsou již zmíněná okna či balkony. U budov byla určena výška a využitelná šířka pomocí mapových podkladů. Dále byl určen činitel využití plochy podléhající místním podmínkám, především rozsahu vegetace.

Vhodné parkovací plochy byly vybírány podle místních podmínek a její velikosti. Většina parkovišť je zcela zastíněna okolními budovami a vegetací. Vybrány byly především velké parkovací plochy u panelových domů s minimálním počtem nebo bez stromů nebo velkých

obchodů. Vybráno bylo také menší množství jednořadých stání na okraji vozovky. Úhel sklonu instalace byl zvolen 15°

Roční dávka slunečního ozáření byla stanovena podle solární mapy ze zdroje [56] na hodnotu $1\ 100\ \text{kWh/m}^2\ \text{rok}$.



Obr. 6-1 Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [57]

Činitel výkonnosti je plně převzat z normy ČSN 15316-4-3. Hodnoty činitele sklonu a orientace fotovoltaického modulu téměř kopírují normu, ale je zde vytvořena úprava, která určuje maximální hodnotu rovnou 1 pro sklon 35° a orientaci na jih.

$$E = \frac{N_m \cdot H_{T,rok,hor} \cdot P_p \cdot f_{perf} \cdot f_t}{G_{ref}} \quad (6.1)$$

kde: $E_{FV,rok}$	potenciální roční produkce elektrické energie [kWh]
$H_{T,rok,hor}$	roční dávka slunečního ozáření dopadající na fotovoltaický systém [kWh/(m ² ·rok)]
P_{pk}	špičkový výkon jednoho modulu [kW]
f_{perf}	činitel výkonnosti fotovoltaického systému [-]
N_m	využitelný počet modulů pro daný azimut [-]
f_t	činitel sklonu a orientace fotovoltaického modulu [-]
G_{ref}	referenční sluneční ozáření rovné $1\ \text{kWh/m}^2$.

7 POUŽITÉ FOTOVOLTAICKÉ PANELE A TAŠKY

Pro dokončení analýzy vybrané oblasti bylo nutné vybrat fotovoltaický modul a fotovoltaickou tašku, které by mohly být potenciálně využity k realizaci fotovoltaické instalace. Mezi hlavní nahlížené parametry byly cena, účinnost, výkon na metr čtvereční a rozměry.

7.1 Fotovoltaický panel Sharp NU-AC 310

Vybraný fotovoltaický modul je monokrystalický Sharp NU-AC 310. Společnost Sharp je Japonská nadnárodní korporace zabývající se dlouhodobě solární energií. Maximální výkon modulu je 310 Wp (Wp/m^2). Účinnost přeměny energie se pohybuje okolo 18,9 %. Hodnoty výkonu a účinnosti jsou uváděny při standardních testovacích podmínkách tedy při ozáření v rozmezí od 1000 W/m^2 do 200 W/m^2 a teplotě článků 25 C° . Rozměry modulu jsou $1650 \times 992 \times 35 \text{ mm}$ a váží 18,5 kg. Modul v sobě obsahuje 60 článků. Na stránkách výrobce není uvedena cena tohoto modulu, ale v zahraničí se pohybuje v přepočtu okolo 3800 Kč za kus. [48]



Obr. 7-1 Monokrystalický fotovoltaický modul [55]

7.2 Fotovoltaická taška QUAD 40

Fotovoltaické tašky si začínají na fotovoltaickém trhu budovat silnou pozici. Jednou z jejich předností oproti fotovoltaickým modulům je jejich vzhled, kompaktnost a možnost většího využití plochy střechy. Další výhodou je jejich možné využití v památkových zónách, kde by nebylo možné použít normální fotovoltaické moduly, jako například v Táboře. [54]

Vybrané fotovoltaické tašky QUAD 40 nabízí firma T-Power. Tašky mohou být monokrystalické nebo polykrystalické. Špičkový výkon na jednu tašku je 44,37 Wp (177,8 Wp/m²) a účinnost 19,8 %. Rozměry jedné tašky jsou 540 x 540 x 4 mm. a váží 3,3 kg. Výhodou této fotovoltaické tašky je její variabilní použití i na fasádní instalace. [49]



Obr. 7-2 Fotovoltaická taška QUAD 40 [49]

8 OVĚŘENÍ VÝPOČETNÍ METODY

Abychom mohli výsledky této práce brát jako relevantní, musí být provedeno ověření výpočetní metody, nejlépe na měřených fotovoltaických instalacích. Pro ověření výpočetní metody byly vybrány budovy se stejným typem fotovoltaické instalace, tedy fasádní a střešní (rovná a šikmá), u kterých jsou dostupná data o výrobě elektrické energie. Jako ověření metodiky pro fotovoltaická parkoviště lze považovat kapitolu 8.2 Ověření pro šikmé střechy.

8.1 Ověření metodiky pro rovné střechy

Pro ověření výpočtu u rovných střech byla vybrána instalace na budově John Dalton tower block, který je součástí Manchester Metropolitan University. Instalace je rozdělena na tři části, ale pro ověření využijeme pouze dvě největší. Obě instalace mají stejnou polohu vůči Slunci, která je 30° směrem na jihovýchod a mají stejný úhel sklonu 10°. Obě instalace jsou tvořeny fotovoltaickými moduly Sharp NU-180 (E1). Špičkový výkon modulu je $P_{pk} = 180 \text{ Wp}$ a jeho rozměry jsou 1318x994x46 mm (výška x šířka x hloubka). Měření instalací probíhalo v rozmezí od září 2009 do května 2011. Výsledky měření byly dostupné pouze v grafické podobě bez exaktních číselných výsledků. Došlo tedy k odhadu při určování roční produkce obou instalací. Abychom mohli stanovit potenciální elektrickou energii, musíme stanovit roční dávku slunečního ozáření $H_{T,rok,hor}$. Podle zdroje [47] je v oblasti Manchesteru $H_{T,rok,hor} = 900 \text{ kWh/m}^2$. [45][46]

První část instalace je tvořena 160 fotovoltaickými moduly. Její instalovaný výkon je tedy 28,8 kWp. Podle zdroje [45] je odhadnuto množství vyrobené potenciální elektrické energie na 17 250 kWh/rok. Roční produkce elektrické energie první části instalace byla odhadnuta z Obr. 8-1 na 19 600 kWh. [45]

Druhá část je tvořena celkem 150 fotovoltaickými moduly, které jsou rozděleny do dvou podlaží. První část, kterou tvoří 78 modulů je umístěna v šestém patře, druhá část je v patře čtvrtém a je tvořena 72 moduly. Její instalovaný výkon je 27 kWp. Odhad ze zdroje [45] udává množství vyrobené potenciální elektrické energie na 16 063 kWh/rok. Roční produkce elektrické energie druhé části instalace byla odhadnuta z Obr. 8-1 na 16 300 kWh. [45]

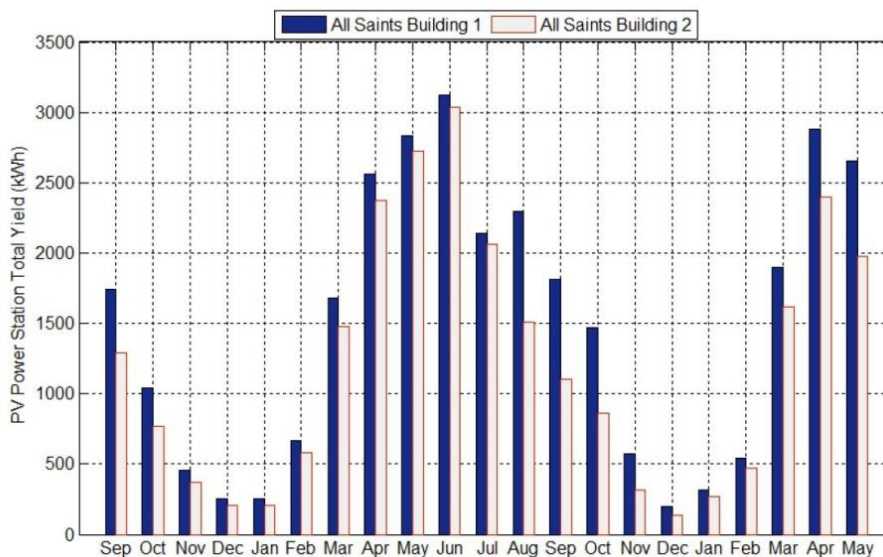
Podle metodiky využívané v této práci je hodnota potenciální elektrické energie první části instalace $E_{FV1} = 17\,236 \text{ kWh/rok}$ a druhé části instalace $E_{FV2} = 16\,159 \text{ kWh/rok}$.

Jelikož známe celkový počet instalovaných modulů, není potřeba stanovit využitelnou plochu. Rovnice pro výpočet výroby potenciální elektrické energie je 8.1 a 8.2.

$$E_{FV1,rok} = \frac{H_{T,rok,hor} \cdot P_{pk} \cdot f_{perf} \cdot f_t}{G_{ref}} \quad (8.1)$$

$$E_{FV1,rok} = \frac{900 \cdot 28,8 \cdot 0,70 \cdot 0,95}{1} = 17\,236 \text{ kWh/rok} \quad (8.2)$$

Při porovnání bylo zjištěno, že rozdíl u první části instalace mezi vypočtenou a změřenou hodnotou je 13,7 % a u druhé části instalace přibližně 0,009 %. Při porovnání s potenciální vyrobenou energií je rozdíl minimální.



Obr. 8-1 Graf měsíční produkce fotovoltaické instalace v období od září 2009 do května 2011 [45]



Obr. 8-2 Část fotovoltaické instalace na střeše budovy John Dalton tower block v Manchesteru [45]

8.2 Ověření metodiky pro šikmé střechy

Fotovoltaická elektrárna, která bude sloužit, jako ověření pro výpočet u šikmých střech se nachází ve Střelicích, směrem na jih od Brna. “Systém je tvořen 39 fotovoltaickými panely umístěnými na hliníkových profilech. Sklon střechy je 40° a je orientována na jih s azimutem 182° . Celkem je instalováno 30 monokrystalických fotovoltaických panelů Vitovolt 200 SC2 (Viessman) o výkonu $5,1 \text{ kWp}$ (FVE 2) a 9 monokrystalických panelů SPV-180 Wp (Schüco) o výkonu $1,6 \text{ kWp}$ (FVE 1).“ [44]

Ve zdroji [44] byla určena potenciální elektrická energie fotovoltaické instalace FVE 1 na $1\,490 \text{ kWh/rok}$ a u FVE 2 na $4\,749 \text{ kWh/rok}$.

Podle měření ze zdroje [44] vyrobila fotovoltaická elektrárna za měřené období celkem $6\,988 \text{ kWh}$. FVE 1 vyrobila $2\,324 \text{ kWh}$ a FVE 2 vyrobila $4\,664 \text{ kWh}$.

Dosazením známých hodnot do výpočetní metody bylo zjištěno, že energetický potenciál FVE 1 je 1 320 kWh/rok a FVE 2 je 4 207 kWh/rok. Jelikož, se jedná o stejnou oblast, jakou řeší tato práce, zůstává roční dávka slunečního ozáření $H_{T, rok, hor}$ stejná.

$$E_{FV1,rok} = \frac{H_{T,rok,hor} \cdot P_{pk} \cdot f_{perf} \cdot f_t}{G_{ref}} \quad (8.3)$$

$$E_{FV1,rok} = \frac{1100 \cdot 1,6 \cdot 0,75 \cdot 1}{1} = 1\,320 \text{ kWh/rok} \quad (8.4)$$



Obr. 8-3 Fotovoltaická instalace ve Střelicích [44]

Vypočtený energetický potenciál se lišil přibližně o 9% oproti výsledkům ze zdroje [44]. Změřené hodnoty převyšují zhruba o 21% vypočtené hodnoty. Hlavní část této chyby tvoří FVE 1 která je podhodnocená o více než 50%. Tato chyba by mohla být způsobena nevhodným zvolením činitele výkonnosti fotovoltaického systému f_{perf} nebo tím, že dané fotovoltaické panely mohou dodávat větší výkon, než je udáváno. Dále je také nutné říct, že měřené období nezahrnuje všech 12 měsíců v roce, ale pouze 10 a to v období od ledna do října v roce 2009. Tím pádem by měl být rozdíl mezi výpočtem a měřením větší.

8.3 Ověření metodiky pro fasády

Pro ověření výpočtu fasádní instalace byla vybrána instalace na budově "B" Stavební fakulty ČVUT v Praze. Instalace se skládá ze 176 fotovoltaických modulů o celkovém instalovaném výkonu 18,656 kWp. Moduly jsou orientovány na jihozápad. Systém se dělí na tři fasádní sestavy a je rozdělen do dvou částí po okrajích budovy. Obě části mají 22 řad a tvoří celkem 8 sloupců z nichž 5 tvoří první část a 3 sloupce část druhou. [43]

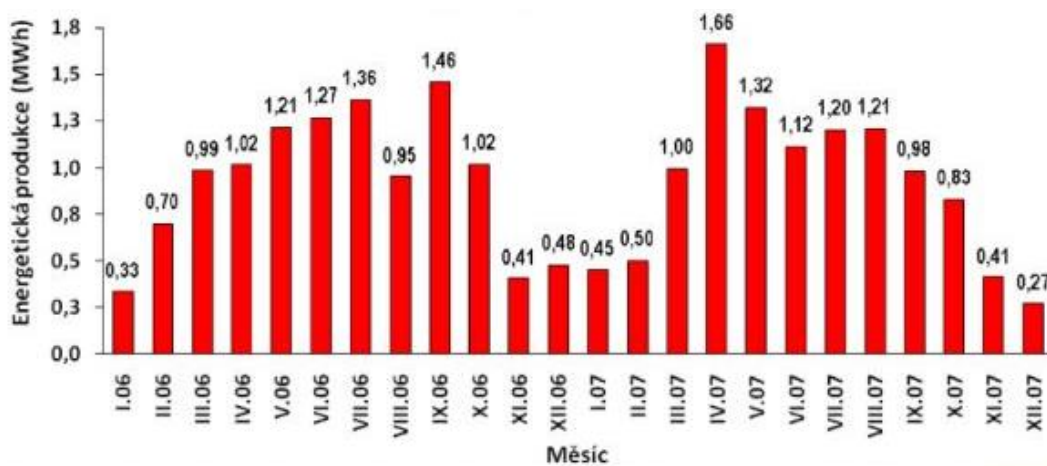
Ve zdroji [42] je uvedeno měření z období od 1. 1. 2006 do 31. 12. 2007, které udává celkovou produkci systému na 11 200 kWh za rok 2006 a 10 950 kWh za rok 2007.

Jelikož se instalace nenachází v okolí Brna, došlo ke korekci roční dávky slunečního ozáření $H_{T, rok, hor}$ na 1 000 kWh/m². Po dosazení do rovnice jsme dospěli k energetickému potenciálu $E_{FV} = 10\,447$ kWh/rok.

Výpočet podhodnotil fasádní instalaci zhruba o 7% v roce 2006 a v roce 2007 o 4,5%.

$$E_{FV1,rok} = \frac{H_{T,rok,hor} \cdot P_{pk} \cdot f_{perf} \cdot f_t}{G_{ref}} \quad (8.5)$$

$$E_{FV1,rok} = \frac{1000 \cdot 18,656 \cdot 0,8 \cdot 0,7}{1} = 10\,447 \text{ kWh/rok} \quad (8.6)$$



Obr. 8-4 Graf měsíční produkce fotovoltaické instalace v období od ledna 2006 do prosince 2007 [42]



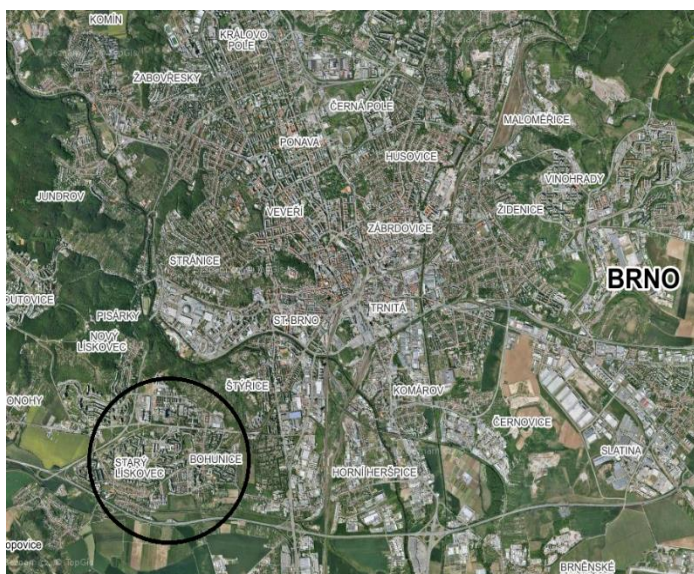
Obr. 8-5 Fotovoltaická instalace na budově Fakulty stavební ČVUT v Praze [42]

9 INFORMACE O ANALYZOVANÉ OBLASTI

Zvolená oblast se nachází na jihozápadě Brna a zasahuje do dvou městských částí. Převážná část se nachází v městské části Brno-Bohunice a druhá část v městské části Brno-Starý Lískovec. Na *Obr. 9-3* je vyznačena analyzovaná oblast a znázorněno rozdělení městských částí. Kritéria pro výběr oblasti byla, aby oblast byla součástí města a tvořila ji odpovídající zástavba nebo možnost využití fasádních instalací.

Ve zvolené oblasti, znázorněné na *Obr. 9-3*, se nachází celkem 266 budov. Budovy jsou rozděleny do čtyř kategorií. Nejvíce jsou zastoupeny rodinné domy, kterých se v oblasti nachází celkem 90. Druhou nejrozšířenější skupinou jsou panelové domy s celkovým počtem 89 budov. Další skupiny jsou garáže, kterých je 60 a jiné druhy budov s počtem 26. Pro výpočet fotovoltaického potenciálu bylo dále přidáno 22 parcel pro analýzu fotovoltaických parkovacích ploch.

V oblasti byly pozorovány, za využití mapových podkladů, 3 fotovoltaické instalace na budovách s rovnými střechami. První se nachází na budově č.p. 320 a je tvořena dvěma moduly s orientací na jih. Druhá instalace se nachází na střeše panelového domu č.p. 286. Instalaci tvoří 55 modulů ve skupinách po pěti s orientací na jih. Třetí instalace je vybudována na střeše obchodního domu s č.p. 654. Tvoří ji 105 modulů rozdělených do tří řad s dvěma moduly nad sebou směrem na jih. Všechny zmíněné instalace jsou vytvořeny pomocí přídatných konstrukcí k dosažení optimálního sklonu.



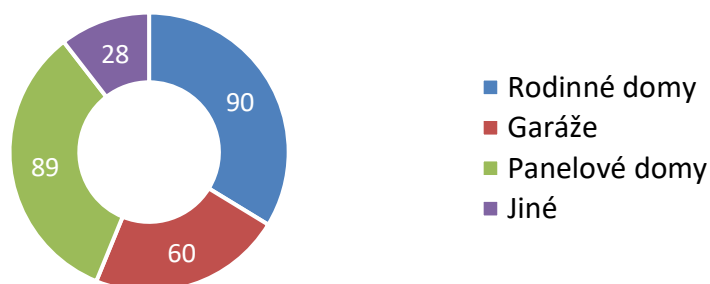
Obr. 9-1 Umístění analyzované oblasti v rámci Brna [60]



Obr. 9-2 Ukázka typové zástavby ve zvolené oblasti [60]



Obr. 9-3 Vyznačená analyzovaná oblast [60]



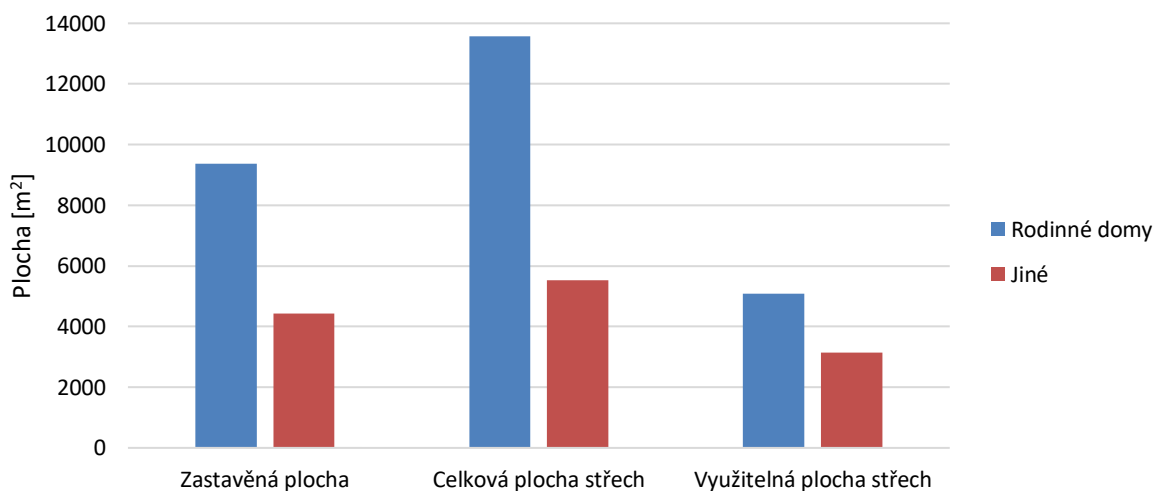
Obr. 9-4 Poměr zastoupení budov v analyzované oblasti

Obr. 9-5 znázorňuje rozložení zastavěné plochy v oblasti podle kategorií. Celková zastavěná plocha budov je 59 086 m² a parkovacích ploch 25 207 m². Dominantní zastoupení v zastavěné ploše budov mají panelové domy s plochou 26 301 m² i přesto, že jejich počet je téměř totožný s rodinnými domy tak jejich plocha je 9 741 m². Velikost zastavěné plochy garáží je s plochou 1 377 m² oproti ostatním téměř zanedbatelná. Množství využitelné fotovoltaické parkovací plochy téměř odpovídá ploše jiných budov s plochou 23 137 m².

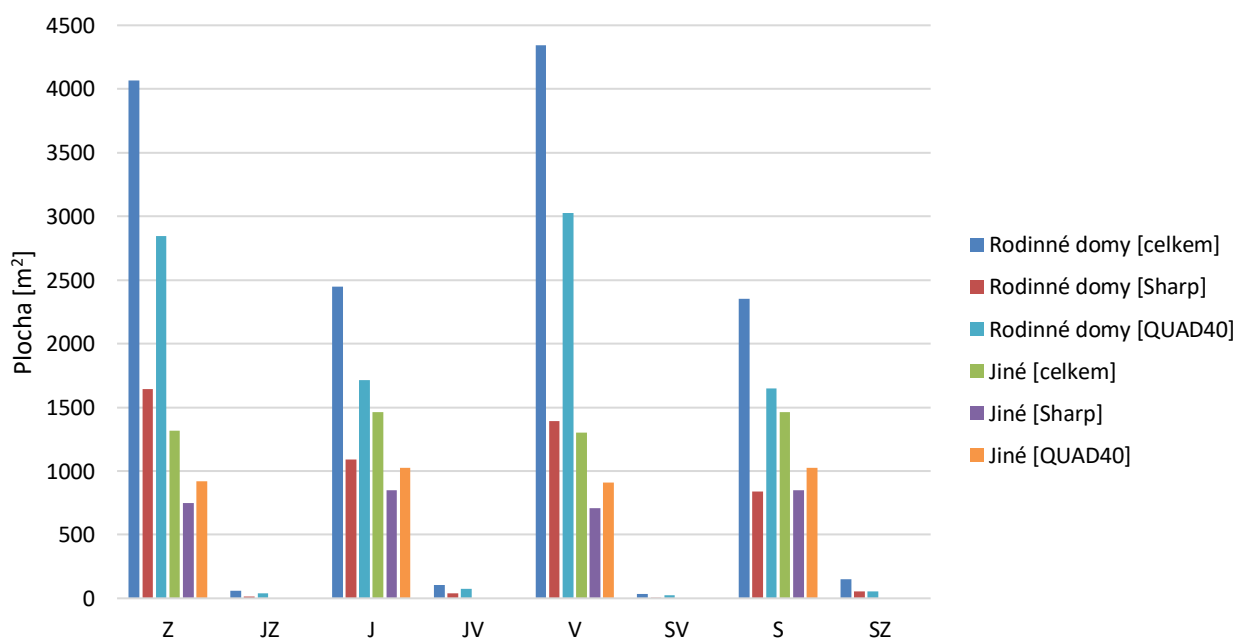


Obr. 9-5 Porovnání zastavěné plochy dle kategorie

V oblasti se nachází celkem 91 budov s šikmou střechou, z toho je 86 rodinných domů a zbytek tvoří jiné budovy. Celková zastavěná plocha budov s šikmými střechami je 13 808 m². Celková vypočtená plocha šikmých střech je 19 606 m². Využitelná plocha střech, která byla stanovena subjektivním odhadem autora práce pro každou budovu zvlášť, je 8 530 m². Jak vyplývá z Obr. 9-6, je využitelnost střech, při použití fotovoltaických modulů, u rodinných domů okolo 35 % a jiných budov téměř 60 %. Činitel využití šikmých střech se v průměru pohybuje u obou kategorií okolo 35 %. Jelikož činitel využití šikmých střech byl při využití fotovoltaických tašek stanoven na 70 %, došlo k výraznému nárůstu využitelné plochy, především u orientace na východ. Podle Obr. 9-7 je patrné, že u rodinných domů převládá orientace střech na západ a východ, u jiných budov je rozložení rovnoměrné. Plocha střech při orientaci na jihovýchod, jihozápad, severovýchod a severozápad je zanedbatelná.

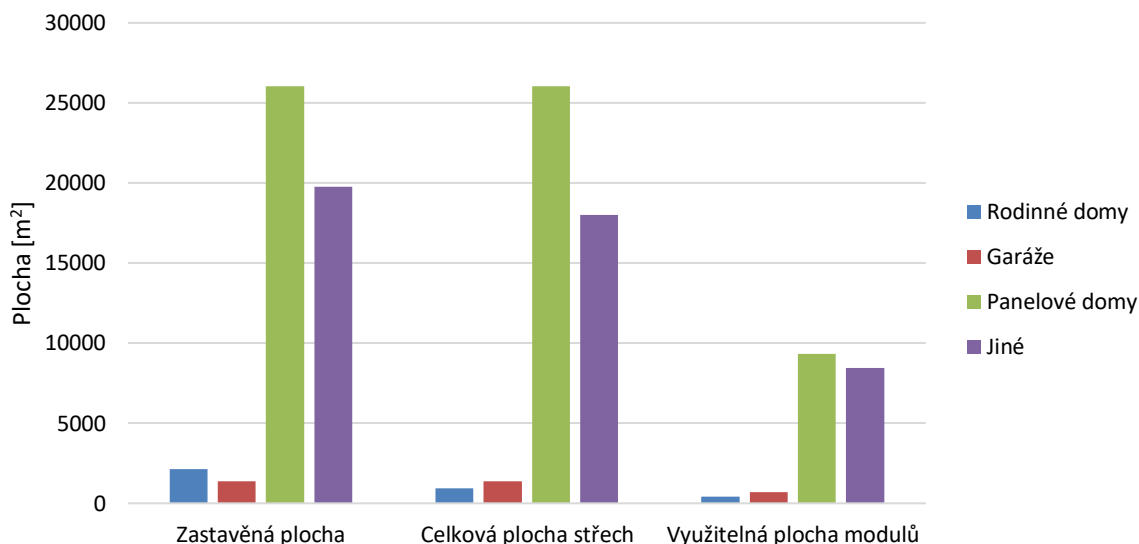


Obr. 9-6 Porovnání zastavěné plochy, celkové plochy střech a využitelné plochy střech u budov s šikmou střechou



Obr. 9-7 Porovnání celkové plochy šikmých střech a využitelné plochy šikmých střech

Rovné střechy zahrnují všechny panelové domy, garáže, 16 rodinných domů a 24 jiných budov s částečnou či celou rovnou střechou. Celková plocha rovných střech rodinných domů je 925 m² a jiných budov 18 007 m². Zbylé dvě kategorie mají totožnou plochu střech s jejich zastavěnou plochou. Průměrný činitel využití rovných střech se pohybuje okolo 40 %, jelikož se na střechách mohou vyskytnout překážky ve formě klimatizací, vstupů do budovy či okrajových zdí a také, jelikož je potřeba využití konstrukcí k dosažení vhodného úhlu sklonu, musí být mezi řadami modulů dostatečná mezera, aby nedocházelo k nadměrnému zastínění. Celková plocha rovných střech je 49 315 m² a celková využitelná plocha modulů je 18 874 m².



Obr. 9-8 Porovnání zastavěné plochy, celkové plochy střech a využitelné plochy střech u budov s rovnou střechou

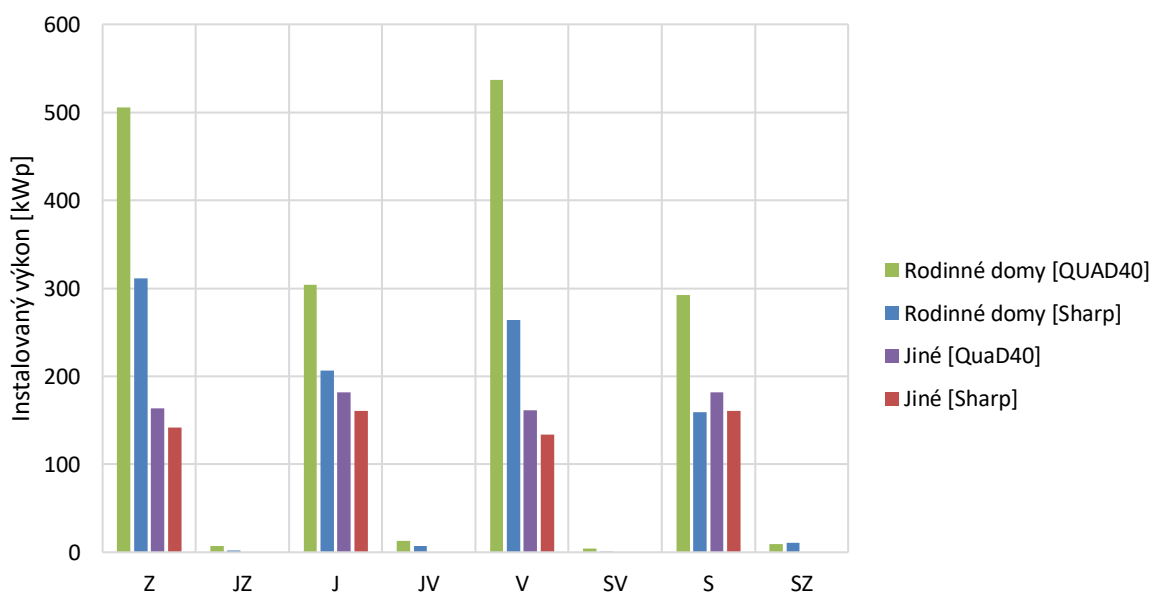
V analyzované oblasti byly pro instalaci fasádních systémů vybrány budovy pouze z řad panelových domů. Většina budov je osmipatrových, pouze pět panelových domů má čtyři patra. Pro instalaci na jižní straně bylo vybráno 41 budov s celkovou plochou fasád 6 288 m² a využitelnou plochou 3 892 m². Pro instalaci při orientaci na východ či západ bylo vybráno 23 budov s celkovou plochou 4 416 m² a využitelnou plochou 2 940 m². Jelikož jsou panelové domy spojeny do větších bloků, kdy si mohou sousední domy stínit převážnou část dne, nebylo možné využít většího množství ploch. Průměrná využitelnost fasád se pohybuje okolo 60 %. Využitelná plocha parkovacích ploch byla určena na 17 510 m², průměrný činitel využití je 70 %. Vybrané parkovací plochy jsou jak rozsáhlá parkovací stání, tak i menší množství jednořadových parkovacích stání u strany vozovky.

10 CELKOVÝ ENERGETICKÝ POTENCIÁL

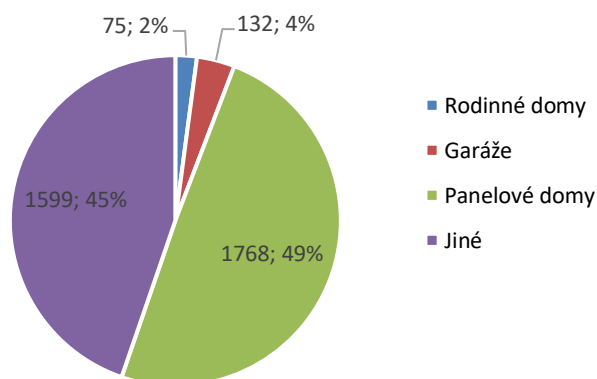
Pomocí vytvořené metodiky byl stanoven instalovaný výkon a celkový energetický potenciál oblasti pro budovy a vybrané parkovací plochy s využitím fotovoltaických modulů či fotovoltaických tašek.

10.1 Celkový instalovaný výkon

Obr. 10-1 zobrazuje rozložení instalovaného výkonu u budov s šikmou střechou v závislosti na orientaci střechy. Podle předpokladu je nejvýraznější varianta využívající fotovoltaických tašek. U rodinných domů způsobilo využití fotovoltaických tašek radikální nárůst instalovaného výkonu zejména při orientaci střech na východ. U jiných budov, narozdíl od rodinných domů, nedošlo téměř k žádnému nárůstu. To je zapříčiněno vysokým činitelem využití střechy u rozměrných střech při obou variantách instalace. Celkový instalovaný výkon u varianty využívající fotovoltaické moduly je 1 558 kWp a druhé varianty 2 361 kWp.



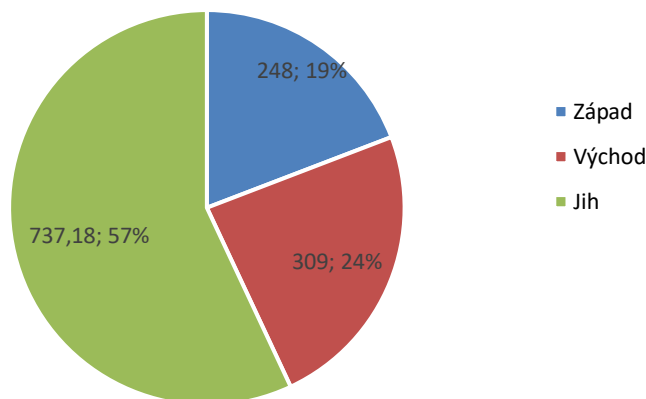
Obr. 10-1 Instalovaný výkon na šikmých střechách dle její orientace



Obr. 10-2 Poměr instalovaného výkonu na budovách s rovnou střechou [kWp]

U budov s rovnou střechou je celkový instalovaný výkon 3 574 kWp. Na Obr. 10-2 lze zřetelně pozorovat, že instalovaný výkon panelových domů (1 768 kWp) a jiných budov (1 599 kWp) tvoří dohromady dominantní část, a to přesně 94 %.

Instalovaný výkon u fasádních instalací orientovaných na jih je 737 kWp, a tvoří tak 57 % z celkového instalovaného výkonu, který je 1 294 kWp.

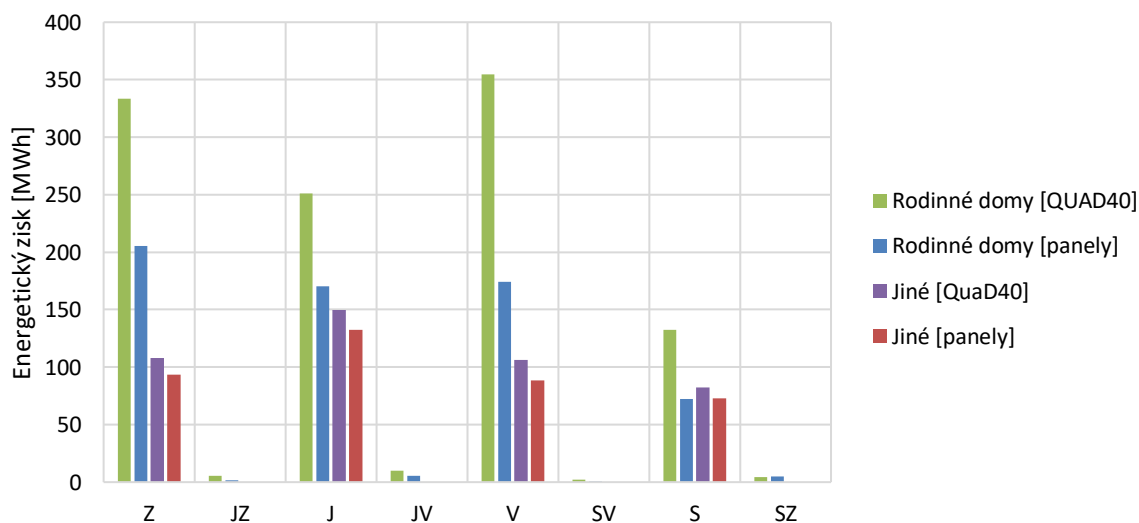


Obr. 10-3 Poměr instalovaného výkonu fasádních instalací dle orientace [kWp]

Vypočtený instalovaný výkon na parkovacích plochách je celkem 3 316 kWp. Azimut fotovoltaických instalací na parkovacích plochách byl preferován jižní, ale u většiny případů bylo z důvodu místního uspořádání parkoviště vhodnější využití východní či západní orientace. Instalace orientované k jihu tvoří 39 % procent instalovaného výkonu s hodnotou 1 248 kWh. Celkový instalovaný výkon je 3 316 kWh.

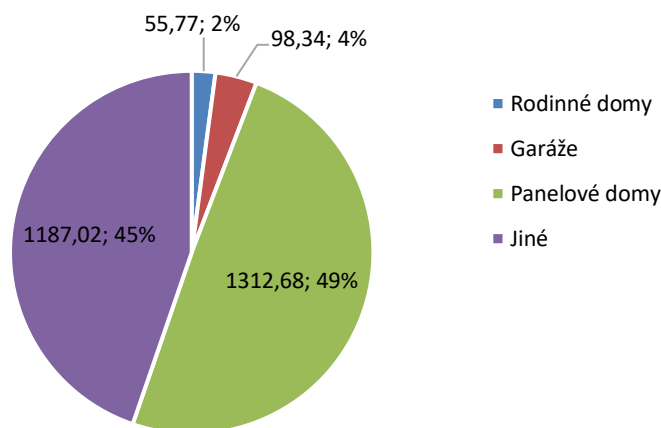
10.2 Celkový energetický zisk

Roční energetický zisk u šikmých střech byl u varianty s fotovoltaickými moduly stanoven ve výši 1 022,21 MWh a 1 540,93 MWh při využití fotovoltaických tašek. Poměry u východně a západně orientovaných instalací, obou variant, zůstaly stejné jako u instalovaného výkonu a u jižně orientovaných vzrostl, podle předpokladů, na úkor severně orientovaných instalací. U první varianty je procento jižně orientovaných instalací 30 %, u druhé varianty 26 %.



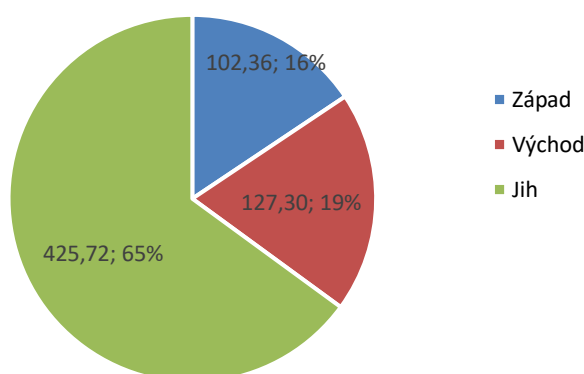
Obr. 10-4 Roční energetický zisk na šikmých střechách podle orientace a kategorie

Roční energetický zisk u budov s rovnou střechou je 2 654,8 MWh. Jelikož se jedná pouze o jižní orientaci, jsou procentuální hodnoty rozdělení mezi kategoriemi stejné jako u instalovaného výkonu.



Obr. 10-5 Poměr ročního energetického zisku u budov s rovnou střechou [MWh]

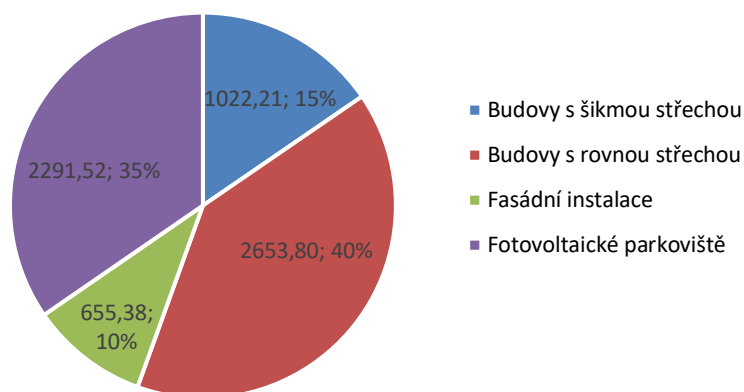
Jižně orientované fotovoltaické fasády tvoří 65 % ročního energetického zisku s hodnotou 425,72 MWh z celkových 655,38 MWh. Roční energetický zisk z fotovoltaických parkovišť byl vypočten na 2 291,5 MWh. Poměr získané energie z jižně orientovaných instalací vzrostl o 3 % oproti instalovanému výkonu.



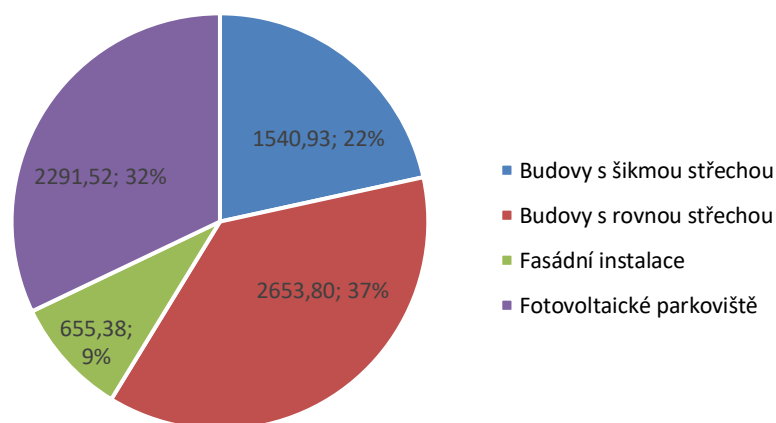
Obr. 10-6 Poměr ročního energetického zisku fasádních instalací [MWh]

Pro zhodnocení celkového energetického potenciálu bylo zapotřebí výsledky rozdělit na dvě varianty, jelikož u šikmých střech byl proveden výpočet pro fotovoltaické moduly i tašky. Pro první variantu s moduly byl stanoven roční energetický potenciál na 6 622,91 MWh. Procentuální rozdělení podle typu budov je znázorněno v Obr. 10-7. Jižně orientované instalace tvoří téměř 65 % z celkového energetického zisku, oproti tomu severně orientované dosahují 2 %. U druhé varianty

vzrostl podíl budov s šikmou střechou na 22 % z 15 % u první varianty. Vlivem toho klesl poměr jižně orientovaných instalací na 60 % a severně na 3 %. Celkový roční energetický zisk u druhé varianty je 7 141,63 MWh.



Obr. 10-7 Poměr celkového ročního energetického zisku podle kategorie (fotovoltaické moduly) [MWh]

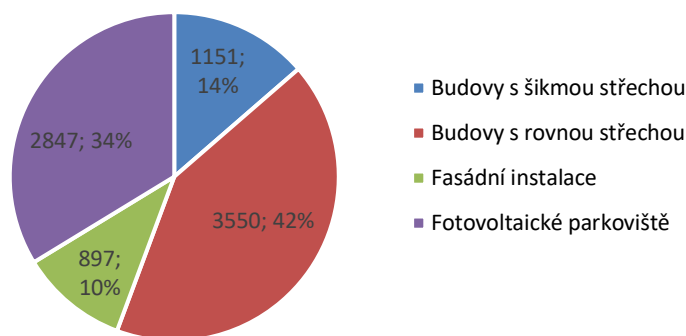


Obr. 10-8 Poměr celkového ročního energetického zisku podle kategorie (fotovoltaické moduly a tašky) [MWh]

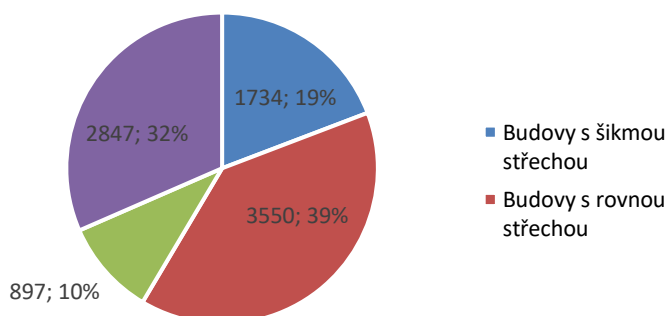
10.3 Porovnání výsledků s online kalkulačkou PVGIS

Internetová kalkulačka PVGIS byla přiblížena v kapitole 6. Pro její samotné využití bylo potřeba znát instalovaný výkon, úhel sklonu, azimut a celkové ztráty systému, které byly určeny na 18 %. Tato hodnota byla odvozena podle zdroje [59]. Vypočtený instalovaný výkon bylo třeba vkládat do kalkulačky jednotlivě, určující faktory jsou azimut a úhel sklonu.

U obou variant došlo k celkovému nadhodnocení energetického potenciálu, v průměru o 27 %. Největší procentuální rozdíl výsledků byl u instalací na rovné střeše a fasádách, v průměru 35,5 %. Důvodů může být více, například nevhodně zvolené činitele sklonu a orientace nebo činitele výkonnosti systému. U šikmých střeších bylo dosaženo nejnižšího procentuálního rozdílu výsledku, a to 12,6 %. Poměry mezi kategoriemi zůstaly téměř stejné.



Obr. 10-9 Poměr celkového ročního energetického zisku podle kategorie PVGIS (fotovoltaické moduly) [MWh]



Obr. 10-10 Poměr celkového ročního energetického zisku podle kategorie PVGIS (fotovoltaické moduly a tašky) [MWh]

ZÁVĚR

Energetický potenciál slunečního záření dopadajícího na budovy je velký, což způsobuje rostoucí zájem o fotovoltaické technologie, obzvláště dnes kdy se snažíme snížit znečišťování ovzduší. U fotovoltaických modulů je účinnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii až jedna pětina. Tím vyvstává otázka, jak nejvíce minimalizovat ztráty z nevhodného umístění či natočení modulů. V první části práce bylo řečeno, že nejlepší účinnosti dosáhneme natočením panelů k jihu. Co se týče ideálního úhlu sklonu fotovoltaického modulu, ten se mění každý den, ale platí zjednodušení, že u statických systému je ideální celoroční sklon okolo 35°.

Z důvodu geografické polohy České republiky nelze uvažovat o rozsáhlém využívání většiny obnovitelných zdrojů energie, výjimku tvoří fotovoltaické elektrárny. Nespornou výhodou fotovoltaiky je možnost umístění na budovy, čímž nedochází k zabránění vhodné hospodářské půdy. V současnosti vzrůstá zájem o střešní aditivní instalace, které se instalují jako přídavné technologické zařízení sloužící pouze jako generátor elektrické energie. V menší míře se využívají integrované systémy. Do budoucna se předpokládá větší využití integrovaných systémů, a to nejen z hlediska energetické samostatnosti budovy, ale také z ekonomického hlediska v nákupu pouze jednoho krycího prvku. Další možností je využití zastřešených parkovacích ploch s fotovoltaickou střechou.

Metod pro získání energetického potenciálu budov je více, některé jsou jednoduché a přináší jen hrubý odhad možného potenciálu, jiné jsou náročné na vstupní data, ale lze s nimi dosáhnout velké přesnosti. Metoda využitá v této práci vychází z normy ČSN EN 15316-4-3 a nabízí vhodný průnik obou druhů zmíněných metod. Jedná se o dostatečně přesnou metodu využívající jednoduchá, veřejně dohledatelná data. Metoda se stává méně vhodnou s rostoucím počtem analyzovaných budov. Důvodem je časová náročnost při zjišťování potřebných datových podkladů pro samotný výpočet. Budovy je nutné analyzovat jednotlivě.

Ze získaných dat bylo možné vypočítat celkovou a využitelnou plochu střech, fasád a parkovacích ploch, instalovaný výkon a nakonec energetický potenciál. Z nashromážděných dat vyplynulo, že při využití fotovoltaických modulů je průměrný činitel využitelnosti plochy střechy u šikmých střech je 35 % s využitím fotovoltaických modulů a 70 % s fotovoltaickými taškami, 45,5 % u rovných střech, 65 % u fasád a 70 % u fotovoltaických parkovišť.

Celkový instalovaný výkon při použití pouze modulů byl vypočten na 9,7 MWp a 10,5 MWp při výměně modulů za fotovoltaické tašky u šikmých střech. Roční energetický zisk při využití pouze modulů byl stanoven na 6 622,9 MWh a 7 141,6 MWh při výměně modulů za fotovoltaické tašky u šikmých střech. Při využití tašek vzroste instalovaný výkon i energetický zisk důsledkem nárůstu činitele využitelnosti plochy střechy na 70 %. Nárůst není příliš výrazný, jelikož u budov s šikmou střechou převládá orientace střech na východ a západ. Z důvodu využití výpočetní metody a vnitřnímu rozložení oblasti nelze výsledky práce přenášet na jiné oblasti.

Jelikož se jedná o celkový roční energetický zisk, byly u výsledků zanechány hodnoty severně orientovaných střech u budov s šikmou střechou, západně a východně orientované fasádní instalace a garáží, u kterých je složité zabezpečit ochranu proti odcizení. Pokud bychom se řídili základními pravidly, tyto instalace by byly vyškrtнутy z důvodu nízké účinnosti a nízké ekonomické výnosnosti nebo až ztráty.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Jak umístit na váš dům solární panely?* [online]. 17.9. 2015 [cit. 2019-11-07]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-umistit-na-dum-solarni-panely/>
- [2] HASELHUHN, Ralf a Petr MAULE. *Fotovoltaické systémy: energetická příručka: pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýři, energetiky, manažery, stavitele, studenti, učitelé, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájem o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost*. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1.
- [3] *Revoluční obrat: fotovoltaika nezabírá, ale podporuje zemědělskou půdu: 9.5.2019* [online]. [cit. 2019-11-17]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/802/revolucni-obrat-fotovoltaika-nezabira-ale-podporuje-zemedelskou-pudu/>
- [4] *Návratnost investice* [online]. 2018 [cit. 2019-11-17]. Dostupné z: <http://www.solarnivyroba.cz/navratnost-investice>
- [5] *Vědecky potvrzeno: spojení zemědělství a solární energetiky nese vyšší sklizeň* [online]. 19.8. 2019 [cit. 2019-11-17]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/908/vedecky-potvrzeno-spojzeni-zemedelstvi-a-solarni-energetiky-nese-vyssi-sklizen/>
- [6] *Zásadní obrat: zemědělci mohou současně sklízet plodiny i solární elektřinu* [online]. 23.4. 2019 [cit. 2019-11-17]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/787/zasadni-obrat-zemedelci-mohou-soucasne-sklizet-plodiny-i-solarni-elektřinu/>
- [7] Deg-sued: Flender Solarhalter universal Nr. 205 Verzinkt [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.deg-sued.de/dde/de/Sortiment/Dach/Solartechnik/Solarthermie/Zubeh%C3%B6r/Flender-Solarhalter-universal-Nr-205-Verzinkt/p/2118557>
- [8] Jungmeier [online]. In: [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.jungmeier.si/solar-line-klober-solarni-nosilci/>
- [9] *Pss-ag.com* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <http://www.pss-ag.com/de/Produkte/Zubehoer?smallscreen=0&appview=1>
- [10] *Ise.fraunhofer* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2019/agrophotovoltaics-high-harvesting-yield-in-hot-summer-of-2018.html>
- [11] *Ise.fraunhofer* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2017/harvesting-the-sun-for-power-and-produce-agrophotovoltaics-increases-the-land-use-efficiency-by-over-60-percent.html>
- [12] *Euro* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.euro.cz/byznys/solarnici-v-nemecku-vetri-lepsi-casy-fotovoltaika-je-opet-popularni-1451133/galerie?id=304979>
- [13] *Nazeleno* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/solarni-energie/trend-integrace-solarnich-zarizeni-primo-do-strechy-ci-fasady-domu.aspx>
- [14] *Czechenergyteam* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://czechenergyteam.cz/home/hanergy/>
- [15] *Intersole* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <http://intersole.co.uk/>

- [16] *Polyroof* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://polyroof.co.uk/applications/photovoltaic-pv-cells/>
- [17] *Sunballast* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <http://www.sunballast.it/en>
- [18] *Helion* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <http://helion.cz/reference/fotovoltaiicke-elektrarny/solarni-elektarny-na-ploche-strese/>
- [19] *Solarninoviny* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?home/2010032303/stresni-solarni-panely-od-spolecnosti-soleg>
- [20] *Ibcsolar* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.ibcsolar.se/forinstallatorer/ibc-solar-monteringssystem/>
- [21] *Eshop.neosolar* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.eshop.neosolar.cz/solarni-ohrev-vody/ohrev-bazenu-neo-fip/>
- [22] *Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaiika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaiickyh-instalaci>
- [23] *Solmetric SunEye vám řekne, jak na fotovoltaickou elektrárnu* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.bydlet.cz/229860-solmetric-suneye-vam-rekne-jak-na-fotovoltaiickou-elektrarnu/>
- [24] *ČSN EN 15316-4-3 (060401) A Energetická náročnost budov - Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019, Část 4-3, Výroba tepla, solární tepelné a fotovoltaické soustavy, Modul M3-8-3, M8-8-3, M11-8-3
- [25] QUASCHNING, V., HANITSCH, R. Influence of shading on electrical parameters of solar cells [online]. 1996 [cit. 2019-12-30]. Dostupný z WWW: <<http://ieeexplore.ieee.org/iel3/4263/12206/00564368.pdf>>
- [26] *PROČ UMISŤOVAT FOTOVOLTAIKU NA BUDOVY* [online]. [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://fotovoltaiika.ekowatt.cz/proc-umistovat-fotovoltaiiku-na-budovy.php>
- [27] *Scheuten-Groep start solar-activiteiten door* [online]. 2012 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://www.glasinbeeld.nl/5033/scheuten-groep-start-solar-activiteiten-door/>
- [28] *Inteligentní fasády se zabudovanou fotovoltaikou* [online]. 2012 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/fotovoltaiika/inteligentni-fasady-se-zabudovanou-fotovoltaiikou>
- [29] *Solar façade with photovoltaic system* [online]. [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: https://cn.foamglas.com/sitecore/content/building-united-kingdom/home/applications/facade-insulation-systems/solar-facades/241-solar-facade-with-photovoltaic-system?sc_lang=en-GB
- [30] *Solarfassade* [online]. [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: http://www.solarfassade.info/en/project_examples/at/sol4.php
- [31] *Solární parkoviště – více užitku z jedné instalace* [online]. 2010 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/fotovoltaiika/solarni-parkoviste-vice-uzitku-zjedne-instalace>
- [32] *Lze využít fotovoltaické panely pro panelový dům?* [online]. 2010 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaiika/6840-lze-vyuzit-fotovoltaiicke-panely-pro-panelovy-dum>

- [33] *IFTECH* [online]. [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/clickfit/1646-clickfit-standardni-stresni-hak-30-39mm.html>
- [34] *FVE-MP* [online]. [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://www.fve-mp.cz/eshop/p/k2-stresni-hak-nastavitelny-betonova-taska-0-108>
- [35] *Schletter - solární montážní systémy Přehled komponentů* [online]. [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18301961-Schletter-solarni-montazni-systemy-prehled-komponentu-400602.html>
- [36] *Instalace fotovoltaických panelů na šikmou střechu* [online]. 2009 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/strecha/instalace-fotovoltaickych-panelu-na-sikmou-strechu>
- [37] *Střešní fotovoltaické instalace Tzb-info* [online]. 2010 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/6717-stresni-fotovoltaicke-instalace>
- [38] *Trend: Integrace solárních panelů přímo do stavebních prvků* [online]. 2015 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.drevostavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/technicka-zarizeni/3438-trend-integrace-solarnich-zarizeni-primo-do-stavebnich-prvku>
- [39] *Mytí fotovoltaických (solárních) panelů – HRAVAG s.r.o.* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://www.hravag.cz/myti-fotovoltaickych-solarnich-panelu/>
- [40] *Dva moderní pomocníci pro fotovoltaiku* [online]. 2010 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/dva-moderni-pomocnici-pro-fotovoltaiku>
- [41] *Nová zelená úsporám* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-zdroje-energie/>
- [42] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2061-6.
- [43] SAPIK, J. *Stavba fotovoltaické elektrárny*. Diplomová práce. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta, 2009. 121 stran.
- [44] ČERNÝ, J. *Hodnocení provozu malých fotovoltaických elektráren s připojením do sítě nn*. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2010, 58 stran.
- [45] E. M. Natsheh, E. J. Blackhurs and A. Albarbar, "PV system monitoring and performance of a grid connected PV power station located in Manchester-UK," *IET Conference on Renewable Power Generation (RPG 2011)*, Edinburgh, 2011, pp. 1-6.
- [46] *Solar power plant performance evaluation: simulation and experimental validation* [online]. 2012, 14 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/364/1/012122/pdf>
- [47] *Photon energy: SOLAR MAP OF THE UK* [online]. 2019 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.photonenergy.co.uk/solar-map-of-the-uk>
- [48] *Sharp* [online]. 2020 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.sharp.cz/cps/rde/xchg/cz/hs.xsl/-/html/product-details-solar-modules.htm?product=NUAC310>
- [49] *T-power* [online]. 2019 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.t-power.cz/solarni-tasky/>

- [50] *Nové kryté solární parkování bude k dostání ve Velké Británii* [online]. 18.6. 2012 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nove-kryte-solarni-parkovani-bude-k-dostani-ve-velke-britanii>
- [51] *Solar Project Supports Mission of Stewardship at Stonehill College* [online]. In: . 2017, s. 3 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <https://us.sunpower.com/sites/default/files/media-library/case-studies/cs-digital-17-comm-332-stonehill-casestudy-8.5x11-r8.pdf>
- [52] *STONEHILL COLLEGE PARTNERS WITH SOLECT ENERGY AND SUNPOWER TO ADD 2.8-MEGAWATT SOLAR CANOPY* [online]. In: . 1.6. 2017 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <https://solect.com/stonehill-college-partners-solect-energy-sunpower-add-2-8-megawatt-solar-canopy-project-campus-energy-portfolio/>
- [53] *Solární parkoviště – více užitku z jedné instalace* [online]. 16.11. 2010 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/fotovoltaika/solarni-parkoviste-vice-uzitku-zjedne-instalace>
- [54] *Na český trh vstoupila unikátní fotovoltaická novinka - solární tašky Hanergy HanTile* [online]. 9.9. 2019 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <https://polar.cz/zpravy/pr/11000014116/na-cesky-trh-vstoupila-unikatni-fotovoltaicka-novinka--solarni-tasky-hanergy-hantile>
- [55] *Solární panel Heckert Solar 325Wp MONO stříbrný rám* [online]. In: . [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/solarni-panely/2264-solarni-panel-heckert-solar-325wp-mono-stribrny-ram.html>
- [56] *Fotovoltaika v podmínkách České republiky* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/slunecni-zareni-v-cr.aspx>
- [57] *Fotovoltaická elektrárna* [online]. In: . [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.solarroof.cz/fve.php>
- [58] 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. Bakalářská práce. 74 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Paar, Ph.D.
- [59] TOMÁŠEK, Václav. *Výstavba solární elektrárny*. Praha, 2015. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Vít Klein, Ph.D.
- [60] *Mapové podklady Brno. Mapy.cz* [online]. 2018 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=16.5932748&y=49.1759288&z=14&base=ophoto&source=muni&id=5740>
- [61] Tom Lepley, Prem Nath *Canopying Plug-In Electric Vehicles Parking Lots with Photovoltaic Panels* [online]. 1997 [cit. 2020-06-08]. Dostupný z <https://ieeexplore.ieee.org/document/654328>
- [62] Mehdi Rahmani-andebili. *PHOTOVOLTAIC COVERED-PARKING SYSTEMS USING LIGHTWEIGHT, THIN-FILM PV* [online]. 2016 [cit. 2020-06-08]. Dostupný z <https://ieeexplore.ieee.org/document/7514774>
- [63] Nawal Nader Al Awadhi, Yacouba Moumouni, Ahmed Khodary. *Sizing of a Car Parking Photovoltaic System: An Economic Analysis* [online]. 2019 [cit. 2020-06-08]. Dostupný z <https://ieeexplore.ieee.org/document/7514774>

-
- [64] BAMBULOVÁ, Iva. *ANALÝZA VYUŽITELNOSTI SOLÁRNÍ ENERGIE V MĚSTSKÉ ZÁSTAVBĚ*. Praha, 2013. Diplomová práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, FAKULTA STAVEBNÍ. Vedoucí práce Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.
- [65] *Využití dat digitálního modelu povrchu 1. generace pro výpočet potenciálu solární energie v zástavbě*. Brno, 2014. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně Lesnická a dřevařská fakulta. Vedoucí práce Ing. Tomáši Mikitovi, Ph.D.
- [66] PVGIS (PV-GIS). *Photovoltaic software* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://photovoltaic-software.com/pv-softwares-calculators/online-free-photovoltaic-software/pvgis>
- [67] Mapové podklady Brno. *Ikatastr.cz* [online]. 2018 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.ikatastr.cz/#kde=49.17151,16.56647,16&mapa=letecka&vrstvy=parcelybudo vy&info=49.17335,16.5702>