

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA TECHNOLOGIE STAVEB**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**INSTALACE FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ NA
STŘECHU OBJEKTU**

2022

MICHAL KVASNIČKA

**VEDOUcí BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:
ING. ROSTISLAV ŠULC, PH.D.**

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze, 2022

.....
Michal Kvasnička

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Rostislavu Šulcovi, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracovávání této práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu během celého studia.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kvasnička	Jméno: Michal	Osobní číslo: 477264
Zadávací katedra: Katedra technologie staveb - K122		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Instalace fotovoltaických panelů na střechu objektu	
Název bakalářské práce anglicky: Installation of solar cell panels on the roof of the buildings	
Pokyny pro vypracování: 1) Rešerše k FVE panelům - způsoby výroby, montáž, likvidace FVE panelů, účinnosti podle typu instalace, možnosti realizace 2) Modelová situace osazení FVE panelů vzhledem k typu střech objektů, určení solárních zisků, množství výroby el. energie. 3) Systémy pro ukládání elektrické energie a spotřeba elektřiny v průběhu provozu různých typů budov. 4) Aplikace návrhu využití technologie FVE panelů na střechu konkrétního objektu administrativní budovy. 5) Řešení technologické a časové struktury, rozpočet montáže, bezpečnost práce při provádění a údržbě, výpočet produkce FVE elektrárny, vyhodnocení přínosu FVE elektrárny.	
Seznam doporučené literatury: Fotovoltaika pro budovy - Staněk Kamil, Grada, 2013 Solární zařízení v příkladech - Tomáš Matuška, Grada, 2012 Fotovoltaika - Ralf Haselhuhn, HEL, 2011 Zákon č. 309/2006 Sb - Zákon, kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci)	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Rostislav Šulc, Ph.D	
Datum zadání bakalářské práce: 04.02.2022	Termín odevzdání BP v IS KOS: 15.5.2022
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá fotovoltaickými panely, principem jejich výroby a likvidace, možnostmi realizace na různé typy střech či fasád, dále účinností výroby elektrické energie s ohledem na sklon a orientaci ke světovým stranám. Rovněž jsou zde uvedeny možnosti akumulace elektrické energie. Výsledkem práce je závěrečný návrh fotovoltaické elektrárny na konkrétní objekt s výsledným ekonomickým vyhodnocením a sestaveným harmonogramem výstavby.

Klíčová slova

Fotovoltaické panely, křemík, akumulace, šikmé střechy, ploché střechy, fasády, nosné konstrukce

Abstrakt

This bachelor thesis deals with photovoltaic panels, the principle of their production and disposal. Possibility of implementation on various types of roofs or facades, as well as on the efficiency of electricity production depending on the inclination and orientation to the world sides. The possibilities of electricity storage are also listed there. The result of the work is the final design of a photovoltaic power plant for a specific building with the resulting economic evaluation and compiled construction schedule.

Keywords

Photovoltaic panels, silicon, accumulation, pitched roof, flat roof, facade, supporting structure

Obsah

1	ÚVOD	10
1.1	CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	10
2	TEORETICKÁ ČÁST.....	11
2.1	PRINCIP VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE FOTOVOLTAICKÝMI ČLÁNKY	11
2.2	VÝROBA FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	12
2.2.1	<i>Panely z monokrystalických článků.....</i>	<i>12</i>
2.2.2	<i>Panely z polykrystalických článků</i>	<i>12</i>
2.2.3	<i>Tenkvrstvé články.....</i>	<i>13</i>
2.2.3.1	Články z amorfního křemíku	13
2.2.3.2	Mikromorfnní solární články.....	14
2.2.3.3	Články CIS (Copper-Indium-diSelenid)	14
2.2.3.4	Články na bázi teluridu kadmnatého (CdTe).....	14
2.2.4	<i>Porovnání účinností jednotlivých panelů</i>	<i>14</i>
2.3	LIKVIDACE FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ.....	15
2.3.1	<i>Termická recyklace.....</i>	<i>15</i>
2.3.2	<i>Mechanicko-chemická metoda.....</i>	<i>16</i>
2.4	ÚČINNOST PODLE TYPU INSTALACE.....	17
2.4.1	<i>Účinnost podle orientace ke světovým stranám a sklonu střechy/podpůrné konstrukce</i>	<i>17</i>
2.5	MONTÁŽ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	19
2.5.1	<i>Instalace na ploché střechy.....</i>	<i>19</i>
2.5.2	<i>Instalace na šikmé střechy.....</i>	<i>22</i>
2.5.2.1	Střechy se skládanou krytinou	23
2.5.2.2	Střechy s falcovanou krytinou	24
2.5.2.3	Střechy s vlnitou krytinou	25
2.5.3	<i>Instalace na fasády</i>	<i>26</i>
2.5.3.1	Studené fasády	27
2.5.3.2	Teplé fasády.....	29
2.5.3.3	Lehké obvodové pláště – skleněné fasády	29
2.6	MODELOVÁ SITUACE OSAZENÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	31
2.7	SYSTÉMY PRO UKLÁDÁNÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE	34
2.7.1	<i>Akumulace do bateriových akumulátorů</i>	<i>34</i>
2.7.2	<i>Akumulace do ohřevu teplé vody.....</i>	<i>36</i>
2.7.3	<i>Virtuální baterie</i>	<i>37</i>
2.7.4	<i>Úložiště elektřiny na bázi gravitace</i>	<i>38</i>

2.7.5	<i>Setrvačnickový akumulátor</i>	38
2.7.6	<i>Výroba vodíku</i>	38
2.7.7	<i>Porovnání účinností jednotlivých druhů akumulace</i>	39
2.8	SPOTŘEBA ELEKTŘINY V PRŮBĚHU PROVOZU RŮZNÝCH TYPŮ BUDOV	39
3	PRAKTICKÁ ČÁST	41
3.1	CHARAKTERISTIKA VYBRANÉHO AREÁLU	41
3.1.1	<i>Vytápění</i>	41
3.1.2	<i>Příprava teplé vody</i>	41
3.1.3	<i>Větrání</i>	41
3.1.4	<i>Osvětlení</i>	41
3.1.5	<i>Chlazení</i>	41
3.1.6	<i>Technologie a ostatní</i>	42
3.1.7	<i>Popis vybraných objektů pro instalaci fotovoltaických panelů</i>	42
3.2	POPIS VYBRANÉHO FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU	42
3.3	NÁVRH POČTU A ROZLOŽENÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	44
3.3.1	<i>Počet panelů na střeše administrativní budovy</i>	44
3.3.2	<i>Počet panelů na střeše dílny</i>	45
3.4	POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI STŘEŠNÍ KONSTRUKCE	45
3.4.1	<i>Popis stávajícího nosného systému pro administrativní budovu</i>	46
3.4.1.1	<i>Skladba střechy</i>	46
3.4.1.1	<i>Posouzení únosnosti střešní konstrukce</i>	48
3.4.2	<i>Popis nosné konstrukce budovy dílny</i>	49
3.4.2.1	<i>Skladba střechy</i>	49
3.4.2.2	<i>Posouzení únosnosti střešní konstrukce</i>	51
3.4.3	<i>Vyhodnocení</i>	51
3.5	BILANCE VYUŽITÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE V AREÁLU	51
3.5.1	<i>Výpočet spotřebované elektrické energie v průběhu roku</i>	51
3.5.2	<i>Výpočet produkce fotovoltaické elektrárny</i>	55
3.5.3	<i>Výpočet využití elektrické energie z fotovoltaických panelů</i>	57
3.6	MODELOVÁ SITUACE OSAZENÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ NA STŘECHU RODINNÉHO DOMU	59
3.6.1	<i>Popis objektu</i>	59
3.6.2	<i>Výpočet spotřebované elektrické energie v průběhu roku</i>	59
3.6.3	<i>Výpočet produkce fotovoltaické elektrárny</i>	61
3.6.4	<i>Výpočet využití elektrické energie z fotovoltaických panelů</i>	63
3.6.5	<i>Návrh akumulace</i>	66

3.6.6	<i>Porovnání míry využití elektrické energie z fotovoltaických panelů u řešeného areálu a rodinného domu</i>	69
3.7	TECHNOLOGICKÝ POSTUP	70
3.8	TECHNOLOGICKÁ STRUKTURA	75
3.9	ČASOVÁ STRUKTURA	76
3.10	ROZPOČET MONTÁŽE	78
3.11	BEZPEČNOST PRÁCE PŘI PROVÁDĚNÍ A ÚDRŽBĚ	79
3.11.1	<i>Bezpečnost práce při provádění</i>	79
3.11.2	<i>Bezpečnost práce při údržbě</i>	79
3.12	VYHODNOCENÍ EKONOMICKÉHO PŘÍNOSU FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	81
3.12.1	<i>Areál s administrativní budovou a dílnou</i>	81
3.12.1.1	<i>Rodinný dům</i>	82
4	ZÁVĚR	84
	SEZNAM LITERATURY	86
	SEZNAM TABULEK	90
	SEZNAM OBRÁZKŮ	92
	SEZNAM PŘÍLOH	93

1 Úvod

V dnešní době je kladen veliký důraz na snižování emisí a co možná nejvyšší využití obnovitelných zdrojů. Toho se česká vláda v souladu s cíli stanovenými Evropskou unií snaží docílit legislativní cestou. V praxi to znamená, že nově stavěné objekty by měly dosahovat parametrů tzv. budov s téměř nulovou spotřebou. Nejedná se ale jen o výstavby či rekonstrukce, například velké firmy podléhají tzv. energetickému auditu, v němž musí pravidelně prokazovat snižování emisí. Právě fotovoltaické panely jsou jedním z nástrojů, jak lze těchto cílů dosáhnout. Ať už jsou názory na fotovoltaické elektrárny jakékoliv, stávají se fotovoltaické panely častou součástí novostaveb či rekonstrukcí. Jsou tedy se stavebním průmyslem pevně spjaty a s jejich použitím se musí při návrhu a realizaci staveb počítat, ať už z hlediska statického, požárního, architektonického, či realizačního.

Hlavním cílem této práce je zjistit, jaké jsou způsoby výroby a likvidace fotovoltaických panelů, jakým způsobem se dají osadit na budovy a jak probíhá návrh na konkrétním objektu.

1.1 Cíl bakalářské práce

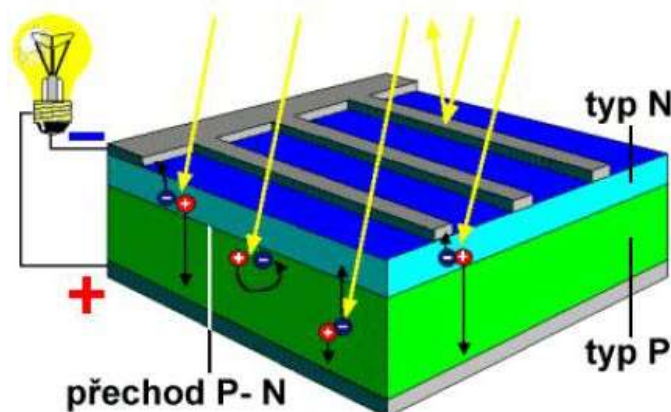
- Rešerše k fotovoltaickým panelům – způsoby výroby, montáž, likvidace, účinnost podle typu instalace, možnosti realizace.
- Modelová situace osazení fotovoltaických panelů – určení solárních zisků a množství vyrobené elektrické energie s ohledem na orientaci ke světovým stranám.
- Systémy pro ukládání elektrické energie – akumulace.
- Aplikace návrhu využití fotovoltaických panelů na střechu konkrétního objektu
- Řešení technologické a časové struktury, rozpočet montáže, bezpečnost práce při provádění a údržbě.
- Výpočet produkce fotovoltaické elektrárny a vyhodnocení ekonomického přínosu.

2 Teoretická část

2.1 Princip výroby elektrické energie fotovoltaickými články

Již v 19. století vědci zjistili, že pokud je kov vystaven záření, dochází k uvolňování elektronů z jeho povrchu. Při dostatečném záření se elektron uvolní z povrchu kovu a zanechá po sobě kladný náboj, tzv. „díru“. Jedná se o fotoelektrický jev. Při výrobě elektrické energie ale není žádoucí, aby elektrony vylétly pryč, ale potřebujeme, aby zapadly zpět do díry a před zapadnutím předaly svoji elektrickou energii. K tomuto dělení elektronů se využívá tzv. P-N přechod. Při dopadu slunečního záření se ve vrstvě N generují volné elektrony a ve vrstvě P díry. Jelikož jsou elektrony záporně nabité a díry kladně nabité, pošle je elektrické pole P-N přechodu na opačné strany. Nabité elektrony následně prochází elektrickým obvodem, předávají svou elektrickou energii, a poté zapadnou zpět do díry. V zásadě je fotovoltaický článek velkoplošná dioda. Tento jev se dá lépe realizovat v polovodičích než v kovech, a proto se pro výrobu fotovoltaických článků používá křemík.[1]

Obr. 1 - Princip výroby elektrické energie fotovoltaickým článkem



Zdroj: Elektrika.info s.r.o.[2]

2.2 Výroba fotovoltaických panelů

Zpráva evropské asociace fotovoltaického průmyslu (EPIA) ve své zprávě z roku 2010 uvádí, že více než 90% komerčně dostupných fotovoltaických článků je vyrobena z křemíku. Různé zdroje v roce 2021 uvádí použití křemíku u fotovoltaických článků v rozmezí 90-95%, zbylých 5-10% je přisuzováno novým technologiím. Nejčastěji se vyskytují panely z mono či polykrystalických článků.[1, 3–5] Křemík pro výrobu článků se získává z písku, který je zredukován uhlíkem v obloukové peci, kde dochází k velkému množství chemických reakcí.[6]

2.2.1 Panely z monokrystalických článků

Panely z monokrystalických článků se řadí do tzv. článků první generace. Tyto články disponují vysokou účinností a stabilitou výkonu. Na jejich výrobu je ale potřeba značné množství velmi čistého křemíku. Z toho důvodu jsou tyto články drahé a poměrně náročné na výrobu.

Výroba monokrystalických článků se provádí tzv. Czochralského metodou. Z taveniny velmi čistého polykrystalického křemíku o vysoké teplotě se pomalým tažením vytahuje zárodek monokrystalu. Tímto způsobem vznikají ingoty, které se rozřežou speciální drátovou pilou na velmi tenké destičky o tloušťce 0,25–0,35 mm. Přechod P-N na destičkách vznikne napařením tenké vrstvy fosforu, který vytvoří vrstvu N.

Novější metodou je tažení přímo monokrystalického pásku, který se dá na destičky rozřezat snadněji. Touto metodou je možné vyrobit dvojnásobnou plochu článků při použití stejného množství křemíku jako u předchozího postupu. Nicméně články vyrobené touto metodou dosahují nižší účinnosti.[1, 6, 7]

Monokrystalické články se vyznačují svou tmavě modrou až černou barvou.

2.2.2 Panely z polykrystalických článků

Polykrystalické články dnes patří mezi nejpoužívanější. Řadí se mezi články tzv. druhé generace. Tyto články se vyrábějí jako tenkovrstvé, díky tomu se články druhé generace vyznačují levnější výrobou a menším množstvím spotřebovaného křemíku.

Tato metoda je poněkud jednodušší než u monokrystalických článků. Jde o odlévání čistého křemíku přímo do forem, kde se nechá vychladnout. Poté je ingot

nařezán na tenké destičky. Díky formám je možné články vyrábět se čtvercovým, či obdélníkovým průřezem. U této metody se dosahuje nižší účinnosti, jelikož na styku jednotlivých krystalových zrn vzniká větší odpor. Zásadní výhodou je levnější a jednodušší výroba.[1, 6]

Polykrystalické články se vyznačují modrou barvou.

2.2.3 Tenkovrstvé články

Vzhledem k velkým ekonomickým a materiálním nákladům u mono či polykrystalických článků, je od 90. let 20. století vyvíjen tlak na redukci použitého materiálu a finančních prostředků. Tím vznikl vývoj tenkovrstvých článků, u kterých je spotřeba materiálu a energie při výrobě podstatně nižší. Tyto články se vyznačují mnohostrannými vlastnostmi jako např. geometrická volnost, možná průhlednost materiálu, menší citlivost na teplotu a zastínění, lepší využití spektra slunečního záření apod. V dnešní době jsou investice na výrobu tenkovrstvých článků podobné jako u krystalických článků, nicméně mají nižší účinnost. U větších fotovoltaických elektráren jsou tenkovrstvé články schopny konkurovat krystalickým díky kratšímu času amortizace.

Při výrobě tenkovrstvých článků dochází k nanášení tenké vrstvy materiálu (amorfní křemík, Copper-Indium-diSelenid apod.) nanášeny přímo na sklo, umělé hmoty či kovové fólie. Při výrobě je potřeba teplota v rozmezí 200–500 °C (záleží na metodě), což je podstatně méně než 1500 °C u krystalických článků.[7]

2.2.3.1 Články z amorfního křemíku

Články z amorfního křemíku se stejně jako polykrystalické články řadí do kategorie tzv. druhé generace, dále se řadí mezi tenkovrstvé články. Oproti výše zmíněným typům mají tyto články výhodu ve značně menší spotřebě materiálu, a díky tomu jsou ve velké výrobě levnější.

Výroba je oproti předchozím typům odlišná. Pracuje na základě rozkladu vhodných sloučenin křemíku ve vodíkové atmosféře. Díky této metodě je možné vyrobit velmi tenké vrstvy křemíku. Tato vrstva křemíku je amorfní, a tedy nemá pravidelnou krystalickou strukturu a obsahuje určité množství vodíku. Z těchto tenkých vrstev křemíku je možné vyrobit ohebné fotovoltaické články, které se dají použít např. jako krycí fólie na střechu. Nevýhodou těchto článků je nestabilita, která

je způsobená přítomností vodíku. Výkon těchto článků zpočátku klesá, a po čase se ustálí na výkonnosti kolem 80 %. Celková účinnost těchto článků je kolem 7 %.[1, 7]

2.2.3.2 Mikromorfnní solární články

Mikromorfnní články jsou kombinací mikrokystalického a amorfnního křemíku. Tyto články dosahují účinnosti až 11 %, výhodou je také menší počáteční degradace. Na komerčním trhu se dnes prodávají panely s účinností kolem 9 %.[7]

2.2.3.3 Články CIS (Copper-Indium-diSelenid)

Články vyrobené touto metodou dnes vykazují nejvyšší účinnost mezi tenkovrstvními technologiemi. Výroba probíhá ve vakuové komoře, kde se při teplotě 500 °C sklo potáhne tenkou vrstvou, na kterou se nanese vrstva CIS s vodivostí typu p. Další se nanese nárazníková vrstva typu n. Výhodou CIS článků oproti jiným tenkovrstvním technologiím je odolnost proti stárnutí vyvolaného světlem. Nevýhodou je nestabilita ve vlhkém a horkém prostředí. Účinnost těchto článků se uvádí kolem 11 %, což je více než u amorfnních článků.[7]

2.2.3.4 Články na bázi teluridu kademnatého (CdTe)

Články na bázi teluridu kademnatého dosahují vyšší účinnosti než amorfnní články. Vylučování polovodičových vrstev probíhá vakuovou metodou při teplotě 700 °C. Účinnost se pohybuje kolem 11 %.

2.2.4 Porovnání účinností jednotlivých panelů

Tab. 1 Srovnání účinností jednotlivých FVE panelů

Druh panelu	Účinnost [%]	Potřebná plocha pro 1 kWp instalovaného výkonu [m ² /kWp]
Monokrystalické	16-22	7
Polykrystalické	14-18	8
Z amorfnního křemíku	4-8	15
Mikromorfnní	7-9	12
CIS	7-12	10
CdTe	10-11	10

Zdroj: Fotovoltaika pro budovy, Kamil Staněk [3]

2.3 Likvidace fotovoltaických panelů

Výrobci uvádějí životnost panelů kolem 25–30 let. Během životního cyklu fotovoltaického panelu dojde ke snížení jeho účinnosti. Tento pokles se odhaduje na 10 % za 10–12 let a 20 % za více než 25 let. V některých reálných případech se však uvádí pokles účinnosti pouze o 6–8 % za 25 let. Vzhledem k tomu, že je výroba panelů ekonomicky a materiálně náročná, je snaha o co největší znovu využití použitých materiálů. Recyklovat je možné především hliník (hliníkové rámy), sklo, plastové komponenty (jen vzácné množství, většina z nich je na konci životnosti panelu slunečním zářením degradována), fotovoltaické články a těžké kovy. Recyklace panelů probíhá několika metodami, které jsou buďto univerzální, nebo specifické pro určité druhy panelů. Jedná se především o termickou recyklaci a mechanicko-chemickou metodu.

Výrobci a dodavatelé vytvořili systém recyklace tzv. PV cycle. V praxi se jedná o určená odběrná místa panelů, kde se zvláště třídí panely z krystalického křemíku a tenkovrstvé panely. Kontejnery s panely jsou následně odvezeny k recyklaci.[8]

2.3.1 Termická recyklace

Tato metoda je dnes považována za nejpokročilejší. Celý panel je vsazen do speciální pece, ve které je žár dosahující hodnoty nad 500 °C. Plastové komponenty se odpaří a následně jsou v další komoře řízeně spalovány. Ostatní materiály jsou dále separovány ručně. U nepoškozených panelů je možné recyklovat až 85 % článků pro nové použití. Díky tomu můžeme snížit energii na výrobu nových panelů až o 70 %. Tato metoda se využívá pro všechny panely z krystalických článků.

Tab. 2 Složení a recyklovatelné množství krystalických panelů.

Materiál	Složení panelů [kg/kWp]	Podíl [%]	Výtěžnost recyklace [%]
Sklo	60	67	> 95
Hliník	16	18	100
Plasty	10	11	-
Křemík	3	3	85
Junction box	2	2	-
Měď	1	1	80

Zdroj: TZB info [8]

2.3.2 Mechanicko-chemická metoda

Tato metoda je podobná té, která se používá pro recyklaci LCD televizorů. Nejprve je manuálně demontován hliníkový rám. Zbylé části se drtí a třídí podle frakcí. Jednotlivé materiály jsou děleny těmito separačními metodami – fluidní a mokré splavy a elektrodynamická separace. Oproti termické recyklaci je tato metoda méně náchylná na ruční práce. Výsledkem recyklace jsou pouze drcené suroviny. Mechanicko-chemická metoda se používá především pro tenkovrstvé panely, u kterých nelze materiály polovodičů získat jinak.[8]

Tab. 3 Složení a recyklovatelné množství tenkovrstvých (CIS, CdTe...) panelů. [8]

Materiál	Složení panelů [kg/kWp]	Podíl [%]	Výtěžnost recyklace [%]
Sklo	150	84	>95
Hliník	20	12	100
Plasty	5	3	-
Ostatní	2	1	90

Zdroj: TZB info [8]

2.4 Účinnost podle typu instalace

Umístění fotovoltaických panelů má veliký vliv na množství vyrobené elektrické energie. V roce 2010, kdy byl největší rozmach instalace fotovoltaických elektráren, se panely kladly nejčastěji směrem k čistému jihu pod úhlem podpůrné konstrukce 35° . Tato orientace a sklon panelu přináší největší a nejrovnoměrnější zisky během celého roku, jelikož slunce se v zimním období pohybuje níž, a proto je žádoucí mít optimálně nakloněný panel. Na druhou stranu, v letním období je příznivější mít panel nakloněný méně ($15\text{--}25^\circ$), a tím zachytit více slunečního záření během letních dnů. Zároveň nižší sklon vrhá menší stín, panely je tedy možné pokládat blíže, a tím lépe využít celou plochu, což je příznivé např. u plochých střech. Záleží tedy na účelu budovy a využití elektrické energie v průběhu roku. Větší spotřeba se však předpokládá během zimních dnů, kdy je potřeba topit a déle svítit.

Sklon fotovoltaického panelu má i jiný význam. Čím větší sklon, tím méně nečistot na ploše panelu zůstává (sníh, voda, prach apod.). Znečištěný panel může znamenat pokles účinnosti o 1–5 %.

Možná je také instalace panelů svisle. Jedná se o tzv. agrofotovoltaiku neboli oboustranné panely, které jsou instalovány pod úhlem 90° . Instalace je v orientaci východ–západ. Tyto panely nalézají uplatnění spíše u ploch, které bychom jinak nevyužili, jako např. u plotů, protihlukových stěn apod. Nespornou výhodou mají tyto panely v zimním období, kdy nezapadají sněhem, a naopak odraz slunečního záření od sněhové pokrývky v okolí přispívá k vyšší výrobě elektrické energie.

Není vyloučená ani instalace panelů na sedlové střechy v orientaci východ–západ, kdy je symetricky osazená stejná plocha na východní a západní stranu. Navzdory instalaci východ–západ je i v tomto případě výroba totožná s výrobou panelů orientovaných na jih. V průběhu dne je výroba energie nejvyšší právě v poledne, což znamená, že takto orientované panely nejsou výhodné z hlediska rovnoměrné výroby.[7, 9]

2.4.1 Účinnost podle orientace ke světovým stranám a sklonu střechy/podpůrné konstrukce

Jak bylo již řečeno výše, orientace a sklon panelu je velmi důležitý faktor při návrhu FVE elektrárny a výpočtu vyprodukované elektrické energie. Hlavním

faktorem je dopad sluneční energie na zemský povrch. Ta se vypočítá jako součin výkonu slunečního záření a času. Veškerý výpočet se vztahuje k 1 m² osluněné plochy. Sluneční záření dopadající na zemský povrch se nazývá solární konstanta a její výkon je přibližně 1 367 W/m². Vlivem průchodu zemskou atmosférou a jinými prvky (vodní kapky, molekuly vzduchu apod.) dosahuje intenzita záření při pěkném počasí v poledne hodnoty 1 000 W/m². Tato hodnota se používá jako referenční pro výpočet výkonů solárních modulů.

Sluneční záření se ještě dělí na přímé a difúzní. Za jasné oblohy dochází k přímému dopadu slunečního záření na plochu panelu. K difúznímu záření dochází při zatažené obloze. Některé panely dokážou využívat jak přímé, tak i difúzní sluneční záření (např. polykrystalické panely).

V České republice je počet hodin slunečního svitu podle ČHMÚ v rozmezí 1 331–1 844 hodin za rok. Nejvíce hodin v roce svítí na jižní Moravě a nejméně pak na severu Čech. Průměrný dopad slunečního záření se pohybuje v rozmezí 950–1340 kWh/m². Nejvíce na jižní Moravě a v jižních Čechách (1 050–1 340 kWh/m²) nejméně pak na severu Čech (950 kWh/m²).[7]

Obr. 2 - Průměrný roční dopad sluneční energie na zemský povrch v České republice



Zdroj: mojееlektrama.cz[10]

Obr. 3 - Průměrný roční počet hodin slunečního svitu v České republice



Zdroj: Isofen Energy s.r.o. [11]

2.5 Montáž fotovoltaických panelů

Fotovoltaické panely se instalují téměř na všechny druhy střech. U rodinných domů to bývají převážně šikmé střechy (sedlové, valbové, pultové...). U administrativních budov, výrobních hal a bytových domů se panely z velké části instalují na ploché střechy. V některých případech je možné panely instalovat i na stěny. Při návrhu velikosti fotovoltaické elektrárny jsme limitováni nejen plochou střešní konstrukce, ale v případě rekonstrukcí i nosností stávajících střech, jejichž přetížení musí být staticky posouzeno. U novostaveb, na jejichž střechách se instalace panelů plánuje, je tento problém eliminován již v návrhu a nosná konstrukce je s ohledem na přetížení dimenzována.

2.5.1 Instalace na ploché střechy

Ploché střechy zpravidla zastřešují objekty výrobních hal, administrativních budov, bytových domů apod., tedy objekty, které vykazují velkou spotřebu elektrické energie, a jejich střechy jsou tedy ideálním prostorem pro instalaci fotovoltaické elektrárny.

Fotovoltaické panely se na plochých střechách upevňují na hliníkové profily, které se přišroubují k trojúhelníkovým hliníkovým ráámům. Trojúhelníkové rámy výrobci dodávají s různými sklony, nejčastěji se však používá sklon 30°.

Obr. 4 - Trojúhelníkové profily pro instalaci panelů na ploché střechy



Zdroj: Produktový katalog firmy SCHLETTER SOLAR GMBH[12]

K podkladu se tyto rámy kotví dvěma způsoby. První možnost je přikotvit pomocí podložek a kombivrutů konstrukci skrz střešní plášť k podkladu, čímž dojde k jeho perforaci, což může být problém zejména u hydroizolační vrstvy a parozábrany. Tato metoda tolik nepřítěžuje nosnou konstrukci a je tedy výhodné ji použít například u montáže fotovoltaických panelů na střechy stávajících objektů.

Obr. 5 - Kotvení konstrukce skrz střešní plášť



Zdroj: DJS Architecture s.r.o.[13]

Druhou variantou je přimontování vynášecí konstrukce k zatěžovacímu podkladu. Zatěžovacích podkladů existuje celá řada. Jde například o desky z umělé hmoty, které mají tvar trapézového plechu. Deska se propojí s konstrukcí a následně je přitížena kačirkem. Dále existují hliníkové vany, které se rovněž zatíží šterkem. Mohou být použity i betonové tvárnice. Nevýhodou této varianty je poměrně veliké

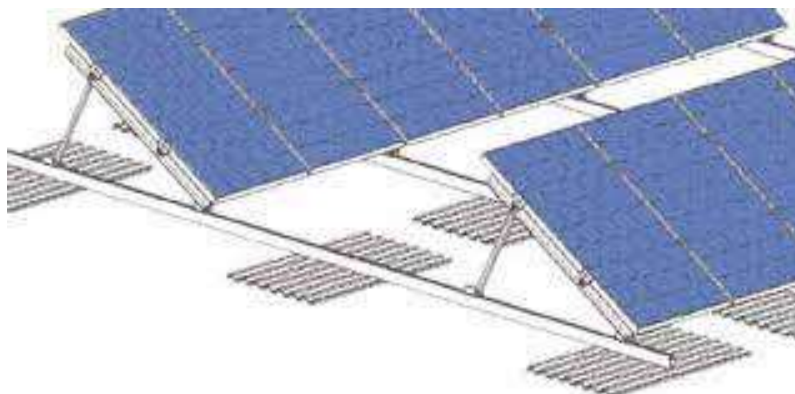
přetížení stávající konstrukce a nemusí být tedy vhodná pro stávající objekty, které by takové zatížení nemusely vydržet. Naopak oproti kotvení k nosné konstrukci skrz střešní plášť nedochází k poškození jednotlivých vrstev.[12]

Obr. 6 - Kotvení panelu k zatěžovacím betonovým blokům



Zdroj: V-systém elektro s.r.o.[14]

Obr. 7 - Kotvení panelů k zatěžovacím deskám určených pro násyp kačírku



Zdroj: Produktový katalog firmy SCHLETTER SOLAR GMBH[12]

Díky vývoji technologie fotovoltaických článků je dnes především v Německu možné vidět pokládku fotovoltaických článků ve formě fólie, která tvoří hydroizolační vrstvu (jedná se o tenkovrstvé články z amorfního křemíku). Každá fólie má na spodní straně vlastní kabel, z toho důvodu se jako tepelně izolační podklad nejlépe hodí desky z minerální vláken, ve kterých je možné vytvořit kanálky pro vedení kabelů ke střešním prostupům. U obrácených střech se dodávají tepelně izolační desky

s povrchovou úpravou z fotovoltaických článků, které zajišťují přitížení konstrukce a ochranu před vnějšími vlivy.[7]

Obr. 8 - Střešní pásy evalon solar



Zdroj: Solarthemen Media GmbH [15]

Pro přívod kabelů k panelům se na plochých střechách používají převážně plastové prostupy se zahnutým koncem proti zatékání.

Obr. 9 - Prostup pro kabely na ploché střeše



Zdroj: DJS Architecture s.r.o [13]

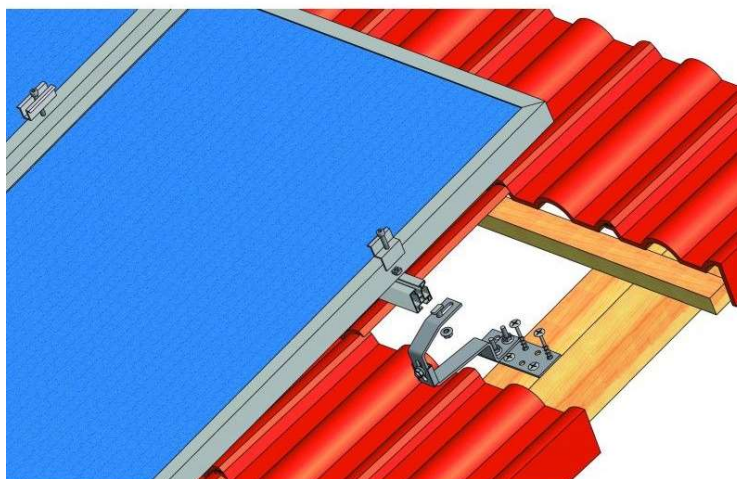
2.5.2 Instalace na šikmé střechy

Šikmé střechy jsou dominantní především u rodinných domů neboli objektů, jejichž střechy nedosahují tak velkých rozměrů a jsou zde instalovány fotovoltaické elektrárny o menších výkonech. Komponenty, které se pro instalaci panelů používají, jsou různé podle typu systému jednotlivých výrobců. Princip montáže je popsán v následujících odstavcích.

2.5.2.1 Střechy se skládanou krytinou

Panely se na střechy se skládanou krytinou instalují pomocí střešních háků a hliníkových profilů. V místě kotvení se dočasně odejme krytina a hák se přikotví ke kontraltím nebo krokším. Po upevnění háků se osadí zpátky krytina, kterou je potřeba zbrousit, případně seříznout. Výrobci kotvicích systémů mají pro různé typy střešní krytiny různé druhy háků. Dalším krokem je osazení hliníkových profilů. Hliníkové profily v sobě mají „kolejničky“, do kterých se vsunou šrouby a přišroubují se k hákům. Do osazených kolejnic se vsunou upevňovací svorky (oboustranné či krajní), které se předběžně rozmístí do míst osazení panelu. Panel se položí na požadované místo a utáhnou se svorky.[12]

Obr. 10 – Kotvení panelu na střechu se skládanou krytinou



Zdroj: Nosná konstrukce FV panelu [16]

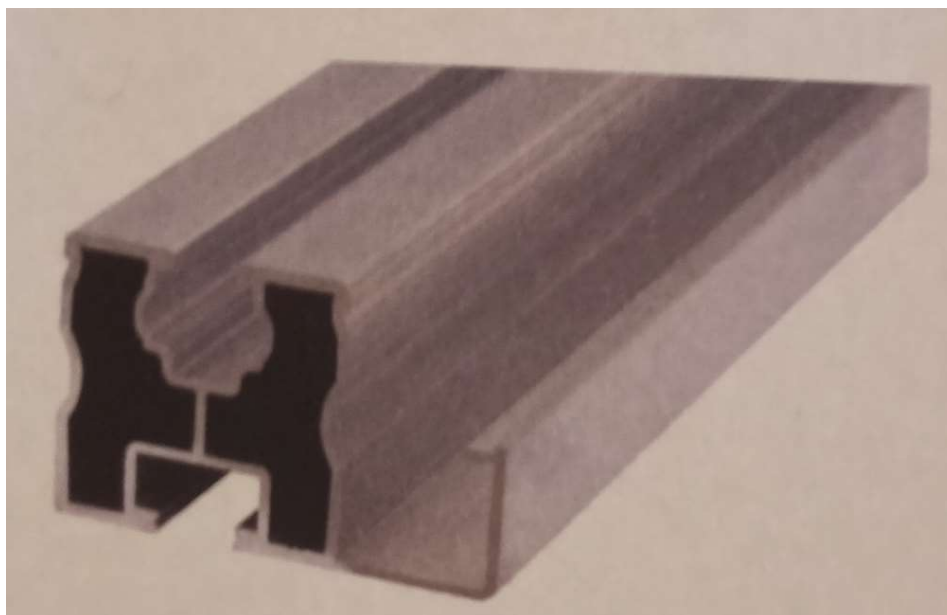
Pro napojení panelu na kabelové vedení se používají speciální střešní tvarovky. Po vytažení kabelu na střechu je kabel v horizontálním směru možné vést přímo v hliníkových profilech, pro vertikální vedení se k profilům instalují kabelové žlaby.[12]

Obr. 11 - Kabelový prostup



Zdroj: Produktový list firmy Coleman S.I., a. s.[17]

Obr. 12 - Hliníkový profil s kabelovým žlabem



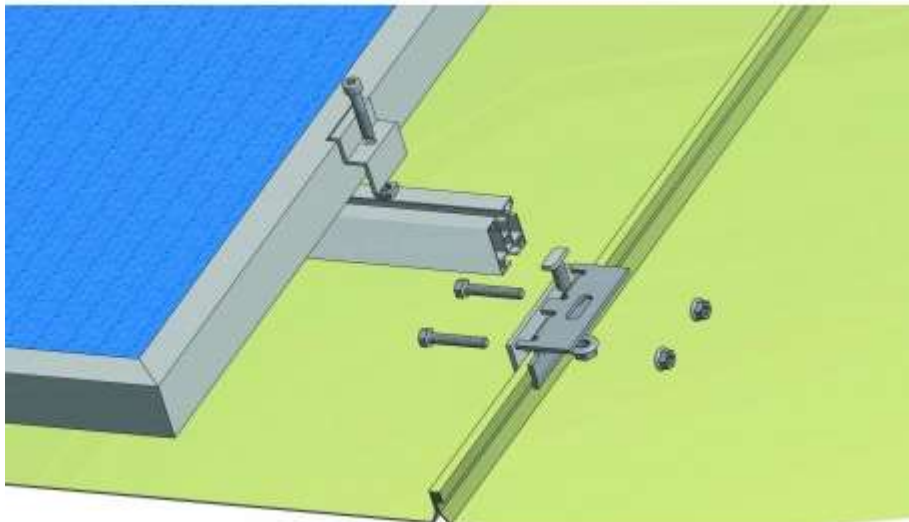
Zdroj: Produktový katalog firmy SCHLETTTER SOLAR GMBH

2.5.2.2 Střechy s falcovanou krytinou

Postup osazení panelů na krytinu z falcovaného plechu je podobný jako u střech se skládanou krytinou. Opět je potřeba nosný hliníkový profil pro osazení panelů, ale v tomto případě se místo střešních háků použijí tzv. svorky na falcovaný plech, které

se připevní na stojaté drážky a utáhnou. Na tyto svory se připevní roznášecí profily, na které se osadí panely a pomocí svorek se připevní k profilům.[12]

Obr. 13 - Kotvení panelu ke střeše s falcovanou krytinou

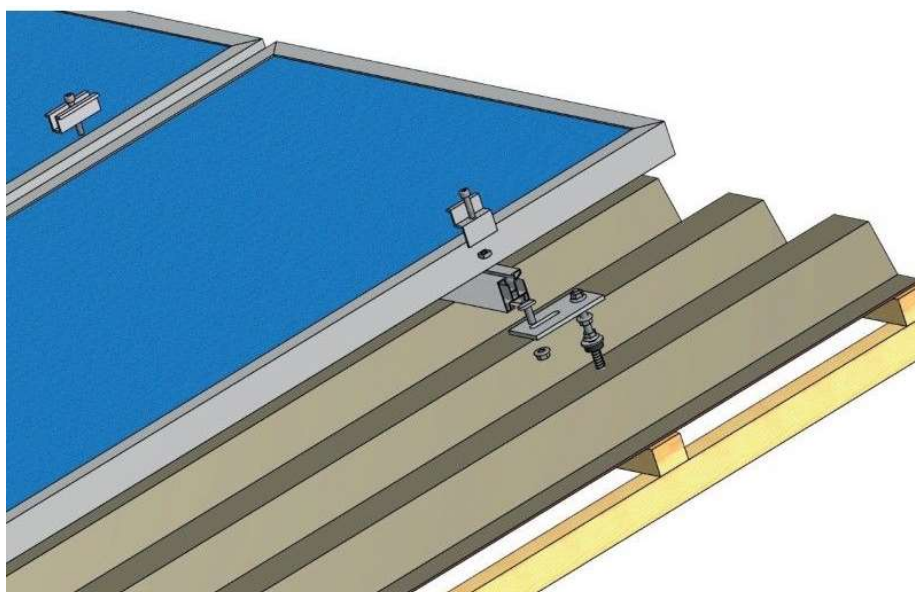


Zdroj: Nosná konstrukce FV panelu [16]

2.5.2.3 Střechy s vlnitou krytinou

U střech s krytinou např. z trapézového plechu se postupuje takto. Podložka pro upevnění hliníkové profilu se pomocí speciálního kombivrutu sešroubuje s nosnou konstrukcí pod krytinou a profil se pomocí vsunutých šroubů a matky připevní k podložce. Následně se osadí panely.[12]

Obr. 14 - Kotvení panelu ke střeše s vlnitou krytinou



Zdroj: Nosná konstrukce FV panelu [16]

Pro průchod kabelů střešním pláštěm pro falcované a trapézové plechy se používají těsnící manžety s vnějším hliníkovým rámečkem. Do panelů jsou kabely přivedeny stejně jako u střech se skládanou krytinou, tedy pomocí kabelových žlabů a profilů s kabelovými kanálky.

Obr. 15 - Kabelový prostup pro falcované a trapézové plechy



Zdroj: Produktový katalog společnosti EJOT CZ, s.r.o.[18]

2.5.3 Instalace na fasády

Instalace na fasády je možná několika způsoby. Jedním z nich je způsob podobný instalaci panelů na ploché střechy pomocí trojúhelníkových podpůrných konstrukcí. Hliníková konzola se přikotví ke svislé nosné konstrukci, k trojúhelníkovým rámům se přišroubují hliníkové vynášecí profily, na ně se osadí panely a pomocí svorek se zafixuje jejich poloha.

Obr. 16 - Trojúhelníková konstrukce pro montáž panelů na fasádu



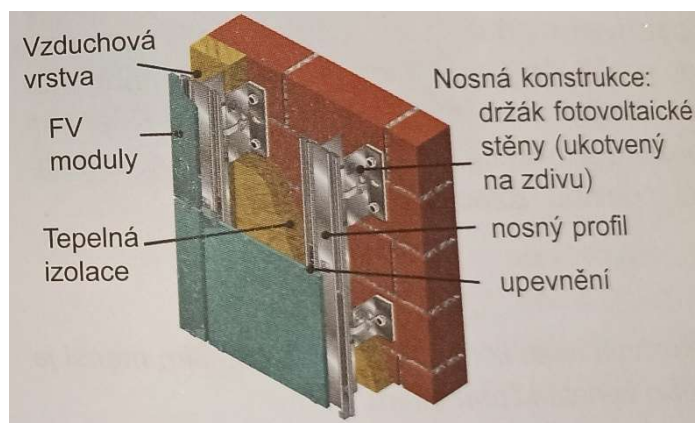
Zdroj: Produktový katalog firmy SCHLETTER SOLAR GMBH[12]

Další možností je instalovat panely rovnoběžně s nosnou konstrukcí neboli svisle. Tento způsob instalace fotovoltaických panelů se rozšířil zejména v Německu, kde je kladen vysoký důraz na využití obnovitelných zdrojů energie. Takto instalované panely mají nejen energetický význam, ale mohou posloužit jako architektonický prvek, ochrana před sluncem či hlukem. Tento druh instalace se dále rozděluje podle způsobu provedení, který je popsán v následujících třech podkapitolách.

2.5.3.1 Studené fasády

Tento druh instalace je proveden stejně jako dvouplášťová konstrukce. Na vnějším plášti, který zajišťuje ochranu před povětrnostními, akustickými či slunečními vlivy, je místo klasických obkladů osazen fotovoltaický panel. K tomuto účelu se používá systém kotvení podobný instalaci skleněných fasád. Jedná se o nosný držák fotovoltaické stěny ukotvený na zdivu (či jiné nosné konstrukci), nosný profil a v neposlední řadě upevňovací prvky. Mezi předsazenou konstrukcí a nosnou konstrukcí s tepelnou izolací vznikne provětrávaná mezera, která slouží pro odvádění vlhkosti, vodní páry a slouží jako prostor pro kabeláž.[7]

Obr. 17 - Zavěšení fotovoltaických panelů na provětrávané fasádě



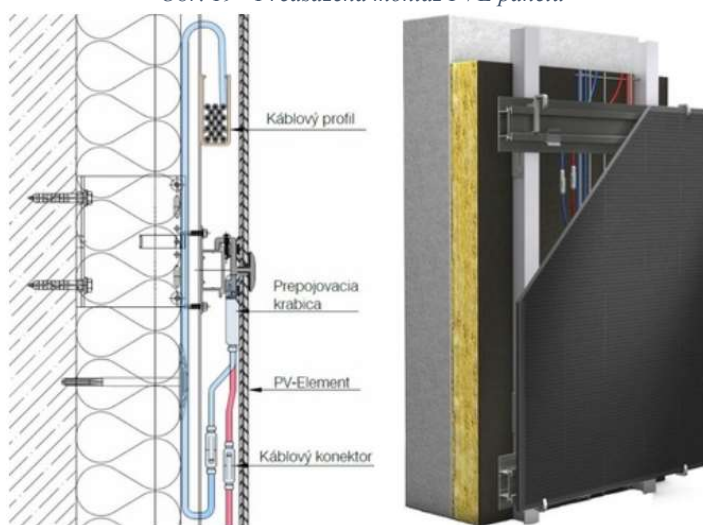
Zdroj: Fotovoltaika Budovy jako zdroj proudu, Ralf Haselhuhn[7]

Obr. 18 - Vedení kabelů v provětrávané fasádě



Zdroj: Fotovoltaika pro budovy, Kamil Staněk[3]

Obr. 19 - Předsazená montáž FVE panelů

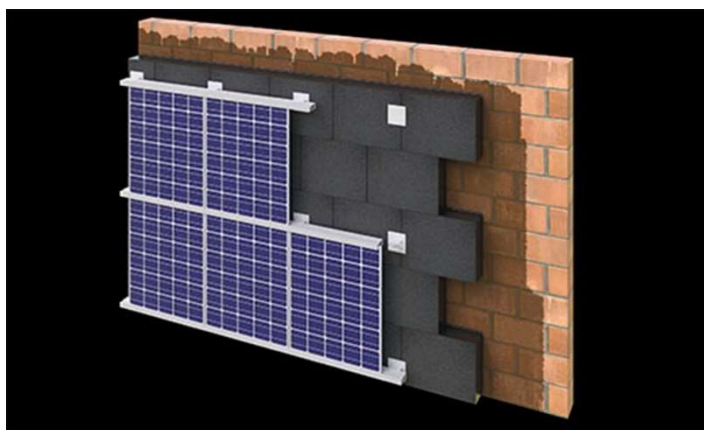


Zdroj: TZB info [19]

2.5.3.2 Teplé fasády

Teplé fasády nedisponují zadním odvětráním a panely jsou tedy kladeny rovnou na tepelnou izolaci. K tomuto účelu se používají speciální montážní profily, které dosahují co možná nejnižšího součinitele prostupu tepla U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$] a nevytváří výrazný tepelný most.[7]

Obr. 20 - Kotvení panelů přímo do zateplovacího systému



Zdroj: FOAMGLAS [20]

2.5.3.3 Lehké obvodové pláště – skleněné fasády

Jedná se o rámové konstrukce se sloupky a příčlemi. Profily jsou zde uchyceny šroubovými nebo zástrčnými spoji na rámovou konstrukci. Průchozí svislé sloupky se většinou upevňují na podlažní stropy, vodorovné příčky jsou zapuštěny mezi sloupky. Solární moduly se často montují na rámové profily pomocí přítlačných lišt. Těsnění spár zabráňuje vnikání vody. Rámová konstrukce může být provedena jako studená i teplá fasáda.

Obr. 21 - Fotovoltaické články na prosklené fasádě



Zdroj: TZB info [19]

2.6 Modelová situace osazení fotovoltaických panelů

Jak již bylo zmíněno v předchozích odstavcích, nejdůležitější roli při instalaci panelů hraje orientace ke světovým stranám a sklon, který svírá s vodorovnou rovinou. V následující části bude porovnáno množství dopadajícího slunečního záření a vyrobené elektrické energie pro konkrétní druhy střech s použitím referenční fotovoltaické elektrárny. Pro výpočet je použit polykrystalický panel, jehož parametry jsou zmíněny v následující tabulce:

Tab. 4 Fotovoltaický panel firmy Amerisolar AS-6P30-285

Fotovoltaický panel AS-6P30-285	
Rozměr	1640 x 992 x 35 mm
Hmotnost	18,5 kg
Výkon	285 Wp
Výrobní tolerance výkonu	0 ~ +3 %
Účinnost	17,52 %
Provozní teplota panelu	-40 °C - + 85°

Zdroj: Technický list firmy Amerisolar [21]

Celkový počet panelů fotovoltaické elektrárny je 10, celkový instalovaný výkon činí 2,85 kWp. Výpočet bude proveden pro lokalitu Hradec Králové. Plochy pro instalaci panelů jsou uvažovány takto:

Tab. 5 Plochy pro instalaci panelů

Druhy střech	Sklony	Azimuty
Plochá střecha	3°, 5°	0
Sedlová střecha	35°, 45°	± 22,5
Pultová střecha	15°, 25°	± 45
Stěna	90°	± 67,5
		± 90

Zdroj: Vlastní zpracování

Výpočet množství dopadajícího slunečního záření a vyrobené elektrické energie je proveden pomocí modelu PVGIS (Photovoltaic Geographical Information Systém). Tento model byl vytvořen výzkumným centrem Evropské komise. Výpočetní model využívá údaje ze satelitních měření a z pozemních meteostanic a umožňuje kalkulaci vyrobené elektřiny pro konkrétní místo v Evropě či Africe.[22]

Tab. 6 - Množství dopadajícího slunečního záření-Lokalita Hradec Králové

PVGIS		Množství dopadajícího slunečního záření [kWh/m ²]						
Orientace		Sklon						
		3	5	15	25	35	45	90
Z	90°	1175,3	1173,7	1157,9	1133,4	1100,7	1057,3	712,0
ZJZ	67,5°	1187,0	1193,1	1213,8	1219,4	1209,2	1180,8	823,3
JZ	45°	1196,9	1209,6	1260,6	1290,7	1297,3	1280,6	909,5
JJZ	22,5°	1203,5	1220,6	1291,8	1337,6	1357,0	1346,7	963,6
J	0°	1205,8	1224,3	1302,8	1354,8	1378	1371,2	981,3
JJV	-22,5°	1203,4	1220,4	1292,2	1339,8	1359,5	1351,5	970,2
JV	-45°	1196,7	1209,4	1261,3	1293,8	1303,7	1287,7	918,9
VJV	-67,5°	1186,8	1192,9	1215,1	1223,9	1216,2	1189,2	827,2
V	-90°	1175,0	1173,4	1159,3	1138,0	1108,0	1064,3	702,4

Zdroj: Výpočetní model PVGIS [23]

Tab. 7 – Množství vyprodukované elektrické energie – Lokalita Hradec Králové

PVGIS		Množství vyprodukované elektrické energie[kWh]						
Orientace		Sklon						
		3	5	15	25	35	45	90
Z	90°	2553,5	2549,7	2513,4	2458,0	2385,1	2287,9	1511,6
ZJZ	67,5°	2581,2	2595,5	2643,3	2656,0	2632,9	2569,3	1773,9
JZ	45°	2604,6	2634,2	2751,7	2819,9	2834,9	2796,5	1978,4
JJZ	22,5°	2620,3	2660,2	2824,5	2928,0	2972,5	2951,4	2106,6
J	0°	2626	2669,6	2850,9	2969,4	3023,2	3012,5	2153,2
JJV	-22,5°	2620,8	2661,0	2827,7	2937,1	2982,9	2970,1	2134,1
JV	-45°	2605,4	2635,7	2758,7	2833,6	2857,1	2825,2	2016,7
VJV	-67,5°	2582,2	2597,5	2653,7	2676,2	2660,3	2601,5	1800,6
V	-90°	2554,6	2551,8	2524,1	2480,1	2415,3	2319,3	1508,1

Zdroj: Výpočetní model PVGIS [23]

Z výše uvedených dat je patrné, že nejvyšší množství elektrické energie z fotovoltaických panelů je vyprodukováno při jižní orientaci a sklonu panelu kolem 35°, při vyšším sklonu začíná produkce klesat. Naopak se sklonem od 0° do 35° vyrobené množství elektrické energie stoupá. To je dáno lepším poměrem zachycení slunečního záření v letním a zimním období, při nižším sklonu zachytíme více energie v letním období díky tomu, že je slunce výš, naopak v zimě je slunce níž, a pro lepší zachycení slunečního záření je potřeba mít panel více naklopen. To znamená, že množství vyprodukované energie stoupá do optimálního sklonu od 30-35°. U instalací na čistý východ a západ je trend opačný. Je to dáno tím, že při horizontálním uložení jsou panely schopny pojmout více záření ze slunce i z jiných úhlů, než ke kterému jsou primárně orientovány.

Podle výpočtu vychází příznivěji instalace panelů na jihovýchod než na jihozápad. Jiné publikace však uvádí konkrétní případy z měření, kdy je instalace na jihozápad příznivější než na jihovýchod. Důvodem je vyšší oblačnost v dopoledních hodinách, což snižuje účinnost pro východní orientaci. Nicméně v odpoledních

hodinách dochází k většímu přehřívání panelů a tím i ke snížení účinnosti, ta je však stále větší než v dopoledních hodinách z důvodu zmíněné oblačnosti.[22]

Použitý výpočetní model ztráty v systému započítává, rovněž započítává i ztráty vlivem přehřívání. Započítané ztráty v modelu tedy nemusí reflektovat skutečné podmínky při provozu fotovoltaické elektrárny a pro výpočet nové fotovoltaické elektrárny je lepší mít k dispozici relevantní data získaná měřením pro konkrétní oblast.

2.7 Systémy pro ukládání elektrické energie

Vyrobenou elektrickou energii z fotovoltaických panelů někdy není možné spotřebovat okamžitě v době nejvyšší produkce. Například u rodinných či bytových domů ve většině případů uživatelé objekt opustí v ranních hodinách a vrátí se v pozdějších odpoledních, nebo večerních hodinách. To znamená, že v pravé poledne, kdy bývá produkce fotovoltaické elektrárny nejvyšší, je v objektu minimum uživatelů, kteří by energii mohli 100% využít. Vyrobenou elektrickou energii naopak potřebujeme v ranních a večerních hodinách, kdy slunce nesvítlí, ale využíváme spoustu spotřebičů využívajících elektrickou energii (osvětlení, příprava TUV apod.). K tomuto účelu je možné vyrobenou elektrickou energii akumulovat do baterií, či ji využít pro ohřev teplé vody v zásobníku.

U administrativních budov, výrobních hal, škol apod. je to naopak. Zaměstnanci a uživatelé v objektu spotřebovávají elektrickou energii v době nejvyšší produkce. Z toho důvodu záleží především na poměru navrženého množství vyrobené elektrické energie z fotovoltaické elektrárny a množství energie, kterou je objekt schopen spotřebovat během dne. Přebytková energie může být akumulována a využita např. pro noční provoz.

2.7.1 Akumulace do bateriových akumulátorů

Bateriové akumulátory se řadí mezi nejrozšířenější možnost akumulace přebytků elektrické energie. Akumulovanou energii je možné využít pro napájení osvětlení, spotřebičů a víceméně všeho, na co je systém navržen. Jelikož baterie pracují s napětím 12, resp. 24 voltů, je nutné pro rozvod do sítě v objektu použít tzv. střídače elektrického napětí, které přemění stejnosměrné napětí na standardní střídavé napětí 230 voltů. Obrovskou nevýhodou tohoto druhu akumulace je velmi malá životnost

baterií, záleží především na druhu a výrobci. Na komerčním trhu se dají pořídit baterie s životností 5–15 let (někteří výrobci uvádějí 10 let při okolní teplotě 25 °C), což je v průměru polovina životnosti fotovoltaické elektrárny, kterou požadujeme. Životnost výrobci většinou udávají v tzv. cyklech, neboli kolikrát je možno baterii nabít. Tato hodnota se pohybuje okolo 6 000 cyklů. Zároveň dochází k poklesu jejich kapacity v závislosti na stáří. Vzhledem k tomu, že u některých fotovoltaických systémů může baterie stát až polovinu pořizovací ceny celého systému, je nutné při návrhu dobře propočítat dobu návratnosti navrženého systému. Další nevýhodou této akumulace je samovybití baterie během své životnosti. Je nutné zohlednit při návrhu objektu i hořlavost baterií a tedy prostory, ve kterých budou baterie skladovány by měly splňovat zvláštní požární předpisy.[1, 24]

Výhodou tohoto druhu akumulace může být zásobování provozu z baterií i při výpadku elektrické energie ve veřejné síti.

V dnešní době se používají olovené baterie s technologií GEL, což znamená, že baterie neobsahuje elektrolyt v kapalném skupenství, ale je ztužen v hybridním gelu. Další možností jsou akumulátory na bázi lithia, kterých je několik druhů, nejčastěji však baterie LiFePO₄ – neboli Lithium Železo Fosfát. [25]

Baterie jsou vyráběny s napětím 12 V a s kapacitou v rozmezí od 100–300 Ah. Aby bylo možné zjistit, jaké množství energie v kWh je akumulátor schopen pojmout, je možné použít převodní vzorec:

$$\text{Ah} \times \text{V} = \text{Wh}$$

Tedy v případě, kdy máme baterii o kapacitě 200 Ah s napětím 12 V, můžeme předpokládat, že množství elektrické energie, které můžeme do baterie uložit, se bude pohybovat okolo 2 400 Wh = 2,4 kWh.

Baterie by během své životnosti měly být nabitě minimálně na 20 % (resp. maximální míra vybití je 80 %). Výrobci dále uvádějí míru samovybití kapacity baterie okolo 1 % za měsíc, záleží ovšem na stáří baterie.

Účinnost uložení elektrické energie se dá vyjádřit ztrátami po cestě od panelu k baterii. Jedná se především o tyto ztráty: střídač = 4,5 %, kabeláž = 1,5 %, střídavé ztráty = 1,5 % [7], celkově se dá říct, že účinnost ukládání elektrické energie do bateriových akumulátorů se pohybuje kolem 92,5 %. To znamená, že z jedné vyrobené kWh se do baterie uloží přibližně 925 Wh.

2.7.2 Akumulace do ohřevu teplé vody

Další využívanou možností, jak akumulovat přebytečnou energii z fotovoltaické elektrárny, je ve formě tepelné energie v tepelných zásobnících. V zásobníku je elektrická odporová spirála, která je v případě přebytků napájena z FVE elektrárny. V momentě, kdy je v domácnosti nedostatek elektrické energie, je ohřev vody automaticky odpojen. Topné spirály v zásobníku jsou vyráběny buďto s napájením na stejnosměrné napětí, nebo může být konstruována standardně na střídavé elektrické napětí. V takovém případě musí být v systému střídač. V případě elektrárny s velkým výkonem je možné zásobovat energií zásobník se spirálami jak pro teplou vodu, tak pro vytápění.

Nevýhodou této metody jsou rozměry akumulčních zásobníků, které mají objemy v řádech několika set litrů.[24]

Účinnost výroby teplé vody elektrickou energií se podle ČSN 73 0331 Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet – Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data, pohybuje v rozmezí 95–99 %. Ztráty v systému jsou stejné jako v předchozí kapitole (střídač, kabeláž, střídavé ztráty), tedy 7,5 %. Níže je uveden krátký příklad výpočtu množství energie, které musí fotovoltaické panely vyrobit k ohřátí vody v zásobníku o objemu 300 l.

Veličina	Značka	Jednotka	Hodnota
Měrná tepelná kapacita	c	J/(kg·K)	4 180
Objem zásobníku	V	m ³	0,30
Objemová hmotnost vody	ρ	kg/m ³	1 000
Teplota teplé vody	t ₁	K	10
Teplota studené vody	t ₂	K	55
Účinnost výroby teplé vody elektrickou energií	η ₁	-	0,98
Ztráty v systému	η ₂	-	0,075
Celková účinnost	η	-	0,905

Zdroj: Vlastní zpracování

Přepočet měrné tepelné kapacity z joulů na watthodiny:

$$W = \frac{J}{s} \Rightarrow Ws = J \Rightarrow Wh = 3600 * J \Rightarrow J = \frac{Wh}{3600}$$
$$c = 4180 J = \frac{4180}{3600} Wh \Rightarrow c = 1,16 Wh/(kg \cdot K)$$

Výpočet energie potřebného k ohřátí 300 l vody:

$$E = V * \rho * c * (t_1 - t_2)$$
$$E = 0,30 * 1000 * 1,16 * (55 - 10)$$
$$E = 15,7 kWh$$

$$E_{real} = \frac{E}{\eta} = \frac{15,7}{0,905} = 17,35 kWh$$

Aby bylo možné ohřát zásobník teplé vody o objemu 300 l, musela by fotovoltaická elektrárna vyprodukovat 17,35 kWh elektrické energie.

2.7.3 Virtuální baterie

Virtuální baterie je alternativním řešením akumulace přebytečné energie. Nejedná se totiž o akumulaci v pravém slova smyslu. V momentě, kdy nejste schopni odebrat vyrobenou elektřinu z fotovoltaické elektrárny, nabízejí distributoři elektrické energie možnost dodat přebytky do veřejné sítě. Později si tuto elektrickou energii můžete za zvýhodněných podmínek odkoupit v době, kdy energii nejvíc potřebujete. Množství dodané i spotřebované energie hlídá elektroměr.

Díky této možnosti odpadá investice na akumulační prostředky (baterie, zásobník TUV apod.). V praxi to ovšem znamená, že stejný problém ve stejnou chvíli řeší více domácností, a proto v čase energetického přebytku od nás dodavatel bude energii vykupovat a hledat pro ni zákazníka. Naopak ve večerních hodinách, kdy máme energie nedostatek, musí dodavatel energii nakoupit na trhu a distribuovat ji do našeho objektu. Cena energie se však liší. V době naší dodávky bývá nižší než při odběru. Tyto náklady dodavatel musí pokrýt, nejčastěji prostřednictvím paušálů, poplatků a omezení. U této metody akumulace jsou rozhodujícím faktorem podmínky od distributora elektrické energie a nelze předem říct, zdali se vyplatí či nikoliv.[26]

Účinnost této akumulace by se dala považovat téměř za 100%, jelikož si můžeme odkoupit veškerou energii, kterou jsme do systému vložili, záleží spíše na ekonomickém vyhodnocení.

2.7.4 Úložiště elektřiny na bázi gravitace

Tento způsob ukládání energie lze využít několika způsoby. Jedním z nich je přečerpávání vody ve vodních elektrárnách. Během noci využívají přebytečnou energii k přečerpávání vody do výše položené nádrže. V průběhu dne, kdy je energie nedostatek, se voda vypouští do níže položené nádrže přes turbínu, která vyrábí elektrickou energii.

Na podobném principu pracují i gravitační věže. Pro jejich fungování je potřeba velká výška v řádech stovek metrů (optimálně 1 500 m). K tomuto účelu lze využít například staré opuštěné doly a šachty. Na věži je závaží (některé zdroje uvádějí hmotnost 500–5 000 tun), které je během energetického přebytku vytahováno nahoru a v případě nedostatku je naopak spouštěno dolů a tím generuje elektrickou energii. Výhodou tohoto systému je vysoká životnost, aniž by se snižovala účinnost. Celý systém má rychlý náběh a plný výkon lze získat v řádech několika sekund. Dále je možné výkyvy potřeby energie regulovat rychlostí spouštěním břemene. Účinnost tohoto systému se pohybuje mezi 80–90 %.[27, 28]

2.7.5 Setrvačnickový akumulátor

Jeho princip spočívá v roztočení kotouče o velké hmotnosti. V momentě, kdy dojde k odpojení od sítě kotouč setrvačností dále rotuje a stává se tak sám zdrojem kinetické energie. Setrvačnickové zásobníky jsou využívány v průmyslu pro krátkodobou rychlou regulaci. Umožňují rychlou reakci a přesné udržování stabilní frekvence, což je výhodou například u zařízení, která jsou citlivá na změny v dodávce elektrické energie. Jejich účinnost se pohybuje kolem 80 %. Využívají se také tam, kde je žádoucí nashromáždit značnou část energie a pak po velmi krátkou dobu realizovat velmi velký výkon.[29]

2.7.6 Výroba vodíku

Akumulace do vodíku neboli P2G (Power to gas) je jednou z progresivních metod ukládání elektrické energie. Principiálně se jedná o elektrolýzu vody. Stejnoseměrný proud při průchodu vodou od jedné elektrody ke druhé rozštěpí chemickou vazbu mezi vodíkem a kyslíkem. Na katodě kladný vodíkový iont reaguje a uvolňuje se vodíkový plyn. Naopak na anodě dochází k produkci kyslíku. Elektrolýza se pro výrobu vodíku dělí na alkalickou elektrolýzu, jejíž účinnost se pohybuje v rozmezí 62-82 % a na

vodíkovou elektrolýzu jejíž účinnost je 67-82 %.[30] Výstupek je kyslík a čistý vodík. Pro výrobu 1 kg vodíku je potřeba 9 kg vody a 60 kWh elektrické energie. Tento způsob výroby lze využít i při poměrně nízkých teplotách (pokojová teplota). Zároveň vodík nemá energetické ztráty a nepodléhá samovybíjení, a proto je výhodný např. pro dlouhodobější ukládání energie.

Vyrobený vodík má řadu využití. Jedním z nich je nový vývoj v oblasti vodíkových automobilů, kde při jeho spalování vzniká ekologicky nezávadná voda a oxid dusíku. Dále je možné vodík použít pro vytápění domácností či pro výrobu oceli apod.

Nevýhody vodíku jsou především hořlavost při kontaktu se vzduchem a jeho velmi nízká hmotnost. Z toho důvodu musí být skladován ve vysokotlakých nádobách z nízkouhlíkové oceli bez svarů. Je přechováván pod tlakem okolo 20 MPa. Je možné vodík skladovat i ve zkapalněné formě, pro tuto formu je ale nutné vodík ochladit na teplotu - 253°C.[29]

2.7.7 Porovnání účinností jednotlivých druhů akumulace

Tab. 8 - Porovnání účinností jednotlivých druhů akumulace

Druh akumulace	Účinnost [%]
Bateriové akumulátory	92,5
Akumulace do teplé vody	87,5 – 91,5
Virtuální baterie	~100
Akumulace na bázi gravitace	80-90
Setrvačnickové akumulátory	80
Výroba vodíku	62-82

Zdroj: Vlastní zpracování

2.8 Spotřeba elektřiny v průběhu provozu různých typů budov

Spotřeba elektrické energie je jeden z faktorů potřebný k předběžnému určení výkonu fotovoltaické elektrárny. Výkon elektrárny by měl být nadimenzován úměrně ke spotřebě elektrické energie spotřebované v daném objektu. Vyšší instalovaný

výkon znamená více vyprodukované elektrické energie, s tím jsou spojené vyšší náklady na akumulaci přebytku, který se nevyužije. Množství energie, které se v objektu spotřebuje v dané hodině lze určit pomocí vyhlášky č. 408/2015 Sb. – Vyhláška o pravidlech trhu s elektřinou – Příloha 6, kde nalezneme třídy odběru. Tyto třídy pak použijeme v tzv. typových diagramech dodávek neboli TDD, které jsou normalizované, zveřejňuje je operátor trhu s energiemi. Tímto způsobem je možné dopočítat množství spotřebované energie pro každou hodinu v roce.

Tab. 9 - Příloha 6 k vyhlášce č. 408/2015 Sb.

Třída	Typ zákazníka	Charakter odběru	Pevné ceny distribuce podle rozhodnutí Úřadu cenového
1	Odběratel kategorie C	- odběr bez tepelného využití elektřiny	- C01d; C02d; C03d
2	Odběratel kategorie C	- odběr s akumulačním spotřebičem	- C25d; C26d; C27d
		- odběr s hybridním vytápěním	- C35d
3	Odběratel kategorie C	- odběr s přímotopným systémem vytápění	- C45d; C46d; C55d,
		- odběr s tepelným čerpadlem	- C56d
4	Odběratel kategorie D	- odběr bez tepelného využití elektřiny	- D01d; D02d; D61d
5	Odběratel kategorie D	- odběr s akumulačním spotřebičem	- D25d; D26d; D27d
6	Odběratel kategorie D	- odběr s hybridním vytápěním	- D35d
7	Odběratel kategorie D	- odběr s přímotopným systémem vytápění	- D45d; D57d
		- odběr s tepelným čerpadlem	- D56d
8	Odběratel kategorie C	- odběr pro veřejné osvětlení	- C62d

Zdroj: Vyhláška č. 408/2015 Sb. Vyhláška o pravidlech trhu s elektřinou [31]

Tab. 10 - Ukázka odběrů pro jednotlivé třídy [kWh]

Normalizované TDD - 2022

Den	Hodina	Poř. č. hod. v roce	TDD1 ČR	TDD2 ČR	TDD3 ČR	TDD4 ČR	TDD5 Jižní Čechy
01.01.2022	1	1	0,40987	0,65165	0,51669	0,44030	0,41770
01.01.2022	2	2	0,40530	0,68234	0,49035	0,36890	0,34566
01.01.2022	3	3	0,37864	0,63151	0,51462	0,29874	0,45449
01.01.2022	4	4	0,35824	0,58874	0,48641	0,28252	0,48886
01.01.2022	5	5	0,35460	0,54851	0,50255	0,27004	0,45336
01.01.2022	6	6	0,35133	0,51419	0,53364	0,26746	0,48720
01.01.2022	7	7	0,36100	0,46259	0,53975	0,27447	0,38559
01.01.2022	8	8	0,37627	0,41959	0,54244	0,33819	0,32348
01.01.2022	9	9	0,38212	0,41160	0,54462	0,41631	0,41390

Zdroj: OTE a. s. [32]

3 Praktická část

3.1 Charakteristika vybraného areálu

Pro návrh fotovoltaické elektrárny byl vybrán areál, který se zabývá kovovýrobou. Součástí areálu jsou následující objekty: administrativní budova, dílna, objekt sloužící jako technické zázemí, objekt pronajímaný k administrativním účelům a objekt využívaný jako sociální zařízení a archiv. Administrativní budova a dílna budou rekonstruovány. V rámci rekonstrukce dojde k zateplení objektů (stěny a střecha), výměně oken a instalaci fotovoltaických panelů na střechy objektů.

3.1.1 Vytápění

Areál je vytápěn pomocí centrálního zásobování teplem. K tomu účelu se v areálu nachází 4 technické místnosti s měřením, rozdělovači a zásobníky, které zajišťují přívod tepla z předávací stanice nacházející se nedaleko areálu. Jednotlivé objekty jsou vytápěny pomocí článkových radiátorů kromě dílny, která je vytápěna pomocí radiátorů z vinutých trubek.[33]

3.1.2 Příprava teplé vody

Pro budovu administrativy, pronajatou budovu a pro přístavek administrativní budovy je v jedné technické místnosti nainstalován bojler o celkovém objemu 1 000 l. Přes léto je bojler ohříván elektrickou energií pomocí elektrické patrony a v zimě je využíváno CZT. Pro sociální budovu jsou v technické místnosti instalovány zásobníky teplé vody o celkovém objemu 4 000 l. V budově dílny je instalován bojler o objemu 120 l.[33]

3.1.3 Větrání

Větrání všech budov je přirozené, nejsou zde instalovány žádné vzduchotechnické jednotky.[33]

3.1.4 Osvětlení

V celém areálu je osvětlení s celkovým příkonem 19 kW.[33]

3.1.5 Chlazení

Chlazení je instalováno pouze v administrativní budově, klimatizační jednotky jsou realizovány jako multi-split systém.[33]

3.1.6 Technologie a ostatní

V dílně se nachází lisovací stroje, průmyslové jeřáby, hydraulická technika apod.[33]

3.1.7 Popis vybraných objektů pro instalaci fotovoltaických panelů

Administrativní budova je nepodsklepený, třípodlažní objekt obdélníkového půdorysu o celkových rozměrech 27,6 x 11,6 m. Střecha je plochá se sklonem 3 %.

Dílna je jednopodlažní nepodsklepená hala, objekt je obdélníkového půdorysu o celkových rozměrech 43,9 x 18,5 m. Střecha je plochá se sklonem 6 %.

Spotřeba elektrické energie, která je důležitá pro následující výpočty, není měřena pro každý objekt zvlášť, ale je měřena pro celý areál. Spotřeba elektrické energie celého areálu činí **1 258,818 MWh**.

3.2 Popis vybraného fotovoltaického systému

Jak již bylo zmíněno výše, fotovoltaické panely se budou instalovat na střechu administrativní budovy a dílny. Pro osazení panelů na střechy objektů bylo vybráno systémové řešení společnosti SCHLETTER SOLAR GMBH [12], konkrétně se jedná o systém FIXGRID 18.

Obr. 22 - Systém pro montáž fotovoltaických panelů FIXGRID 18



Zdroj: Montážní prospekty společnosti SCHLETTER SOLAR GMBH[12]

Instalace systému bude detailně popsána v kapitole 3.10. Na tento systém se budou osazovat panely společnosti Amerisolar, jde konkrétně o typ AS-6M144-HC-450 Wp, jejichž parametry jsou popsány v následující tabulce.

Tab. 11 - Parametry fotovoltaického panelu Amerisolar AS-6M144-HC-450Wp

Parametr	Hodnota
Rozměry	2102x1040x35 mm
Hmotnost	24 kg
Maximální výkon	450 Wp
Účinnost panelu	20,58%
Typ článku	Monokrystalický
Počet článků	144
Provozní teplota článku	-40°C – +85°C
Jmenovitá provozní teplota článku	43°C ± 2°C
Teplotní koeficient výkonu	-0,36%/°C
Azimut	Jihovýchod = -45°
Sklon panelů	14°, 9°, 15°

Zdroj: Technický list firmy Amerisolar[21]

Pro každou dvojici panelů budou instalovány tzv. výkonové optimalizéry, které zajistí bod maximálního výkonu pro dva zapojené panely. Zároveň zabezpečí beznapěťový stav na svém výstupu v případě odpojení střídače od sítě, a tím umožní bezpečný servis popřípadě požární zásah.

Fotovoltaický systém bude vyrobenou energií zásobovat celý areál. Kabelosvody budou taženy po fasádě do místa instalace střídačů a následně do rozvaděčů pro fotovoltaickou elektrárnu, odtud budou vedeny v zemi do pojistkové skříně pro vyvedení výkonu do stávajících rozvodů v areálu.

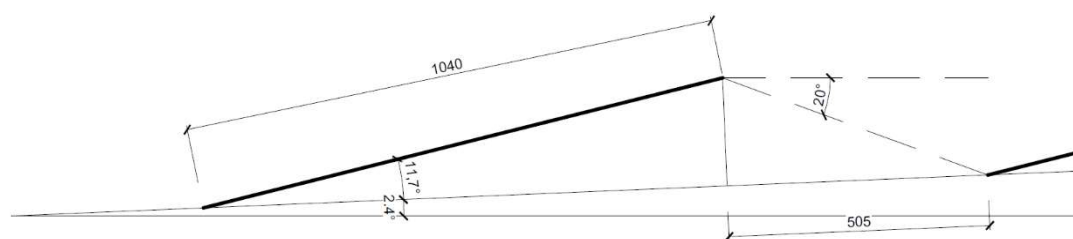
3.3 Návrh počtu a rozložení fotovoltaických panelů

Na střechy objektů administrativní budovy a dílny budou instalovány panely, které jsou popsány na předchozí stránce, jedná se o panel Amerisolar AS-6M144-HC-450Wp.

3.3.1 Počet panelů na střechě administrativní budovy

Pro návrh rozložení panelů v ploše střechy je důležité stanovit odstup mezi jednotlivými panely. Úhel dopadu slunečního záření byl stanoven na 20° . Úhel, který svírá panel s rovinou střechy je $11,7^\circ$. Při použití většího sklonu panelů, který by byl optimálnější z hlediska jejich výkonu, se počet panelů zredukoval o celou jednu řadu. S ohledem na celkovou bilanci je výhodnější instalovat více panelů s nižším sklonem.

Obr. 23 – Stanovení odstupové vzdálenosti FVE panelů na střechě administrativní budovy



Zdroj: Vlastní zpracování

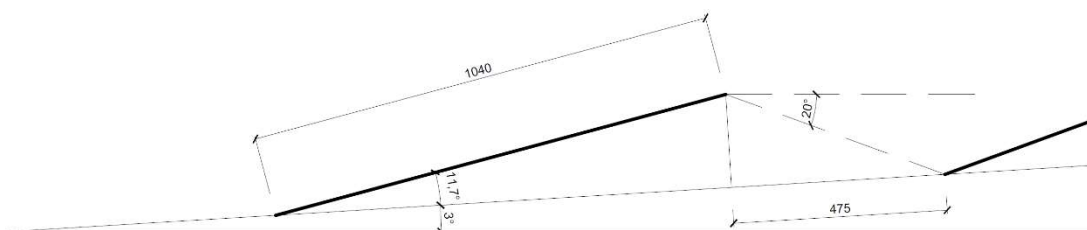
Odstup mezi panely musí být minimálně 505 mm. Pro montáž panelů byl zvolen odstup 600 mm z důvodu vytvoření uliček pro případné udržovací práce. Na střechě administrativní budovy se dále nachází odvětrání kanalizace, výlez na střechu a pro odvod dešťové vody jsou po obvodu instalovány okapové žlaby. Z důvodu udržovacích prací (např. kontrola stavu hydroizolace, kontrola panelů, čištění okapových žlabů, čištění odvětrání kanalizace apod.) jsou na střechě vytvořeny koridory o minimální šířce 1 000 mm, které zajišťují průchod k místům s potřebou údržby. Rozložení panelů a odstupové vzdálenosti jsou patrné z výkresu střechy, který je označen jako **Příloha 1**.

Celkem je na střechu administrativní budovy instalováno 59 fotovoltaických panelů o celkovém výkonu 26,55 kWp.

3.3.2 Počet panelů na střeše dílny

Úhel dopadu slunečního záření byl stanoven na 20°. Úhel, který svírá panel s rovinou střechy je 11,7°. I v tomto případě by vyšší sklon znamenal redukci počtu panelů.

Obr. 24 - Stanovení odstupové vzdálenosti FVE panelů na střeše dílny



Zdroj. Vlastní zpracování

Odstup mezi panely by měl být minimálně 475 mm. Na střeše dílny se kromě okapových žlabů nenachází žádné prvky, které by podléhaly pravidelné údržbě. Odstupová vzdálenost mezi panely je 650 mm. Po obvodě jsou opět vytvořeny koridory pro kontrolu a čištění okapových žlabů. Šířka koridoru je minimálně 1 000 mm od hrany střechy. Rozložení panelů a odstupové vzdálenosti jsou patrné z výkresu střechy, který je označen jako **Příloha 1**.

Celkem je na střechu dílny instalováno 70 fotovoltaických panelů o celkovém výkonu 31,5 kWp.

3.4 Posouzení únosnosti střešní konstrukce

Výpočet přetížení od fotovoltaického panelu:

Váha panelu – 24 kg

Váha podpůrné konstrukce stanovena na 10 kg

Rozměry panelu: 2,1 x 1,04 = 2,184 m².

Při přepočtu na 1 m² zatěžované plochy získáme:

$$\frac{1 \text{ m}^2}{2,184 \text{ m}^2} = 0,458$$

$$0,458 * (24 + 10) = 15,6 \text{ kg/m}^2$$

Přítížení konstrukce

Podle systémového řešení se na vodící profily osazují betonové dlaždice velikosti 100x200x60 mm. Tyto dlaždice váží okolo 2,5 kg. Na jednu vodící lištu se dá naskládat 5 dlaždic. Pro jeden panel o ploše 2,184 m² to znamená 10 dlaždic x 2,5 kg = 25 kg.

$$\text{Na } 1 \text{ m}^2 = 0,458 * 25 = 11,45 \text{ kg/m}^2.$$

3.4.1 Popis stávajícího nosného systému pro administrativní budovu

Jedná se o třípodlažní, nepodsklepený objekt o celkových půdorysných rozměrech 27,6 x 11,65 m. Výška objektu je 9,3 m. Výstavba objektu se předpokládá v 60. letech 20. století.

Svislý nosný konstrukční systém je stěnový – podélný. Svislé konstrukce jsou zděné z plných cihel tloušťky 375 mm.

Vodorovné konstrukce jsou tvořeny stropními nosníky I průřezu – nosníky PZT (železobetonové prefabrikované nosníky). Nosníky jsou kladeny v rozpětí 600 mm. Mezi nosníky jsou kladeny vložky ze struskobetonu – vložky PLM 1-30. Nosníky jsou pokládány v příčném směru na obvodové stěny a vnitřní nosné podélné stěny. Rozpon stropní konstrukce je 4,2 m.

V místě schodiště je stropní konstrukce zhotovena z dutinových panelů výšky 140 mm a šířky 300 mm. Panely jsou kladeny v podélném směru a jsou uloženy na schodišťových stěnách. Rozpon je 2,5 m.

3.4.1.1 Skladba střechy

Stávající skladba:

- Stropní konstrukce (stropní nosníky + vložky nebo dutinové panely)
- Cementový potěr tl. 50 mm
- Heraklit tl. 60 mm
- Škvára tl. 140 mm
- Cementový potěr tl. 40 mm
- Souvrství z asfaltových pásů tl. 40 mm
- Tepelná izolace z minerální vlny tl. 2x50 mm
- Souvrství asfaltových pásů tl. 10 mm

Nová skladba:

- Stropní konstrukce (stropní nosníky + vložky nebo dutinové panely)
- Cementový potěr tl. 50 mm
- Penetrační asfaltový nátěr
- Parozábrana z SBS modifikovaného asfaltového pásu tl. 4 mm
- Spádové klíny z EPS (min. 40 mm, max. 220 mm)
- EPS 200 tl. 100 mm
- EPS 200 tl. 120 mm
- Separační sklovláknitá textilie 500 g/m²
- Hydroizolační fólie PVC-P tl. 1,8 mm

Tab. 12 - Zatížení stávajícího střešního pláště

Konstrukce	Obj. hmotnost [kg/m ³]	Tloušťka [m]	Zatížení [kg/m ²]	Char. Zatížení [kN/m ²]
Heraklit	330	0,06	19,8	0,198
Škvára	750	0,14	105	1,05
Cementový potěr	2000	0,04	80	0,8
Asfaltové pásy	1280	0,008	10,2	0,102
Tepelná izolace z minerální vlny	100	0,100	10	0,1
Asfaltové pásy	1280	0,004	5,12	0,051
Charakteristické stálé zatížení g_K				2,301
Návrhové zatížení g_D = g_K*1,35				3,106

Zdroj: Vlastní zpraování

Tab. 13 - Zatížení nového střešního pláště

Konstrukce	Obj. hmotnost [kg/m ³]	Tloušťka [m]	Zatížení [kg/m ²]	Char. Zatížení [kN/m ²]
Parozábrana SBS pásy	-	0,004	4,50	0,045
EPS – spádové klíny	30	0,220	6,60	0,066
EPS 200	30	0,220	6,60	0,066
Geotextilie	-	-	0,50	0,005
Hydroizolace PVC-P	-	0,0018	2,20	0,022
FVE panely	-	-	15,60	0,156
Přítížení	-	-	11,45	0,115
Charakteristické stálé zatížení g_K				0,475
Návrhové zatížení g_D = g_K*1,35				0,641

Zdroj: Vlastní zpracování

3.4.1.1 Posouzení únosnosti střešní konstrukce

Z výše uvedených tabulek je patrné, že nový střešní plášť s fotovoltaickými panely bude mít menší plošné zatížení než stávající konstrukce. Není tedy nutné provádět statický výpočet.

$$g_{D, stáv. stav} \geq g_{D, navrh. sta}$$

$$3,106 \text{ kN/m}^2 \geq 0,641 \text{ kN/m}^2$$

V charakteristickém stavu:

$$230 \text{ kg/m}^2 \geq 47,45 \text{ kg/m}^2$$

3.4.2 Popis nosné konstrukce budovy dílny

Jedná se o halový objekt. Vnitřní půdorysné rozměry jsou 17,8 x 35,5 m. Výška haly je 6,35 m. Objekt slouží jako strojírenské výrobní prostory. Objekt byl postaven ve druhé polovině 70. let 20. století.

Svislý nosný konstrukční systém je stěnový – podélný. Svislé konstrukce jsou zděné tl. 250 mm.

Vodorovný nosný systém je tvořen ocelovými vazníky. Vazníky mají rozpon 18 m, rozteče vazníků jsou 6 m. Výška vazníku v hřebeni je 1,85 m. Vazník je tvořen spodním pásem z plechu P25 šířky 100 mm. Horní pás je z úhelníku L120x12. Diagonály jsou ze složených úhelníků 2xL40x5 a 2xL45x5. Vazníky jsou zavětrovány ve střešní rovině trubkovým ztužením.

3.4.2.1 Skladba střechy

Stávající skladba:

- Souvrství z asfaltových pásů tl. 15 mm
- Tepelná izolace z minerální vlny tl. 60 mm
- Lignopor (EPS + Heraklit) tl. 50 mm
- Parozábrana z asfaltových pásů tl. 5 mm
- Betonový střešní panel, tl. 40 mm
- Ocelový vazník

Nová skladba

- Fólie PVC-P určena k mechanickému kotvení tl. 1,8 mm
- Separáčnı sklovláknitá netkaná textilie 500 g/m²
- EPS 200 tl. 120 mm
- EPS 200 tl. 100 mm
- Parozábrana z SBS modifikovaného asfaltového pásu tl. 4 mm
- Penetrační nátěr
- Střešní betonový panel tl. 40 mm
- Ocelový vazník

Tab. 14 - Zatížení stávajícího střešního pláště

Konstrukce	Obj. hmotnost [kg/m ³]	Tloušťka [m]	Zatížení [kg/m ²]	Char. Zatížení [kN/m ²]
Asfaltové pásy	1280	0,005	6,40	0,064
Lignopor (EPS + Heraklit)	500	0,050	25,00	0,250
TI z minerální vlny	100	0,060	6,00	0,060
Asfaltové pásy	1280	0,015	19,20	0,192
Charakteristické stálé zatížení g_K				0,566
Návrhové zatížení g_D = g_K*1,35				0,764

Zdroj: Vlastní zpracování

Tab. 15 - Zatížení nového střešního pláště

Konstrukce	Obj. hmotnost [kg/m ³]	Tloušťka [m]	Zatížení [kg/m ²]	Char. Zatížení [kN/m ²]
Parozábrana SBS pásy	-	0,004	4,50	0,045
EPS 200	30	0,220	6,60	0,066
Geotextilie	-	-	0,50	0,005
Hydroizolace PVC-P	-	0,0018	2,20	0,022
FVE panely	-	-	15,60	0,156
Přetížení	-	-	11,45	0,115
Charakteristické stálé zatížení g_K				0,409
Návrhové zatížení g_D = g_K*1,35				0,552

Zdroj: Vlastní zpracování

3.4.2.2 Posouzení únosnosti střešní konstrukce

Z výše uvedených tabulek je patrné, že nový střešní plášť s fotovoltaickými panely bude mít menší plošné zatížení než stávající konstrukce. Není tedy nutné provádět statický výpočet.

$$g_{D,stáv.stav} \geq g_{D,navr .stav}$$

$$0,764 \text{ kN/m}^2 \geq 0,552 \text{ kN/m}^2$$

V charakteristickém stavu:

$$56,6 \text{ kg/m}^2 \geq 40,85 \text{ kg/m}^2$$

3.4.3 Vyhodnocení

Oba objekty vyhovují z hlediska únosnosti pro instalaci fotovoltaických panelů. U administrativní budovy nesmí nový střešní plášť s fotovoltaickými panely přesáhnout zatížení 3,106 kN/m². To znamená, že zatížení v charakteristickém stavu nesmí být větší než 230 kg/m².

U budovy dílny nesmí nový střešní plášť s fotovoltaickými panely přesáhnout zatížení 0,764 kN/m². V charakteristickém stavu to znamená, že zatížení nesmí být větší než 56,6 kg/m².

3.5 Bilance využití elektrické energie v areálu

V rámci návrhu fotovoltaické elektrárny je nutné stanovit bilanci elektrických ztrát a zisků. Ztráty elektrické energie, respektive množství spotřebované elektrické energie je známé a může být použito pro následující výpočty. Pro finální porovnání využití vyprodukované elektrické energie z fotovoltaických panelů je nutné znát odběry elektrické energie pro každou hodinu v roce, rovněž musíme pro každou hodinu znát i množství vyprodukované elektrické energie. Principy výpočtu jsou znázorněny v následujících odstavcích. Celý výpočet byl proveden v programu MS Excel, který je označen jako **Příloha 2**.

3.5.1 Výpočet spotřebované elektrické energie v průběhu roku

Pro výpočet využití elektrické energie v jednotlivých hodinách v průběhu roku byly využity normované typové diagramy spotřeb elektrické energie. Konkrétně se jedná o typový diagram označen jako TDD1, neboli odběr určený pro podnikatele bez

tepelného využití elektřiny. Výpočet byl proveden na základě známé celkové spotřeby elektrické energie pro celý areál za 1 rok. Celková spotřeba se díky hodnotám z typového diagramu přepočte na odběry v každé hodině pro celý rok. Díky tomuto kroku lze získat data, která lze v následujících výpočtech použít pro porovnání s vyrobenou elektrickou energií z fotovoltaických panelů. V následující tabulce jsou zmíněny parametry pro ukázkou přepočtu celkové spotřebované elektrické energie za rok na energii spotřebovanou v 1 hodině.

Tab. 16 - Parametry pro výpočet spotřebované elektrické energie pro vybranou hodinu v roce

Použitá data pro výpočet	Označení	Hodnota
Celková spotřebovaná elektrická energie	E_{rok}	1 258,818 MWh
Koeficient spotřeby elektrické energie pro den 1. hodinu, 1. ledna 2022 podle TDD1	K_1	0,40987
Suma koeficientů TDD1 pro každou hodinu v roce	K_{suma}	4 468,44

Zdroj: Celková spotřeba elektrické energie - energetický posudek společnosti

Anyloplex plus s.r.o.[33]. Normové typové diagramy - veřejně dostupné stránky společnosti OTE, a.s.[32].

Výpočet spotřebované elektrické energie pro 1. hodinu 1. ledna 2022

$$E_{1.h} = K_1 * \left(\frac{E_{rok} * 1000}{K_{suma}} \right)$$

$$E_{1.h} = 0,40987 * \left(\frac{1\ 258\ 818}{4\ 468,44} \right)$$

$$E_{1.h} = 115,47\ kWh$$

Výpočet byl proveden pomocí programu MS Excel pro každou hodinu v roce. Na následujícím obrázku je ukázán výsek výpočtu.

Tab. 17 - Ukázka výpočtu spotřebované elektrické energie

Datum	Hodina	Hodina v roce	Hodnoty z typového diagramu	Absolutní hodinový odběr
Den	-	-	TDD1	-
-	-	-	-	kWh
1. leden 2022	1	1	0,40987	115,46584
1. leden 2022	2	2	0,40530	114,17841
1. leden 2022	3	3	0,37864	106,66793
1. leden 2022	4	4	0,35824	100,92098
1. leden 2022	5	5	0,35460	99,89555
1. leden 2022	6	6	0,35133	98,97434
1. leden 2022	7	7	0,36100	101,69851
1. leden 2022	8	8	0,37627	106,00027
1. leden 2022	9	9	0,38212	107,64830
1. leden 2022	10	10	0,41140	115,89686
1. leden 2022	11	11	0,45209	127,35978
1. leden 2022	12	12	0,45192	127,31189
1. leden 2022	13	13	0,46186	130,11212
1. leden 2022	14	14	0,45251	127,47810
1. leden 2022	15	15	0,46082	129,81914
1. leden 2022	16	16	0,47428	133,61100
1. leden 2022	17	17	0,51187	144,20060
1. leden 2022	18	18	0,50106	141,15528
1. leden 2022	19	19	0,49579	139,67065
1. leden 2022	20	20	0,46578	131,21643
1. leden 2022	21	21	0,44514	125,40187
1. leden 2022	22	22	0,42604	120,02115
1. leden 2022	23	23	0,39899	112,40080

Zdroj: Vlastní zpracování

Celkové odběry pro jednotlivé měsíce v roce znázorňuje tabulka níže.

Tab. 18 - Spotřeba elektrické energie v jednotlivých měsících

Měsíce	Spotřeba elektrické energie [kWh]
Leden	125 847,05
Únor	112 399,56
Březen	115 606,10
Duben	97 245,60
Květen	98 706,79
Červen	93 000,28
Červenec	90 416,84
Srpen	93 974,08
Září	92 710,788
Říjen	105 175,86
Listopad	116 568,25
Prosinec	117 166,71
Suma	1 258 818

Zdroj: Vlastní zpracování

3.5.2 Výpočet produkce fotovoltaické elektrárny

Podobně jako v předchozím odstavci, i u výroby elektrické energie z fotovoltaických panelů je důležité vypočítat produkci pro každou hodinu v roce, aby bylo možné porovnat, zda se v danou hodinu vyrobená energie využije či nikoliv a zda je žádoucí přebytečnou energii akumulovat. Výpočet byl proveden pomocí softwaru Energie 2020 od společnosti K-CAD s.r.o.[34]. Celkem je na střeše objektu instalováno 129 kusů fotovoltaických panelů o celkovém výkonu 58,05 kWp. Panely jsou kladeny ve sklonech 14°, 9° a 15° k jihovýchodu (azimut = -45°).

Postup výpočtu:

Výpočet byl vždy vztažen k jednomu panelu, jehož parametry jsou popsány v kapitole 3.2. Parametry byly zadány do výpočetního modelu. Celkem byly vymodelovány 3 panely, každý z nich má specifický sklon. Jako lokalita pro výpočet klimatických dat byl zvolen Hradec Králové, kde se řešený areál nachází.

Po provedení výpočtu software vygeneroval soubor s údaji o vyprodukované elektrické energii konkrétního panelu pro každou hodinu v roce. Tyto údaje byly přeneseny do výpočtového excelu, kde byla vypočtená vyprodukovaná elektrická energie pro každou hodinu v roce vynásobena počtem panelů a následně byl udělán součet veškeré produkce pro konkrétní hodiny. Na následujícím obrázku je ukázán výsek výpočtu.

Tab. 19- Výpočet vyprodukované elektrické energie fotovoltaickými panely

Datum	Hodina	129	Pole 1 (adm. Budova)	Pole 2 (adm. Budova)	Pole 3 (dílna)	SUMA PRODUKCE
		Počet panelů	31	28	70	
		Orientace [°]	-45	-45	-45	
		Sklon [°]	14	9	15	
Den	-		E ₁ [kWh]	E ₂ [kWh]	E ₃ [kWh]	E [kWh]
1. leden 2022	1	1	0	0	0	0
1. leden 2022	2	2	0	0	0	0
1. leden 2022	3	3	0	0	0	0
1. leden 2022	4	4	0	0	0	0
1. leden 2022	5	5	0	0	0	0
1. leden 2022	6	6	0	0	0	0
1. leden 2022	7	7	0	0	0	0
1. leden 2022	8	8	0	0	0	0
1. leden 2022	9	9	0	0	0	0
1. leden 2022	10	10	0	0	0	0
1. leden 2022	11	11	0,004	0,004	0,004	0,516
1. leden 2022	12	12	0,017	0,017	0,017	2,193
1. leden 2022	13	13	0,019	0,019	0,019	2,451
1. leden 2022	14	14	0,007	0,007	0,007	0,903
1. leden 2022	15	15	0,004	0,004	0,004	0,516
1. leden 2022	16	16	0	0	0	0
1. leden 2022	17	17	0	0	0	0
1. leden 2022	18	18	0	0	0	0
1. leden 2022	19	19	0	0	0	0
1. leden 2022	20	20	0	0	0	0
1. leden 2022	21	21	0	0	0	0
1. leden 2022	22	22	0	0	0	0
1. leden 2022	23	23	0	0	0	0
1. leden 2022	24	24	0	0	0	0
2. leden 2022	1	25	0	0	0	0
2. leden 2022	2	26	0	0	0	0
2. leden 2022	3	27	0	0	0	0
2. leden 2022	4	28	0	0	0	0
2. leden 2022	5	29	0	0	0	0
2. leden 2022	6	30	0	0	0	0
2. leden 2022	7	31	0	0	0	0
2. leden 2022	8	32	0	0	0	0
2. leden 2022	9	33	0	0	0	0
2. leden 2022	10	34	0,002	0,002	0,002	0,258
2. leden 2022	11	35	0,012	0,012	0,012	1,548
2. leden 2022	12	36	0,016	0,016	0,016	2,064
2. leden 2022	13	37	0,02	0,02	0,019	2,51
2. leden 2022	14	38	0,02	0,02	0,02	2,58
2. leden 2022	15	39	0,006	0,006	0,006	0,774

Zdroj: Vlastní zpracování

3.5.3 Výpočet využití elektrické energie z fotovoltaických panelů

Využití vyprodukované elektrické energie se získá porovnáním spotřebované elektrické energie a energie vyprodukované. Pokud je množství vyprodukované elektrické energie v dané hodině nižší než energie spotřebovaná, dá se předpokládat, že využití bude 100%. V momentě, kdy vyprodukovaná energie je větší než energie spotřebovaná, vzniká přebytek ve výši rozdílu těchto dvou veličin. Energii, kterou nevyužijeme je dále možné akumulovat např. do baterií či pro přípravu teplé vody.

Na základě vypočtených dat z předchozích odstavců bude na následujícím obrázku znázorněná míra využití elektrické energie v průběhu roku.

Tab. 20 - Výpočet využití elektrické energie

Datum	Hodina	Hodina v roce	Hodnoty z typového diagramu	Absolutní hodinový odběr	Vyprodukovaná energie z FV panelů	Celková využitelná energie z FV panelů
Den	-	-	TDD1	-	-	-
-	-	-	-	kWh	kWh	kWh
1. leden 2022	1	1	0,40987	115,46584	0	0
1. leden 2022	2	2	0,40530	114,17841	0	0
1. leden 2022	3	3	0,37864	106,66793	0	0
1. leden 2022	4	4	0,35824	100,92098	0	0
1. leden 2022	5	5	0,35460	99,89555	0	0
1. leden 2022	6	6	0,35133	98,97434	0	0
1. leden 2022	7	7	0,36100	101,69851	0	0
1. leden 2022	8	8	0,37627	106,00027	0	0
1. leden 2022	9	9	0,38212	107,64830	0	0
1. leden 2022	10	10	0,41140	115,89686	0	0
1. leden 2022	11	11	0,45209	127,35978	0,516	0,516
1. leden 2022	12	12	0,45192	127,31189	2,193	2,193
1. leden 2022	13	13	0,46186	130,11212	2,451	2,451
1. leden 2022	14	14	0,45251	127,47810	0,903	0,903
1. leden 2022	15	15	0,46082	129,81914	0,516	0,516
1. leden 2022	16	16	0,47428	133,61100	0	0
1. leden 2022	17	17	0,51187	144,20060	0	0

Zdroj: Vlastní zpracování

Následující tabulka uvádí výsledky pro jednotlivé měsíce v roce.

Tab. 21 - Porovnání vyprodukované a využitelné elektrické energie

Měsíc	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Vyrobená elektrická energie [kWh]	Využitelná elektrická energie [kWh]
Leden	125 847,05	1 499,79	1 499,79
Únor	112 399,56	2 352,23	2 352,23
Březen	115 606,10	4 333,83	4 333,83
Duben	97 245,60	6 440,16	6 440,16
Květen	98 706,79	8 424,43	8 424,43
Červen	93 000,28	8 165,78	8 165,78
Červenec	90 416,84	7 311,44	7 311,44
Srpen	93 974,08	7 101,58	7 101,58
Září	92 710,88	4 974,45	4 974,45
Říjen	105 175,86	2 819,57	2 819,57
Listopad	116 568,25	1 188,92	1 188,92
Prosinec	117 166,71	984,01	984,01
Suma	1 258 818,00	55 596,21	55 596,21

Zdroj: Vlastní zpracování

Z tabulky je patrné, že spotřeba elektrické energie je natolik vysoká, že vyprodukovaná elektrická energie je využita na 100 %. Výpočet je proveden na základě typových diagramů, které byly vytvořeny ze statistických dat, stejně tak jako výpočet produkce jednotlivých panelů. Je tedy vysoce pravděpodobné, že reálné hodnoty při provozu se budou mírně lišit. Vzhledem k tomu, že využití elektrické energie dosahuje 100 %, není v rámci návrhu uvažováno s akumulací elektrické energie. Pro porovnání bude v následující kapitole uveden modelový příklad rodinného domu, u kterého bude spotřeba elektrické energie nižší a dá se předpokládat s návrh akumulace.

3.6 Modelová situace osazení fotovoltaických panelů na střechu rodinného domu

V následující kapitole bude vymodelována situace instalace fotovoltaických panelů na střechu rodinného domu. Příklad slouží pro porovnání areálu zmíněného výše a rodinného domu z hlediska množství vyrobené a zužitkované elektrické energie z fotovoltaických panelů. Dá se předpokládat, že v tomto případě se veškerá elektrická energie nevyužije okamžitě v době její produkce, ale bude potřeba ji akumulovat.

3.6.1 Popis objektu

Vybraný rodinný dům má 1 nadzemní podlaží a podkroví. Dispozičně je řešen pro čtyřčlennou rodinu. Vnitřní celková půdorysná plocha = 134,7 m², celkový obestavěný objem = 489,84 m³. Objekt se nachází v Písku v Jižních Čechách. Elektrická energie je využita pro osvětlení a domácí spotřebiče (trouba, rychlovarná konvice, lednice...). Vytápění a příprava teplé vody je zajištěna plynovým kondenzačním kotlem.

Tab. 22 - Spotřeba elektrické energie pro vybraný objekt

Objekt	Spotřeba elektrické energie [MWh]
Rodinný dům	3,66

Zdroj: Vlastní zpracování

3.6.2 Výpočet spotřebované elektrické energie v průběhu roku

Postup výpočtu je popsán v kapitole 3.5.1. Pro tento případ bude použit typový diagram TDD5 Jižní Čechy. Výpočet rozložení odběru elektrické energie pro každou hodinu v roce je uveden v **Příloze 2**. Následující tabulka zobrazuje pouze výsek výpočtu.

Tab. 23 - Výšek výpočtu spotřeby elektrické energie pro každou hodinu v roce u RD

Datum	Hodina	Hodina v roce	Hodnoty z typového diagramu	Absolutní hodinový odběr
Den	-	-	TDD5 Jižní Čechy	-
-	-	-	-	kWh
1. leden 2022	1	1	0,4177	0,41282
1. leden 2022	2	2	0,34566	0,34162
1. leden 2022	3	3	0,45449	0,44918
1. leden 2022	4	4	0,48886	0,48315
1. leden 2022	5	5	0,45336	0,44807
1. leden 2022	6	6	0,4872	0,48151
1. leden 2022	7	7	0,38559	0,38109
1. leden 2022	8	8	0,32348	0,31970
1. leden 2022	9	9	0,4139	0,40907
1. leden 2022	10	10	0,48254	0,47690
1. leden 2022	11	11	0,39429	0,38969
1. leden 2022	12	12	0,73536	0,72677
1. leden 2022	13	13	0,65207	0,64446
1. leden 2022	14	14	0,89728	0,88680
1. leden 2022	15	15	0,83433	0,82459
1. leden 2022	16	16	0,63337	0,62597
1. leden 2022	17	17	0,49277	0,48702
1. leden 2022	18	18	0,35399	0,34986
1. leden 2022	19	19	0,5717	0,56502
1. leden 2022	20	20	0,6379	0,63045
1. leden 2022	21	21	0,74646	0,73774
1. leden 2022	22	22	0,61215	0,60500
1. leden 2022	23	23	0,70811	0,69984
1. leden 2022	24	24	0,49756	0,49175
2. leden 2022	1	25	0,31026	0,30664
2. leden 2022	2	26	0,25181	0,24887
2. leden 2022	3	27	0,4481	0,44287
2. leden 2022	4	28	0,48277	0,47713
2. leden 2022	5	29	0,48306	0,47742
2. leden 2022	6	30	0,47657	0,47100
2. leden 2022	7	31	0,34916	0,34508
2. leden 2022	8	32	0,34933	0,34525

Zdroj: Vlastní zpracování

Celkové odběry pro jednotlivé měsíce v roce znázorňuje tabulka níže.

Tab. 24 - Spotřeba elektrické energie v jednotlivých měsících

Měsíce	Spotřeba elektrické energie [kWh]
Leden	379,56
Únor	331,72
Březen	334,36
Duben	298,94
Květen	275,04
Červen	248,01
Červenec	258,11
Srpen	252,21
Září	261,47
Říjen	309,49
Listopad	331,99
Prosinec	379,10
Suma	3 660,00

Zdroj: Vlastní zpracování

3.6.3 Výpočet produkce fotovoltaické elektrárny

Na střechu objektu je navrženo 6 monokrystalických panelů s jednotkovým výkonem 360 Wp. Střecha objektu je orientována na jihozápad s odklonem od jihu 30°, neboli azimut = 30°. Vlastnosti použitého panelu jsou vypsány v následující tabulce.

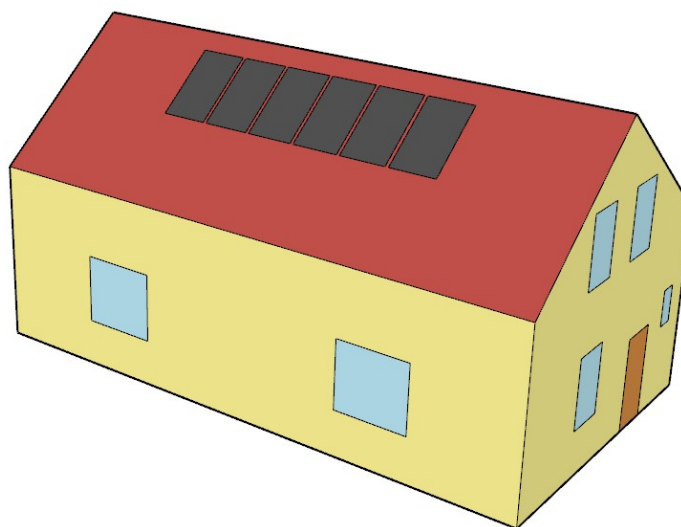
Tab. 25 - Parametry fotovoltaického panelu Amerisolar AS-6M-360Wp

Parametr	Hodnota
Rozměry	1979x996x40 mm
Hmotnost	22 kg
Maximální výkon	360 Wp
Účinnost panelu	18,26%
Typ článku	Monokrystalický
Počet článků	72
Provozní teplota článku	-40°C – +85°C
Jmenovitá provozní teplota článku	45°C ± 2°C
Teplotní koeficient výkonu	-0,37%/°C
Azimut	30°, Jihozápad
Sklon panelů	39°

Zdroj: Technický list firmy Amerisolar[21]

Postup výpočtu je uveden v kapitole 3.5.2. Rozložení panelů je znázorněno na následujícím obrázku.

Obr. 25 - Rozložení fotovoltaických panelů na střeše rodinného domu



Zdroj: Vlastní zpracování

Tab. 26 - Výpočet produkce elektrické energie fotovoltaickými panely na střeše RD

Datum	Hodina	6	Pole 1 (RD)	SUMA PRODUKCE
		Počet panelů	6	
		Orientace [°]	30	
		Sklon [°]	39	
Den	-		E ₁ [kWh]	E [kWh]
1. leden 2022	1	1	0	0
1. leden 2022	2	2	0	0
1. leden 2022	3	3	0	0
1. leden 2022	4	4	0	0
1. leden 2022	5	5	0	0
1. leden 2022	6	6	0	0
1. leden 2022	7	7	0	0
1. leden 2022	8	8	0	0
1. leden 2022	9	9	0	0
1. leden 2022	10	10	0	0
1. leden 2022	11	11	0,002	0,012
1. leden 2022	12	12	0,012	0,072
1. leden 2022	13	13	0,014	0,084
1. leden 2022	14	14	0,005	0,03
1. leden 2022	15	15	0,002	0,012
1. leden 2022	16	16	0	0
1. leden 2022	17	17	0	0
1. leden 2022	18	18	0	0
1. leden 2022	19	19	0	0
1. leden 2022	20	20	0	0
1. leden 2022	21	21	0	0
1. leden 2022	22	22	0	0

Zdroj: Vlastní zpracování

3.6.4 Výpočet využití elektrické energie z fotovoltaických panelů

Princip výpočtu využití elektrické energie z fotovoltaických panelů je popsán v kapitole 3.5.3.

Tab. 27 - Výpočet využití elektrické energie z fotovoltaických panelů pro RD

Datum	Hodina	Hodina v roce	Hodnoty z typového diagramu	Absolutní hodinový odběr	Vyprodukovaná energie z FV panelů	Přímá spotřeba energie z FV panelů
Den	-	-	TDD5 Jižní Čechy	-	-	-
-	-	-	-	kWh	kWh	kWh
1. leden 2022	1	1	0,4177	0,41282	0	0,0000
1. leden 2022	2	2	0,34566	0,34162	0	0,0000
1. leden 2022	3	3	0,45449	0,44918	0	0,0000
1. leden 2022	4	4	0,48886	0,48315	0	0,0000
1. leden 2022	5	5	0,45336	0,44807	0	0,0000
1. leden 2022	6	6	0,4872	0,48151	0	0,0000
1. leden 2022	7	7	0,38559	0,38109	0	0,0000
1. leden 2022	8	8	0,32348	0,31970	0	0,0000
1. leden 2022	9	9	0,4139	0,40907	0	0,0000
1. leden 2022	10	10	0,48254	0,47690	0	0,0000
1. leden 2022	11	11	0,39429	0,38969	0,012	0,0120
1. leden 2022	12	12	0,73536	0,72677	0,072	0,0720
1. leden 2022	13	13	0,65207	0,64446	0,084	0,0840
1. leden 2022	14	14	0,89728	0,88680	0,03	0,0300
1. leden 2022	15	15	0,83433	0,82459	0,012	0,0120
1. leden 2022	16	16	0,63337	0,62597	0	0,0000
1. leden 2022	17	17	0,49277	0,48702	0	0,0000
1. leden 2022	18	18	0,35399	0,34986	0	0,0000
1. leden 2022	19	19	0,5717	0,56502	0	0,0000
1. leden 2022	20	20	0,6379	0,63045	0	0,0000
1. leden 2022	21	21	0,74646	0,73774	0	0,0000
1. leden 2022	22	22	0,61215	0,60500	0	0,0000
1. leden 2022	23	23	0,70811	0,69984	0	0,0000
1. leden 2022	24	24	0,49756	0,49175	0	0,0000
2. leden 2022	1	25	0,31026	0,30664	0	0,0000
2. leden 2022	2	26	0,25181	0,24887	0	0,0000
2. leden 2022	3	27	0,4481	0,44287	0	0,0000
2. leden 2022	4	28	0,48277	0,47713	0	0,0000

Zdroj: Vlastní zpracování

Následující tabulka znázorňuje bilanci spotřeby a produkce elektrické energie pro jednotlivé měsíce v roce.

Tab. 28 - Bilance spotřeby a produkce elektrické energie pro jednotlivé měsíce v roce

Měsíc	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Vyrobená elektrická energie [kWh]	Využitelná elektrická energie [kWh]
Leden	379,56	81,73	58,93
Únor	331,72	112,90	74,51
Březen	334,36	172,19	101,93
Duben	298,94	240,41	126,60
Květen	275,04	292,55	139,00
Červen	248,01	274,40	134,62
Červenec	258,11	242,86	124,84
Srpen	252,21	255,15	121,27
Září	261,47	208,57	107,04
Říjen	309,49	135,70	83,58
Listopad	331,99	65,87	46,38
Prosinec	379,10	61,06	49,43
Suma	3 660,00	2 143,42	1 168,13

Zdroj: Vlastní zpracování

Tab. 29 - Vyhodnocení využití fotovoltaické elektrárny na střeše RD

Výsledky		
Celková spotřebovaná energie za rok $Q_{spotř}$	3 660,00	kWh
Celková vyprodukovaná elektrická energie za rok $Q_{vyproduk}$	2 143,42	kWh
Množství využitelné elektrické energie z fotovoltaických panelů $Q_{využ}$	1 168,13	kWh
Míra využití elektrické energie z fotovoltaických panelů $f_{využ}$	54,50%	%

Zdroj: Vlastní zpracování

3.6.5 Návrh akumulace

Z tabulky výše je patrné, že energie z fotovoltaických panelů není dostatečně využita. Aby bylo možné přebytečnou energii patřičně využít, je potřeba tyto přebytky akumulovat. Pro akumulaci je navržena lithiová baterie LiFePo s napětím 48 V a kapacitou 75 Ah. Výpočet využitelné kapacity baterie znázorňuje následující tabulka.

Tab. 30 - Výpočet využitelné kapacity baterie LiFePo

Baterie				
Jmenovitá kapacita	Napětí	Jmenovitá kapacita	Maximální míra vybití	Využitelná kapacita
[Ah]	[V]	[kWh]	[%]	[kWh]
75	48	3,6	80	2,88

Zdroj: ECO PRODUKT s.r.o. [35]

Výpočet byl proveden tímto způsobem. Energie, která nemohla být v dané hodině využita se naakumulovala do baterie. Akumulace je možná do té doby, než je dosaženo maximální kapacity baterie. V hodinách, kdy fotovoltaická elektrárna neprodukuje elektrickou energii, dochází k odčerpání energie z baterií. Výsek výpočtu znázorňuje následující tabulka.

Tab. 31 - Výpočet využití elektrické energie s akumulací pro RD

Datum	Hodina	Hodina v roce	Hodnoty z typového diagramu	Absolutní hodinový odběr	Vyprodukovaná energie z FV panelů	Přímá spotřeba energie z FV panelů	Nevyužitá energie	Stav nabití baterie	Využitelná energie z baterie	Celková využitelná energie z FV panelů
Den	-	-	TDD5 Jižní Čechy	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
13. červenec 2022	2	4633	0,33481	0,33090	0	0,0000	-0,3309	1,4403	0,0000	0,0000
13. červenec 2022	3	4634	0,45737	0,45203	0	0,0000	-0,4520	0,9883	0,0000	0,0000
13. červenec 2022	4	4635	0,30224	0,29871	0	0,0000	-0,2987	0,6896	0,0000	0,0000
13. červenec 2022	5	4636	0,22059	0,21801	0	0,0000	-0,2180	0,4716	0,0000	0,0000
13. červenec 2022	6	4637	0,20154	0,19919	0	0,0000	-0,1992	0,2724	0,0000	0,0000
13. červenec 2022	7	4638	0,17156	0,16956	0	0,0000	-0,1696	0,1028	0,0000	0,0000
13. červenec 2022	8	4639	0,22091	0,21833	0,024	0,0240	-0,1943	0,0000	0,0000	0,0240
13. červenec 2022	9	4640	0,20183	0,19947	0,126	0,1260	-0,0735	0,0000	0,0000	0,1260
13. červenec 2022	10	4641	0,24426	0,24141	0,216	0,2160	-0,0254	0,0000	0,0000	0,2160
13. červenec 2022	11	4642	0,25884	0,25582	0,564	0,2558	0,3082	0,3082	0,3082	0,5640
13. červenec 2022	12	4643	0,30282	0,29928	0,9	0,2993	0,6007	0,9089	0,6007	0,9000
13. červenec 2022	13	4644	0,29837	0,29489	0,516	0,2949	0,2211	1,1300	0,2211	0,5160
13. červenec 2022	14	4645	0,32592	0,32211	0,582	0,3221	0,2599	1,3899	0,2599	0,5820
13. červenec 2022	15	4646	0,38014	0,37570	0,69	0,3757	0,3143	1,7042	0,3143	0,6900
13. červenec 2022	16	4647	0,3817	0,37724	0,252	0,2520	-0,1252	1,5790	0,0000	0,2520
13. červenec 2022	17	4648	0,44261	0,43744	0,15	0,1500	-0,2874	1,2915	0,0000	0,1500
13. červenec 2022	18	4649	0,6252	0,61790	0,198	0,1980	-0,4199	0,8716	0,0000	0,1980
13. červenec 2022	19	4650	0,58599	0,57915	0,654	0,5791	0,0749	0,9465	0,0749	0,6540
13. červenec 2022	20	4651	0,48001	0,47440	0,642	0,4744	0,1676	1,1141	0,1676	0,6420
13. červenec 2022	21	4652	0,34034	0,33637	0,216	0,2160	-0,1204	0,9937	0,0000	0,2160
13. červenec 2022	22	4653	0,33738	0,33344	0,006	0,0060	-0,3274	0,6663	0,0000	0,0060
13. červenec 2022	23	4654	0,26875	0,26561	0	0,0000	-0,2656	0,4006	0,0000	0,0000
13. červenec 2022	24	4655	0,18441	0,18226	0	0,0000	-0,1823	0,2184	0,0000	0,0000
14. červenec 2022	1	4656	0,29607	0,29261	0	0,0000	-0,2926	0,0000	0,0000	0,0000
14. červenec 2022	2	4657	0,35414	0,35000	0	0,0000	-0,3500	0,0000	0,0000	0,0000
14. červenec 2022	3	4658	0,44013	0,43499	0	0,0000	-0,4350	0,0000	0,0000	0,0000
14. červenec 2022	4	4659	0,33529	0,33137	0	0,0000	-0,3314	0,0000	0,0000	0,0000
14. červenec 2022	5	4660	0,25459	0,25162	0	0,0000	-0,2516	0,0000	0,0000	0,0000
14. červenec 2022	6	4661	0,22322	0,22061	0	0,0000	-0,2206	0,0000	0,0000	0,0000
14. červenec 2022	7	4662	0,16824	0,16628	0,006	0,0060	-0,1603	0,0000	0,0000	0,0060
14. červenec 2022	8	4663	0,19069	0,18846	0,054	0,0540	-0,1345	0,0000	0,0000	0,0540
14. červenec 2022	9	4664	0,19575	0,19346	0,084	0,0840	-0,1095	0,0000	0,0000	0,0840
14. červenec 2022	10	4665	0,28226	0,27896	0,186	0,1860	-0,0930	0,0000	0,0000	0,1860
14. červenec 2022	11	4666	0,2999	0,29640	0,594	0,2964	0,2976	0,2976	0,2976	0,5940

Zdroj: Vlastní zpracování

Míru využití vyprodukované elektrické energie znázorňuje následující tabulky.

Tab. 32 - Využitelná vyprodukovaná elektrická energie s akumulací

S baterií			
Měsíc	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Vyrobená elektrická energie [kWh]	Využitelná elektrická energie [kWh]
Leden	379,56	81,73	80,38
Únor	331,72	112,90	106,12
Březen	334,36	172,19	149,53
Duben	298,94	240,41	190,99
Květen	275,04	292,55	218,37
Červen	248,01	274,40	212,13
Červenec	258,11	242,86	190,71
Srpen	252,21	255,15	198,03
Září	261,47	208,57	173,30
Říjen	309,49	135,70	122,32
Listopad	331,99	65,87	64,91
Prosinec	379,10	61,06	61,06
Suma	3 660,00	2 143,42	1 767,86

Zdroj: Vlastní zpracování

Tab. 33 - Míra využití vyprodukované elektrické energie s akumulací

Výsledky		
Celková spotřebovaná energie za rok $Q_{spotř}$	3 660,00	kWh
Celková vyprodukovaná elektrická energie za rok $Q_{vyproduk}$	2 143,42	kWh
Množství využitelné elektrické energie z fotovoltaických panelů $Q_{využ}$	1 767,86	kWh
Míra využití elektrické energie z fotovoltaických panelů $f_{využ}$	82,48%	%

Zdroj: Vlastní zpracování

Z tabulky výše je patrné, že míra využití elektrické energie se předpokládá okolo 82,48 %. Míra využití bez akumulace činila 54,50 %. Akumulací přebytků do baterie byla zvýšena účinnost systému o 27,98 %.

3.6.6 Porovnání míry využití elektrické energie z fotovoltaických panelů u řešeného areálu a rodinného domu

Tab. 34 - Míra využití vyprodukované elektrické energie u administrativní budovy a dílny řešeného areálu

Výsledky		
Celková spotřebovaná energie za rok $Q_{\text{spotř}}$	1 258 818,00	kWh
Celková vyprodukovaná elektrická energie za rok Q_{vyproduk}	55 596,21	kWh
Množství využitelné elektrické energie z fotovoltaických panelů $Q_{\text{využ}}$	55 596,21	kWh
Míra využití elektrické energie z fotovoltaických panelů $f_{\text{využ}}$	100,00%	%

Zdroj: Vlastní zpracování

Tab. 35 - Míra využití vyprodukované elektrické energie u rodinného domu bez akumulace přebytků

Výsledky		
Celková spotřebovaná energie za rok $Q_{\text{spotř}}$	3 660,00	kWh
Celková vyprodukovaná elektrická energie za rok Q_{vyproduk}	2 143,42	kWh
Množství využitelné elektrické energie z fotovoltaických panelů $Q_{\text{využ}}$	1 168,13	kWh
Míra využití elektrické energie z fotovoltaických panelů $f_{\text{využ}}$	54,50%	%

Zdroj: Vlastní zpracování

Tab. 36 - Míra využití elektrické energie u rodinného domu s akumulací

Výsledky		
Celková spotřebovaná energie za rok $Q_{\text{spotř}}$	3 660,00	kWh
Celková vyprodukovaná elektrická energie za rok Q_{vyproduk}	2 143,42	kWh
Množství využitelné elektrické energie z fotovoltaických panelů $Q_{\text{využ}}$	1 767,86	kWh
Míra využití elektrické energie z fotovoltaických panelů $f_{\text{využ}}$	82,48%	%

Zdroj: Vlastní zpracování

Z výše uvedených tabulek je patrné, že nejvyšší míra využití bude v areálu (administrativní budova + dílna), kde je nejen největší produkce elektrické energie z fotovoltaické elektrárny, ale zároveň nejvyšší spotřeba v době nejvyšší produkce. Rodinný dům naopak není schopen spotřebovat vyprodukovanou elektrickou energii v době produkce, a proto je potřeba ji akumulovat.

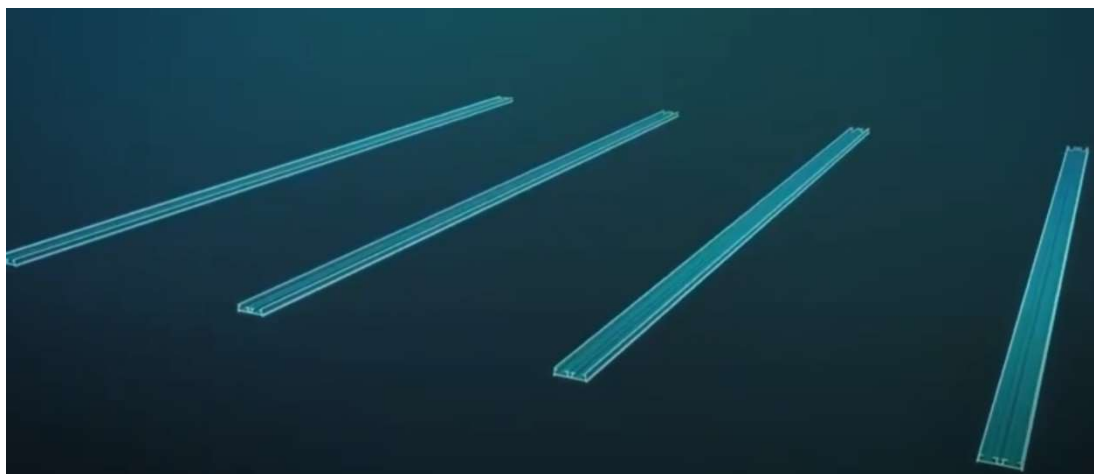
3.7 Technologický postup

Zvolené systémové řešení FIXGRID 18 od společnosti SCHLETTER SOLAR GMBH [12] se skládá z vodících lišt, podkladních bloků, držáků pro panely a závětrných lišt. Výška držáků určuje výsledný sklon panelu. Držáky pro spodní hranu panelu mají výšku 85 mm a pro vrchní hranu se dodávají ve třech variantách – 130, 216 a 296 mm. V tomto případě bude použit vrchní držák s výškou 296 mm. Technologický postup montáže bude popsán v následujících odstavcích.

Nejdříve se v návrhu musí určit délka a počet vodících lišt, následně poloha panelů neboli poloha spodních a vrchních držáků. V tomto případě budou použity na administrativní budově vodící lišty délky 2 150 mm a 2 650 mm. U dílny se použijí lišty délky 2 650. Rozestupy mezi panely určuje především vzájemné stínění. Návrh rozmístění panelů je ve výkrese označeném jako **Příloha 1**.

Pokud je známá poloha panelů, dá se přejít k samotnému kladení systému. Nejprve se podle plánu vyměří poloha panelů a na tato místa se položí vodící lišty, které jsou kladeny od kraje střechy směrem k hřebeni. Vodící lišty se skládají na celou délku jedné poloviny střechy ze 2 a více kusů a jsou tedy délkově nastavovány pomocí systémových spojek, které se do vodící lišty vloží a prošroubují. Při pokládce lišt je potřeba počítat s osovou vzdáleností, která je výrobcem definována jako délka modulu + 23 mm.

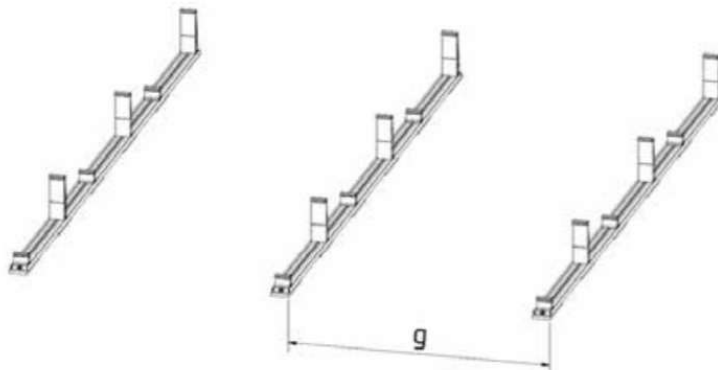
Obr. 26 - Položení vodících lišt



Zdroj: Montážní prospekty společnosti SCHLETTER SOLAR GMBH[12]

Obr. 27 - Odstupové vzdálenosti lišt

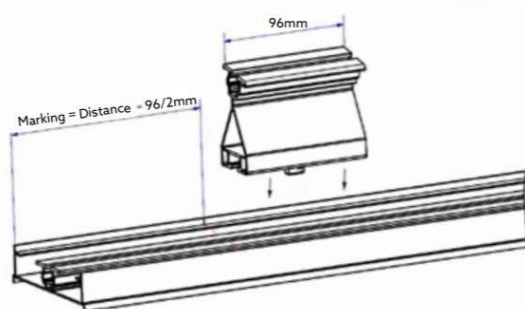
Distance $g = \text{Module length} + 23 \text{ mm}$



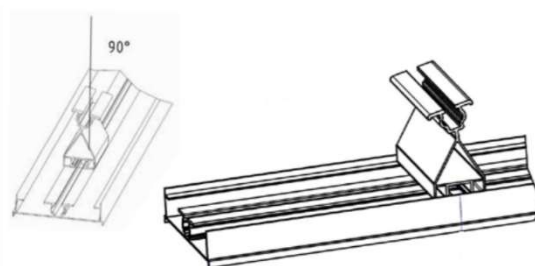
Zdroj: Montážní prospekty společnosti SCHLETTER SOLAR GMBH[12]

Do takto připravených lišt se začnou nasouvat držáky pro panely. Ty musí být kladeny minimálně 48 mm od kraje lišt. Držáky se posunou na vyměřené místo a otočením o 90° se do lišty připevní.

Obr. 28 - Osazení držáku do lišty



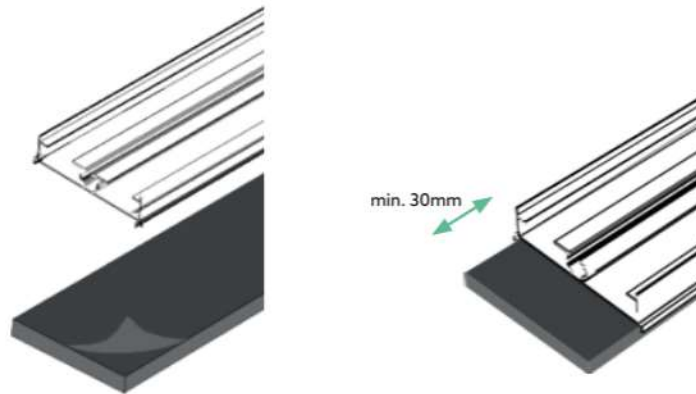
Obr. 29 - Připevnění držáku



Zdroj: Montážní prospekty společnosti SCHLETTER SOLAR GMBH[12]

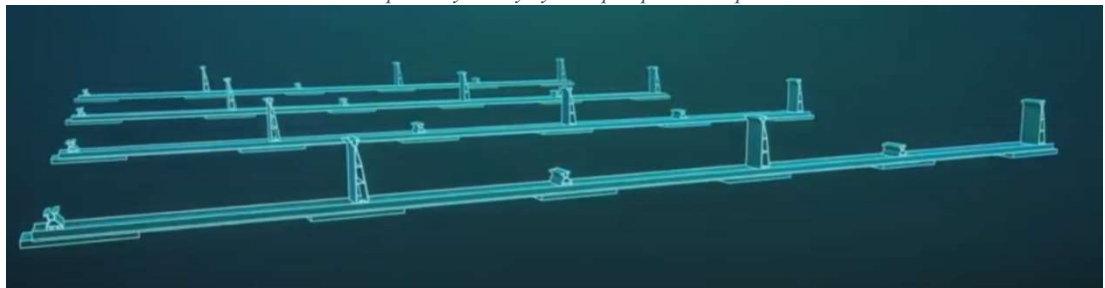
Pod takto připravené lišty se v místech pod držáky osadí bloky, které mají vrchní stranu opatřenou samolepícím materiálem. Před osazením bloku se odtrhne fólie, která chrání samolepící vrstvu a bloky se k lištám přilepí. U zakončení lišt je nutné dodržet přesah bloku minimálně o 30 mm. Bloky slouží jako ochrana hydroizolační vrstvy proti protržení od hliníkových profilů.

Obr. 30 - Podložení lišt



Zdroj: Montážní prospekty společnosti SCHLETTER SOLAR GMBH[12]

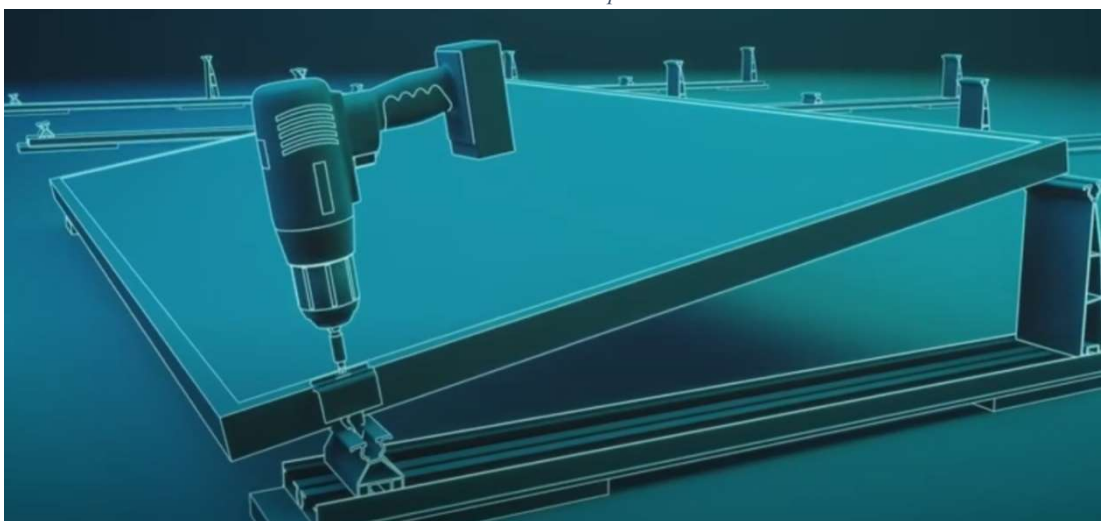
Obr. 31 - Připravený nosný systém pro pokládku panelů



Zdroj: Montážní prospekty společnosti SCHLETTER SOLAR GMBH[12]

Po instalaci lišt, podkladních bloků a držáků je systém připraven pro pokládku samotných panelů. Ty se na připravené držáky položí a pomocí svorek se přišroubují k podkladu.

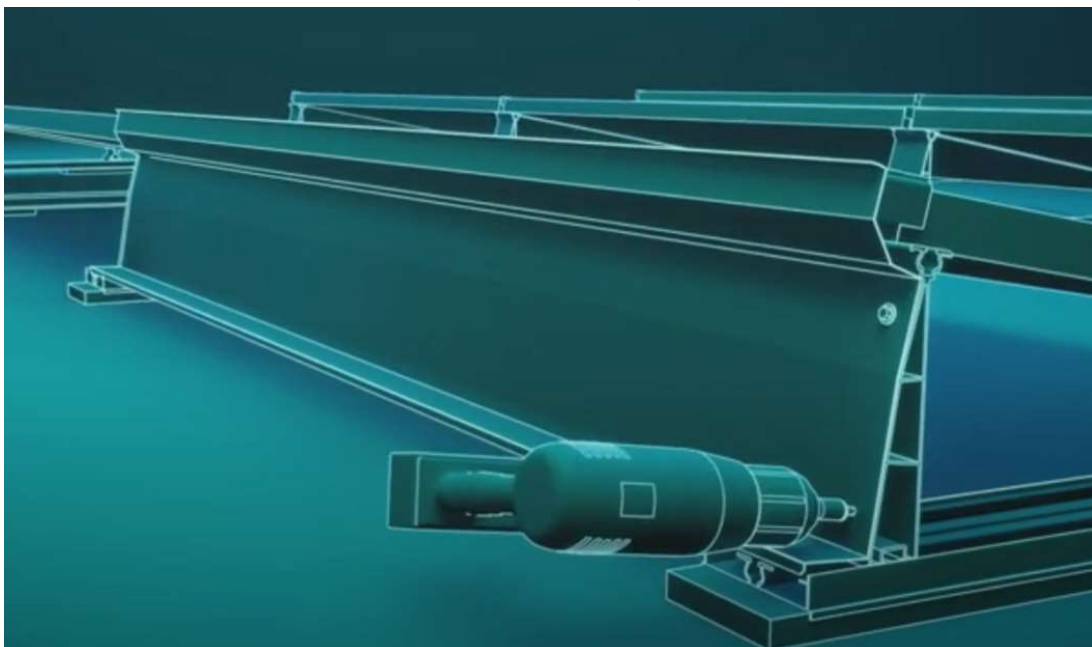
Obr. 32 - Osazení panelu



Zdroj: Zdroj: Montážní prospekty společnosti SCHLETTER SOLAR GMBH[12]

Po osazení všech panelů se jako ochrana proti účinkům sání větru instalují tzv. závětrné lišty.

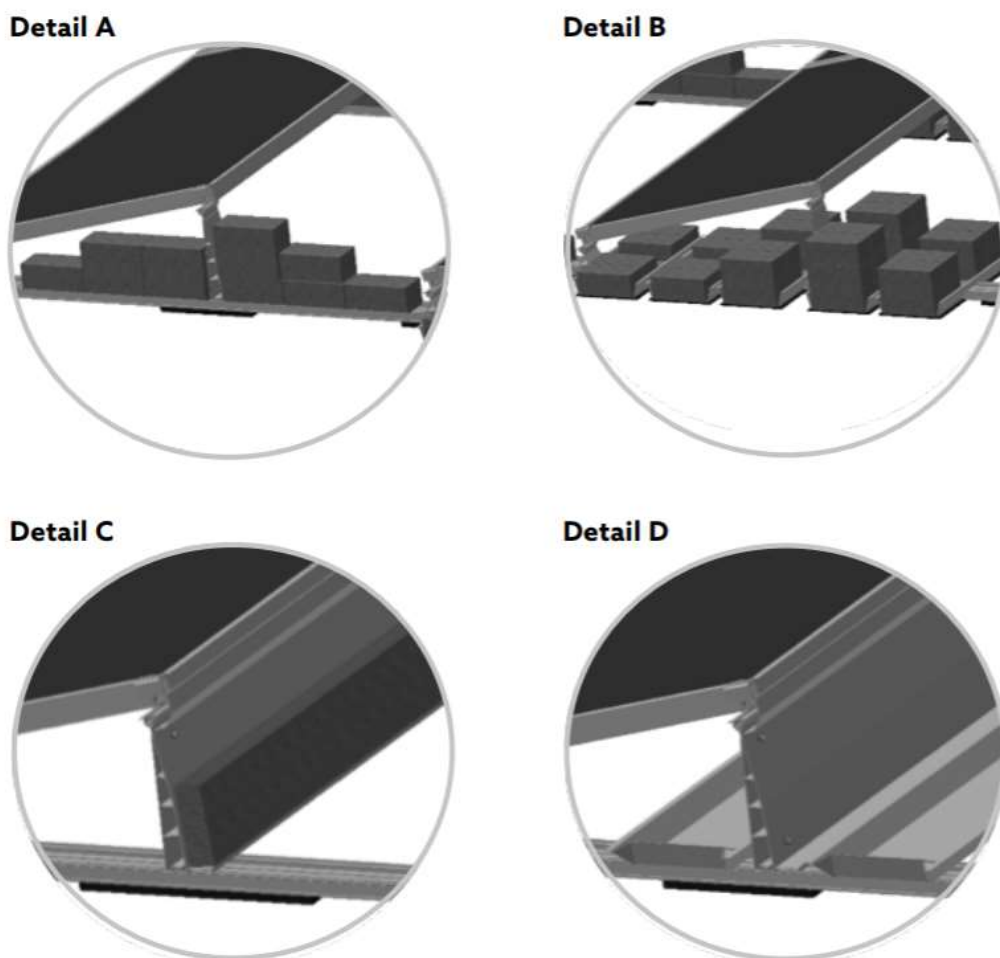
Obr. 33 - Montáž závětrných lišt



Zdroj: Montážní prospekty společnosti SCHLETTER SOLAR GMBH[12]

Proti účinkům větru se celý systém přitěžuje několika způsoby. Jednou z možností je položení betonových dlaždic přímo na vodící lišty. Další možností je osazení žlabů pro možnost většího přitížení. V našem případě byla pro přitížení zvolena varianta A z následujícího obrázku.

Obr. 34 - Možnosti přitížení konstrukce



Zdroj: Montážní prospekty společnosti SCHLETTER SOLAR GMBH[12]

Jednotlivé panely jsou mezi sebou propojeny kabely do tzv. stringů neboli sériově zapojených panelů. Tyto stringy jsou následně přes junction boxy (elektroinstalační krabice) napojeny na střídač a dále na rozvaděč, odkud jsou kabely vedeny k zemi k hlavnímu rozvaděči v trafostanici. Detailnější postup elektrikářských prací není předmětem této bakalářské práce.

3.8 Technologická struktura

Technologická struktura a další odstavce jsou vztaženy k areálu popsanému v kapitole 3.1.

Aby bylo možné v další kapitole zhotovit harmonogram montáže, je zapotřebí rozklíčovat jednotlivé činnosti, které při instalaci fotovoltaických panelů vzniknou. Rozbor jednotlivých činností a začlenění do procesů zobrazují následující tabulky. Použité normohodiny vychází z programu euroCALC od společnosti Callida s.r.o.[36], popř. z odborného odhadu.

Tab. 37 - Rozborový list

Etapy činností	Sled činností	Měrná jednotka	Množství	Jednotková pracnost [Nh]	Celková pracnost [Nh]	Počet pracovníků	Časový fond směny [h]	Doba trvání [dny]	Začlenění do procesu
Zemní práce	Vytyčení stávajících rozvodů	m	560	0,020	11,200	2	8	0,70	1
	Vytyčení kabelové trasy	m	260	0,020	5,200	2	8	0,33	1
	Hloubení rýhy o rozměrech 0,35x0,7 m	m3	63,7	0,259	16,498	1	8	2,06	2
	Uložení spodní pískové vrstvy	m3	7,28	0,950	6,916	1	8	0,86	2
	Uložení zemnicího pásku	m	260	0,055	14,300	2	8	0,89	3
	Uložení kabelů od rozvaděčů do trafostanice	m	420	0,080	33,600	2	8	2,10	3
	Uložení vrchní pískové vrstvy	m3	7,28	0,950	6,916	1	8	0,86	4
	Uložení výstražné fólie	m	260	0,010	2,600	1	8	0,33	5
	Hutněný zásep rýhy	m3	49,14	0,099	4,865	1	8	0,61	5
Administrativní budova	Vyložení panelů na střechu	ks	59	0,015	0,885	1	8	0,11	6
	Zaměření polohy lišt a panelů	m	123,08	0,040	4,923	4	8	0,15	6
	Osazení podkladních bloků pod systémové lišty	ks	144	0,020	2,880	4	8	0,09	6
	Osazení systémových lišt pod FVE panely	ks	39	0,300	11,700	4	8	0,37	6
	Osazení držáků FVE panelů	ks	144	0,080	11,520	4	8	0,36	6
	Položení FVE panelů	ks	59	0,900	53,100	4	8	1,66	6
	Přítížení konstrukce	ks	360	0,020	7,200	4	8	0,23	6
	Kabelové propojení od panelů do střídače	m	350	0,046	16,100	2	8	1,01	6
	Osazení výkonových optimizérů	ks	30	0,200	6,000	2	8	0,38	6
	Osazení závětrných lišt	ks	59	0,170	10,030	4	8	0,31	6
	Osazení rozvaděče	ks	1	2,000	2,000	1	8	0,25	6
	Osazení střídače	ks	1	1,500	1,500	1	8	0,19	6
Dílňa	Vyložení panelů na střechu	ks	70	0,015	1,050	1	8	0,13	7
	Zaměření polohy lišt a panelů	m	105	0,040	4,200	4	8	0,13	7
	Osazení podkladních bloků pod systémové lišty	ks	180	0,020	3,600	4	8	0,11	7
	Osazení systémových lišt pod FVE panely	ks	54	0,300	16,200	4	8	0,51	7
	Osazení držáků FVE panelů	ks	180	0,080	14,400	4	8	0,45	7
	Položení FVE panelů	ks	70	0,900	63,000	4	8	1,97	7
	Přítížení konstrukce	ks	450	0,020	9,000	4	8	0,28	7
	Kabelové propojení od panelů do střídače	m	400	0,046	18,400	2	8	1,15	7
	Osazení výkonových optimizérů	ks	35	0,200	7,000	2	8	0,44	7
	Osazení závětrných lišt	ks	70	0,170	11,900	4	8	0,37	7
	Osazení rozvaděče	ks	1	2,000	2,000	1	8	0,25	7
	Osazení střídače	ks	1	1,500	1,500	1	8	0,19	7
Dokončování	Nastavení střídačů	h	4	-	4,000	1	8	0,50	8
	Funční zkouška a testovací provoz	h	8	-	8,000	1	8	1,00	9
	Předání	h	8	-	8,000	-	8	1,00	10

Zdroj: Vlastní zpracování

Tab. 38 - Sjednocení činností do procesů

Proces	Sled činností	Doba trvání [dny]	Upravená doba trvání [dny]
1	Vytyčení stávajících rozvodů a kabelové trasy	1,03	1
2	Hloubení rýhy a ukládání spodní pískové vrstvy	2,93	3
3	Uložení zemního pásu a kabelu	2,99	3
4	Uložení vrchní pískové vrstvy	0,86	1
5	Hutněný zásyp a uložení výstražné fólie	0,93	1
6	Instalace FVE panelů a zapojení na střeše administrativní budovy	5,10	6
7	Instalace FVE panelů a zapojení na střeše dílny	5,98	7
8	Nastavení střídačů	0,50	1
9	Funkční zkouška a testovací provoz	1,00	1
10	Předání	1,00	1

Zdroj: Vlastní zpracování

3.9 Časová struktura

Na základě technologického rozboru a začlenění činností do procesů byl vytvořen harmonogram výstavby. Celková předpokládaná doba výstavby fotovoltaické elektrárny je vypočtena na 21 dní. Rozložení procesů do jednotlivých dnů znázorňuje následující tabulka.

Tab. 39 - Harmonogram výstavby

Proces	Doba trvání [dny]	Dny																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1) Vytváření stávajících rozvodů a kabelové trasy	1																					
2) Hloubení rýhy a ukládání spodní pískové vrstvy	3																					
3) Uložení zemnicího pásu a kabelu	3																					
4) Uložení vrchní pískové vrstvy	1																					
5) Hutěný záryp a uložení výstražné fólie	1																					
6) Instalace FVE panelů a zapojení na střechu administrativní budovy	6																					
7) Instalace FVE panelů a zapojení na střechu dílny	7																					
8) Nastavení střídačů	1																					
9) Funkční zkouška a testovací provoz	1																					
10) Předání	1																					

3.10 Rozpočet montáže

Rozpočet montáže částečně vychází z rozpočtářského programu euroCALC od společnosti Callida s.r.o.[36], dále podle cen na stránkách německé firmy wechselrichter-online.de [37], z cen produktů společnosti K&V Elektro a.s. [38] a dále z odborného odhadu. Kurz eura použitý do výpočtu je ze dne 22.03.2022. Celkový rozpočet montáže je uveden v následující tabulce. Celkové náklady na montáž fotovoltaických panelů činí **1 510 000 Kč bez DPH**. Celkové náklady na výstavbu budou použity v závěrečné kapitole pro vyhodnocení ekonomického přínosu fotovoltaické elektrárny.

Tab. 40 - Rozpočet montáže fotovoltaických panelů

Položka	Jednotka	Výměra	Jednotková cena	Kurz	Celkem
Materiál					
Podkladní bloky pod systémové lišty	ks	324	3,17 EUR	24,25 Kč	24 891,50 Kč
Systémové lišty pod FVE panely	ks	93	40,34 EUR	24,25 Kč	90 968,07 Kč
Držáky FVE panelů	ks	324	5,67 EUR	24,25 Kč	44 567,02 Kč
Fotovoltaické panely	ks	129	4 400,00 Kč	-	567 600,00 Kč
Dlažba - přitížení FVE panelů	ks	810	8,26 Kč	-	6 690,60 Kč
Závětrné lišty	ks	129	37,69 EUR	24,25 Kč	117 900,85 Kč
Výkonové optimizéry	ks	65	1 500,00 Kč	-	97 500,00 Kč
Rozvaděč RFVE 1	ks	1	20 000,00 Kč	-	20 000,00 Kč
Rozvaděč RFVE 2	ks	1	20 000,00 Kč	-	20 000,00 Kč
Junction box	ks	3	7 000,00 Kč	-	21 000,00 Kč
Stejnoseměrná kabeláž	m	750	32,00 Kč	-	24 000,00 Kč
Stejnoseměrný konektor	ks	24	60,00 Kč	-	1 440,00 Kč
Kabel CYKY-J 5x35 mm ²	m	220	650,00 Kč	-	143 000,00 Kč
Kabel CYKY-J 5x25 mm ²	m	40	460,00 Kč	-	18 400,00 Kč
Kabel CYKY-O 3x1,5 mm ²	m	160	19,00 Kč	-	3 040,00 Kč
Zemnicí pásek	kg	267	80,00 Kč	-	21 333,33 Kč
Chráníčka kabelová vnější včetně uchycení	m	70	40,00 Kč	-	2 800,00 Kč
Chráníčka kabelová zemní	m	420	40,00 Kč	-	16 800,00 Kč
Tlačítka total stop vč. Napojení	sada	4	10 000,00 Kč	-	40 000,00 Kč
Výstražná fólie do výkopu	m	260	2,00 Kč	-	520,00 Kč
Materiál celkem					1 282 451,37 Kč
Montáž					
Automobilový jeřáb	h	5,16	850,00 Kč	-	4 386,00 Kč
Vytyčení stávajících rozvodů	km	0,56	2 000,00 Kč	-	1 120,00 Kč
Vytyčení kabelové trasy	km	0,26	2 000,00 Kč	-	520,00 Kč
Zemní výkop	m ³	63,7	250,00 Kč	-	15 925,00 Kč
Uložení pískové vrstvy	m ³	14,56	120,00 Kč	-	1 747,20 Kč
Uložení sypaniny se zhutněním	m ³	49,14	150,00 Kč	-	7 371,00 Kč
Uložení kabelu	m	420	42,80 Kč	-	17 976,00 Kč
Proces 6+7 rozborového listu (4 pracovníci)	h	88	320,00 Kč	-	112 640,00 Kč
Montáž celkem					161 685,20 Kč
Vedlejší rozpočtové náklady					
Zapojení systému	sada	1	-	-	15000
Nastavení střídačů	h	4	500	-	2000
Funkční zkouška a testovací provoz	sada	1	-	-	3500
Doprava materiálu a zaměstnanců - 1% celk. nákl.	sada	1	-	-	14 441,37 Kč
Ostatní montážní materiál - 2% celkových nákladů	sada	1	-	-	28 882,73 Kč
Vedlejší rozpočtové náklady celkem					63 824,10 Kč
Náklady celkem Kč bez DPH					1 507 960,67 Kč
Náklady celkem Kč bez DPH - zaokrouhleno					1 510 000,00 Kč

Zdroj: Vlastní zpracování

3.11 Bezpečnost práce při provádění a údržbě

Půdorysy střech s vyznačením možných bezpečnostních rizik při realizaci a údržbě jsou označeny jako **Příloha 3**.

3.11.1 Bezpečnost práce při provádění

Fotovoltaické panely budou instalovány na ploché střechy, jejichž výška nad okolním terénem je 9,41 m (administrativní budova) a 6,77 m (dílna). Výška větší než 1,5 m nad zemí je podle § 3, odst. 1, písm. b) nařízení vlády č. 362/2005 Sb., Nařízení vlády o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky (dále jen nařízení č. 362/2005 Sb.) definována jako práce ve výškách. Jelikož se jedná o práci ve výškách, která je podle přílohy č. 5 k nařízení vlády č. 591/2006 Sb., Nařízení vlády o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích (dále jen nařízení č. 591/2006 Sb.) definována jako činnost vystavující fyzickou osobu zvýšenému ohrožení života, vzniká zde povinnost podle § 15, odst. 2) zákona č. 309/2006 Sb., Zákon, kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci) (dále jen zákon č. 309/2006 Sb.) zpracovat plán BOZP. Jelikož se jedná o rekonstrukce a zateplení objektů, dá se předpokládat, že se na staveništi budou pohybovat zaměstnanci více než jednoho zhotovitele, proto podle § 14, odst. 1) zákona č. 309/2006 Sb. vzniká povinnost určit jednoho či více koordinátorů bezpečnosti a ochrany zdraví při práci na staveništi (dále jen BOZP).

Při pokládání střešních panelů hrozí pád osob a předmětů z výšky. Předpokládá se, že během pokládky panelů bude kolem budovy postavené lešení, které bude sloužit jako prvek kolektivní ochrany. To znamená, že na lešení bude zábradlí do výšky 1,1 m a zároveň z důvodu pádu předmětů bude u podlahy instalována okopová zarážka, který bude vysoká minimálně 0,15 m.

3.11.2 Bezpečnost práce při údržbě

Stejně jako při realizaci, tak i při údržbě hrozí pád z výšky na hraně střechy. K tomuto účelu je na obou střechách navržen záchytný systém, který bude vyhotoven

v průběhu realizace nového střešního pláště. Pracovník provádějící údržbu bude před výstupem na střechu vybaven osobními popruhy s lanem a karabinou. Po výstupu na střechu se pomocí karabiny přichytí k lanu záchytného systému a následně může provádět údržbu. V místech, kde nehrozí pád z výšky (1,5 m od hrany pádu) nemusí být pracovník jištěn.

Během provozu fotovoltaických panelů se dá předpokládat výskyt požáru. Vzhledem k tomu, že fotovoltaická elektrárna je zařízení pod stálým elektrickým napětím, je nutné postup pro případ požáru zaznamenat v příslušné požární zprávě. Do základních prvků požární ochrany můžeme zaznamenat například tlačítka „Stop“ a „Total stop“, které budou umístěné na fasádách objektů u vstupů a dále u rozvaděčů FVE. Tlačítko Stop má funkci odpojení FVE od sítě. Tlačítko Total stop má zajišťovat odpojení objektu od hlavního přívodu elektrické energie.

3.12 Vyhodnocení ekonomického přínosu fotovoltaické elektrárny

3.12.1 Areál s administrativní budovou a dílnou

Pro vyhodnocení přínosu instalace fotovoltaické elektrárny na střechy objektu administrativní budovy a dílny byl vybrán ekonomický parametr. Díky této metodě je možné určit, zda je projekt finančně výhodný a za jaké časové období se investice vrátí. Jako parametr vyhodnocení bude sledována tzv. reálná doba návratnosti, čistá současná hodnota (NPV) a vnitřní výnosové procento (IRR). Veličiny použité pro vyhodnocení společně s výsledky znázorňují následující tabulky.

Použité vzorce ve výpočtu:

Prostá doba návratnosti:

$$Ts = \frac{\text{Celková investice}}{\text{Roční přínos}}$$

Čistá současná hodnota:

$$NPV = -IN + \sum \frac{CF}{(1+i)^n}$$

Vnitřní výnosové procento:

$$NPV = 0 = \sum \frac{CF}{(1+IRR)^n}$$

Tab. 41 - Parametry do výpočtu společně s vyhodnocením

Parametr	Jednotka	Hodnota
Celkové náklady na FVE elektrárnu bez DPH	tis. Kč	1 510,00
Množství vyrobené elektrické energie FVE panely	MWh	55,60
Současná cena za MWh elektrické energie	tis. Kč/MWh	3,91
Současná spotřeba EE	MWh	1 258,82
Současná cena za spotřebovanou EE	tis. Kč/rok	4 919,46
Změna nákladů na elektrickou energii v prvním roce	tis. Kč	217,27
Doba hodnocení	roky	20
Roční růst cen energie	%	3
Diskont	%	4
Ts - prostá doba návratnosti	roky	7
Tsd - reálná doba návratnosti	roky	8
NPV - čistá současná hodnota	tis. Kč	2 307,73
IRR - vnitřní výnosové procento	%	16,06%

Zdroj: Vlastní zpracování

Tab. 42 - Cash flow společně s vyhodnocením

	Roky	Cena za elektřinu - stávající stav [tis. Kč]	Cena za elektřinu po osazení FVE [tis. Kč]	Cash Flow [tis. Kč]	Diskonotovaný CF [tis. Kč]	Kumulativní DCF [tis. Kč]
01.01.2022	0			-1 510,00		
01.01.2023	1	4 919,46	4 702,19	217,27	208,91	-1 301,09
01.01.2024	2	5 067,04	4 843,26	223,79	206,90	-1 094,18
01.01.2025	3	5 219,06	4 988,56	230,50	204,91	-889,27
01.01.2026	4	5 375,63	5 138,21	237,42	202,94	-686,32
01.01.2027	5	5 536,90	5 292,36	244,54	200,99	-485,33
01.01.2028	6	5 703,00	5 451,13	251,87	199,06	-286,27
01.01.2029	7	5 874,09	5 614,66	259,43	197,15	-89,13
01.01.2030	8	6 050,32	5 783,10	267,21	195,25	106,12
01.01.2031	9	6 231,83	5 956,60	275,23	193,37	299,50
01.01.2032	10	6 418,78	6 135,29	283,49	191,51	491,01
01.01.2033	11	6 611,34	6 319,35	291,99	189,67	680,68
01.01.2034	12	6 809,68	6 508,93	300,75	187,85	868,53
01.01.2035	13	7 013,97	6 704,20	309,77	186,04	1 054,57
01.01.2036	14	7 224,39	6 905,33	319,07	184,25	1 238,83
01.01.2037	15	7 441,13	7 112,49	328,64	182,48	1 421,31
01.01.2038	16	7 664,36	7 325,86	338,50	180,73	1 602,04
01.01.2039	17	7 894,29	7 545,64	348,65	178,99	1 781,02
01.01.2040	18	8 131,12	7 772,01	359,11	177,27	1 958,29
01.01.2041	19	8 375,05	8 005,17	369,89	175,56	2 133,86
01.01.2042	20	8 626,30	8 245,32	380,98	173,88	2 307,73
Čistá současná hodnota NPV =						2 307,73
Reálná doba návratnosti Tsd =						8
Vnitřní výnosové procento IRR =						16,06%

Zdroj: Vlastní zpracování

Z vypočtených hodnot lze vyčíst, že návratnost investice je po 8 letech životnosti projektu, což je výhodné vzhledem k životnosti fotovoltaických panelů 25-30 let. Vnitřní výnosové procento bylo vypočteno na hodnotu 16,06%, projekt lze považovat za ziskový.

3.12.1.1 Rodinný dům

Pro porovnání bude ještě posouzen rodinný dům z hlediska doby návratnosti vložené investice. Cena za fotovoltaickou elektrárnu se všemi komponenty (panely, střídač, baterie...) se dá předpokládat okolo 44 000 Kč bez DPH za 1 kWp instalovaného výkonu. Celkový instalovaný výkon je 2,16 kWp. Celková cena se předpokládá okolo 95 000 Kč bez DPH.

Tab. 43 - Parametry do výpočtu společně s vyhodnocením (RD)

Parametr	Jednotka	Hodnota
Celkové náklady na FVE elektrárnu bez DPH	tis. Kč	1 510,00
Množství vyrobené elektrické energie FVE panely	MWh	55,60
Současná cena za MWh elektrické energie	tis. Kč/MWh	3,91
Současná spotřeba EE	MWh	1 258,82
Současná cena za spotřebovanou EE	tis. Kč/rok	4 919,46
Změna nákladů na elektrickou energii v prvním roce	tis. Kč	217,27
Doba hodnocení	roky	20
Roční růst cen energie	%	3
Diskont	%	4
Ts - prostá doba návratnosti	roky	7
Tsd - reálná doba návratnosti	roky	8
NPV - čistá současná hodnota	tis. Kč	2 307,73
IRR - vnitřní výnosové procento	%	16,06%

Zdroj: Vlastní zpracování

Tab. 44 - Cash flow společně s vyhodnocením (RD)

Parametr	Jednotka	Hodnota
Celkové náklady na FVE elektrárnu bez DPH	tis. Kč	95,00
Množství vyrobené elektrické energie FVE panely	MWh	2,14
Současná cena za MWh elektrické energie	tis. Kč/MWh	5,00
Současná spotřeba EE	MWh	3,66
Současná cena za spotřebovanou EE	tis. Kč/rok	18,30
Změna nákladů na elektrickou energii v prvním roce	tis. Kč	10,72
Doba hodnocení	roky	20
Roční růst cen energie	%	3
Diskont	%	4
Ts - prostá doba návratnosti	roky	9
Tsd - reálná doba návratnosti	roky	10
NPV - čistá současná hodnota	tis. Kč	93,28
IRR - vnitřní výnosové procento	%	12,26%

Zdroj: Vlastní zpracování

Z vypočtených hodnot lze vyčíst, že návratnost investice je po 10 letech životnosti projektu, což je výhodné vzhledem k životnosti fotovoltaických panelů 25-30 let. Vnitřní výnosové procento bylo vypočteno na hodnotu 12,26%, projekt lze považovat za ziskový.

4 Závěr

V teoretické části byla provedena rešerše k fotovoltaickým panelům. Je zde zmíněn princip výroby elektrické energie fotovoltaickými články, druhy článků používaných v dnešní době, jejich možnosti pro budoucí vývoj a likvidace panelů na konci jejich životnosti. Jednotlivé články jsou následně porovnány podle účinnosti výroby elektrické energie. Nejvyšší účinnost vykazují panely z monokrystalických článků.

Další část se zabývá vlivem orientace a sklonu panelů na výrobu elektrické energie. Byl vymodelován krátký příklad, ze kterého se potvrdila největší účinnost při jižní orientaci a sklonu panelu 30-35°. Takto kladené panely vyrábí nejvíce elektrické energie.

V práci se dále zmiňuje, jak osadit panely na budovy. Jednou z variant jsou střechy objektu, kdy je možné panely klást jak na ploché, tak na šikmé střechy za použití systémových kotvicích prvků. Byly zjištěny i progresivní metody pokládky článků na ploché střechy, které jsou integrovány např. ve fóliích určených k hydroizolaci, či na desky extrudovaného polystyrenu u obrácených střeš. Není vyloučená ani možnost montování panelů přímo na fasády objektů.

Velká část byla věnována akumulaci přebytků elektrické energie. Jsou zde zmíněny známější metody, kterými jsou bateriové akumulátory nebo akumulace do teplé vody. Progresivní metody uvažují s akumulací na bázi vodíku, gravitace, setrvačníků nebo tzv. virtuální baterie.

Cílem praktické části bylo navrhnout fotovoltaickou elektrárnu na střechách konkrétních budov. K tomu byly použity informace z teoretického oddílu. Na střechu administrativní budovy bylo navrženo celkem 59 fotovoltaických panelů s jednotkovým výkonem 450 Wp. Na střeše dílny je navrženo 70 panelů s jednotkovým výkonem 450 Wp. Sklony panelů jsou 14,1°, 9,3° a 14,7°. S ohledem na teoretickou část tyto sklony nejsou optimální, ale z důvodu co možná největšího využití plochy střech byl navržen menší sklon s přihlédnutím k použitému systémovému řešení. Díky tomu bylo dosaženo co největšího počtu panelů a tím vyšší produkce celého systému. Po návrhu počtu a sklonu panelů byl proveden výpočet produkce a míry využití vyprodukované energie fotovoltaickými panely. Celkově

panely vyrobí 55,596 MWh/rok elektrické energie, která bude využita na 100 %. Pro porovnání spotřeby elektrické energie a produkce fotovoltaickými panely s jiným typem budov byl vymodelován rodinný dům se 6 fotovoltaickými panely a akumulací do lithiové baterie, který měl produkci elektrické energie fotovoltaickými panely 2,143 MWh/rok a míru využití 82,48 %. Z toho vyplývá, že u objektů a areálů s vysokou spotřebou elektrické energie bývá míra využití vyprodukované energie vysoká i bez akumulace přebytků.

V následujících částech je uveden technologický postup. Rovněž je zde uveden rozbor činností, které budou při instalaci probíhat, a z těchto údajů byl zhotoven harmonogram výstavby, která by měla trvat 21 dní a celkově by instalace vyšla na 1 510 000 Kč bez DPH. Na samém závěru je vyhodnocena ekonomická stránka instalace, kde byla stanovena doba návratnosti u areálu s administrativní budovou a dílnou na 8 let a celý projekt zhodnocen jako ekonomicky výhodný. U rodinného domu vyšla doba návratnosti na 10 let.

Z výše uvedeného závěru je patrné, že cíle bakalářské práce byly splněny.

Seznam literatury

- [1] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika. Elektřina ze slunce*. 1. vydání 2007. B.m.: ERA group spol. s r.o., 2007. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [2] PAVLINAC. *Princip fotovoltaického článku* [online]. [vid. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/princip-fotovoltaickeho-clanku>
- [3] STANĚK, Kamil. *Fotovoltaika pro budovy*. B.m.: Grada Publishing, a.s., nedatováno. ISBN 978-80-247-4278-6.
- [4] What Are Solar Panels Made Of, and How Are They Made? *EcoWatch* [online]. 18. srpen 2021 [vid. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.ecowatch.com/what-are-solar-panels-made-of-2654666445.html>
- [5] Fraunhofer ISE Sets New World Record of 26 Percent Efficiency for Both-Sides-Contacted Solar Cell - Fraunhofer ISE. *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE* [online]. [vid. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2021/fraunhofer-ise-sets-new-world-record-of-26-percent-efficiency-for-both-sides-contacted-solar-cell.html>
- [6] S.R.O, Residit. Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů - Časopis Elektro - Odborné časopisy. *Odbornecasopisy.cz* [online]. [vid. 2022-02-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/konstrukce-a-vyroba-fotovoltaickych-clanku-a-panelu--10310>
- [7] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika Budovy jako zdroj proudu*. B.m.: HEL 2010, nedatováno. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [8] Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti. *TZB-info* [online]. [vid. 2022-02-24]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>
- [9] Jaký je nejlepší sklon a orientace fotovoltaických panelů pro solární pole? *TZB-info* [online]. [vid. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22703-jaky-je-nejlepsi-sklon-a-orientace-fotovoltaickych-panelu-pro-solarni-pole>
- [10] *Energie ze slunce, aneb jak s fotovoltaikou ušetřit* [online]. [vid. 2022-04-02]. Dostupné z: <http://mojeelektarna.cz/energie-ze-slunce.html#prettyPhoto>
- [11] *Fotovoltaika - sluneční záření v České republice* [online]. [vid. 2022-04-02]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/slunecni-zareni-v-cr.aspx>
- [12] Montážní prospekty společnosti SCHLETTER GmbH [online]. nedatováno. Dostupné z: <https://schletter-group.com>

- [13] *Fotovoltaika pro rodinný dům | DJS Architecture* [online]. [vid. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.djsarchitecture.cz/fotovoltaika-pro-rodinny-dum>
- [14] *Fotovoltaika na ploché střeše Benešov. V-systém elektro, s.r.o.* [online]. [vid. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.v-system.cz/realizace/fotovoltaika-na-ploche-strese-benesov/>
- [15] WIRTSCHAFT, 28 06 2019 / Archiv / Photovoltaik /. Neue Solardachbahn mit kristallinen PV-Zellen. *Solarserver* [online]. 28. červen 2019 [vid. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.solarserver.de/2019/06/28/neue-solardachbahn-mit-kristallinen-pv-zellen/>
- [16] *VSelektro.eu - víme jak na to* [online]. [vid. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://www.vselektro.eu/>
- [17] *DOPLŇKY - Odvětrání kanalizace Venduct SOLAR kabelový prostup - Črv* [online]. [vid. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://e.coleman.cz/venduct-solar-kabelovy-prostup-crv-p-050456-cz>
- [18] *Solar Dektite® Premium 12 | EJOT* [online]. [vid. 2022-04-01]. Dostupné z: https://www.ejot.cz/Stavebn%C3%AD-ucev%C4%9Bn%C3%AD/V%C3%BDrobky/Prostupov%C3%A9-man%C5%BEty/Dektite-Premium12/p/DEKTITE_PREMIUM_12
- [19] *Súčasný vývoj integrácie fotovoltaických systémov do fasád budov. TZB-info* [online]. [vid. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/17784-sucasny-vyvoj-integracie-fotovoltaickyh-systemov-do-fasad-budov>
- [20] *B-F-Solar* [online]. [vid. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.foamglas.com/cs-cz/aplikace-a-reseni/facades/solar/b-f-solar>
- [21] *Amerisolar* [online]. [vid. 2022-03-19]. Dostupné z: <http://www.weamerisolar.com>
- [22] SRDEČNÝ, Karel. *Fotovoltaika v budovách - dosavadní zkušenosti pro budoucí rozvoj*. B.m.: EkoWATT, nedatováno. ISBN 978-80-87333-04-4.
- [23] *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission* [online]. [vid. 2022-03-20]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#api_5.2
- [24] *Možnosti skladování energie ve fotovoltaike. Viessmann* [online]. 7. prosinec 2020 [vid. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/skladovani-energie-fotovoltaika.html>
- [25] *Akumulace elektřiny v budovách: základní parametry a technologie. TZB-info* [online]. [vid. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace->

elektriny/20292-akumulace-elektriny-v-budovach-zakladni-parametry-a-technologie

- [26] S.R.O, Ušetřeno.cz. *Virtuální baterie do fotovoltaiky: Porovnání dodavatelů* [online]. [vid. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/virtualni-baterie-do-fotovoltaiky>
- [27] S.R.O, oXy Online. Gravitricity: úložiště elektřiny na bázi gravitace možná bude stát ve Staříči. *Svethardware.cz* [online]. [vid. 2022-03-31]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/gravitricity-uloziste-elektriny-na-bazi-gravitace-mozna-bude-stat-ve-starici/56390>
- [28] Britové chtějí v opuštěné šachtě OKD skladovat elektřinu. Unikátní projekt má zelenou | Aktuálně.cz. *Aktuálně.cz - Víte, co se právě děje* [online]. 10. srpen 2021 [vid. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/britove-chteji-v-uhelne-sachte-okd-vyrabet-elektrinu-na-vzac/r~5a91c934f91611ebbc3f0cc47ab5f122/>
- [29] Velký přehled: Využívané i perspektivní technologie akumulace energie. *oEnergetice.cz* [online]. 11. září 2018 [vid. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/velky-prehled-vyuzivane-i-perspektivni-technologie-akumulace-energie/>
- [30] *Využití vodíkových technologií v energetice* | *allforpower.cz* [online]. [vid. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://allforpower.cz/technologie-a-materialy/vyuziti-vodikovych-technologii-v-energetice-228>
- [31] INFO@AION.CZ, AION CS-. 408/2015 Sb. Vyhláška o Pravidlech trhu s elektřinou. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-408/zneni-20220101>
- [32] Normalizované TDD. *OTE, a.s.* [online]. [vid. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/normalizovane-tdd>
- [33] S.R.O. © 2013-2021, Anylopex plus. *Anylopex plus s.r.o. - AG Energy* | *Úvodní stránka - přehled služeb* [online]. 18. leden 2013 [vid. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://agenergy.cz/>
- [34] *Software pro stavební fyziku* | *K-CAD, spol. s r.o.* [online]. [vid. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://kcad.cz/cz/uvod/>
- [35] Baterie LiFePO4 Pylontech US3000C Plus 48V 3,6kWh. *ECO PRODUKT s. r. o.* [online]. [vid. 2022-05-06]. Dostupné z: https://ecoproduct.cz/p/85806-baterie-lifepo4-pylontech-us3000c-plus-48v-3-6kwh-31098?gclid=CjwKCAjwjtOTBhAvEiwASG4bCLLNkyhb-qZdX7yHcp54ceAN2k6FfevGryb2Nopn0yjPvcdJc8jCxRoCe04QAvD_BwE
- [36] SLOVÁK, Filip a WWW.UNISMINI.CZ. Hlavní stránka. *Callida* [online]. [vid. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://callida.cz/cs/>

- [37] *PV Komplettanlagen, Wechselrichter und Solarmodule online kaufen - Wechselrichter Online* [online]. [vid. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.wechselrichter-online.de/en/>
- [38] *K&V ELEKTRO a.s.* [online]. [vid. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.kvelektro.cz/>

Seznam legislativních pramenů

ČSN 73 0331 Energetická náročnost budov

Vyhláška č. 408/2015 Sb., Vyhláška o pravidlech trhu s elektřinou

Nariženi vlády č. 362/2005 Sb., Nariženi vlády o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky

Nariženi vlády č. 591/2006 Sb., Nariženi vlády o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích

Zákon č. 309/2006 Sb., Zákon, kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy

Seznam tabulek

TAB. 1 SROVNÁNÍ ÚČINNOSTÍ JEDNOTLIVÝCH FVE PANELŮ	14
TAB. 2 SLOŽENÍ A RECYKLOVATELNÉ MNOŽSTVÍ KRYSTALICKÝCH PANELŮ.....	16
TAB. 3 SLOŽENÍ A RECYKLOVATELNÉ MNOŽSTVÍ TENKOVRSŤVÝCH (CIS, CDTE...) PANELŮ. [8].....	16
TAB. 4 FOTOVOLTAICKÝ PANEL FIRMY AMERISOLAR AS-6P30-285	31
TAB. 5 PLOCHY PRO INSTALACI PANELŮ	31
TAB. 6 - MNOŽSTVÍ DOPADAJÍCÍHO SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ-LOKALITA HRADEC KRÁLOVÉ	32
TAB. 7 – MNOŽSTVÍ VYPRODUKOVANÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE – LOKALITA HRADEC KRÁLOVÉ	33
TAB. 8 - POROVNÁNÍ ÚČINNOSTÍ JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ AKUMULACE	39
TAB. 9 - PŘÍLOHA 6 K VYHLÁŠCE Č. 408/2015 SB.	40
TAB. 10 - UKÁZKA ODBĚRŮ PRO JEDNOTLIVÉ TŘÍDY [KWH]	40
TAB. 11 - PARAMETRY FOTOVOLTAICKÉHO PANELU AMERISOLAR AS-6M144-HC-450WP.....	43
TAB. 12 - ZATÍŽENÍ STÁVAJÍCÍHO STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ	47
TAB. 13 - ZATÍŽENÍ NOVÉHO STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ.....	48
TAB. 14 - ZATÍŽENÍ STÁVAJÍCÍHO STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ	50
TAB. 15 - ZATÍŽENÍ NOVÉHO STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ.....	50
TAB. 16 - PARAMETRY PRO VÝPOČET SPOTŘEBOVANÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE PRO VYBRANOU HODINU V ROCE	52
TAB. 17 - UKÁZKA VÝPOČTU SPOTŘEBOVANÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	53
TAB. 18 - SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH.....	54
TAB. 19- VÝPOČET VYPRODUKOVANÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE FOTOVOLTAICKÝMI PANELY	56
TAB. 20 - VÝPOČET VYUŽITÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE	57
TAB. 21 - POROVNÁNÍ VYPRODUKOVANÉ A VYUŽITELNÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE	58
TAB. 22 - SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE PRO VYBRANÝ OBJEKT.....	59
TAB. 23 - VÝSEK VÝPOČTU SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE PRO KAŽDOU HODINU V ROCE U RD.....	60
TAB. 24 - SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH.....	61
TAB. 25 - PARAMETRY FOTOVOLTAICKÉHO PANELU AMERISOLAR AS-6M-360WP.....	62
TAB. 26 - VÝPOČET PRODUKCE ELEKTRICKÉ ENERGIE FOTOVOLTAICKÝMI PANELY NA STŘEŠE RD.....	63
TAB. 27 - VÝPOČET VYUŽITÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE Z FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ PRO RD.....	64
TAB. 28 - BILANCE SPOTŘEBY A PRODUKCE ELEKTRICKÉ ENERGIE PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE V ROCE	65
TAB. 29 - VYHODNOCENÍ VYUŽITÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY NA STŘEŠE RD	65
TAB. 30 - VÝPOČET VYUŽITELNÉ KAPACITY BATERIE LIFEPO	66
TAB. 31 - VÝPOČET VYUŽITÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE S AKUMULACÍ PRO RD.....	67
TAB. 32 - VYUŽITELNÁ VYPRODUKOVANÁ ELEKTRICKÁ ENERGIE S AKUMULACÍ.....	68
TAB. 33 - MÍRA VYUŽITÍ VYPRODUKOVANÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE S AKUMULACÍ	68

TAB. 34 - MÍRA VYUŽITÍ VYPRODUKOVANÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE U ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY A DÍLNY ŘEŠENÉHO AREÁLU	69
TAB. 35 - MÍRA VYUŽITÍ VYPRODUKOVANÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE U RODINNÉHO DOMU BEZ AKUMULACE PŘEBYTKŮ	69
TAB. 36 - MÍRA VYUŽITÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE U RODINNÉHO DOMU S AKUMULACÍ	69
TAB. 37 - ROZBOROVÝ LIST	75
TAB. 38 - SJEDNOCENÍ ČINNOSTÍ DO PROCESŮ	76
TAB. 39 - HARMONOGRAM VÝSTAVBY	77
TAB. 40 - ROZPOČET MONTÁŽE FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	78
TAB. 41 - PARAMETRY DO VÝPOČTU SPOLEČNĚ S VYHODNOCENÍM.....	81
TAB. 42 - CASH FLOW SPOLEČNĚ S VYHODNOCENÍM.....	82
TAB. 43 - PARAMETRY DO VÝPOČTU SPOLEČNĚ S VYHODNOCENÍM (RD).....	83
TAB. 44 - CASH FLOW SPOLEČNĚ S VYHODNOCENÍM (RD).....	83

Seznam obrázků

OBR. 1 - PRINCIP VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE FOTOVOLTAICKÝM ČLÁNKEM	11
OBR. 2 - PRŮMĚRNÝ ROČNÍ DOPAD SLUNEČNÍ ENERGIE NA ZEMSKÝ POVRCH V ČESKÉ REPUBLICĚ ..	18
OBR. 3 - PRŮMĚRNÝ ROČNÍ POČET HODIN SLUNEČNÍHO SVITU V ČESKÉ REPUBLICĚ	19
OBR. 4 - TROJÚHELNÍKOVÉ PROFILY PRO INSTALACI PANELŮ NA PLOCHÉ STŘECHY	20
OBR. 5 - KOTVENÍ KONSTRUKCE SKRZ STŘEŠNÍ PLÁŠŤ	20
OBR. 6 - KOTVENÍ PANELU K ZATĚŽOVACÍM BETONOVÝM BLOKŮM	21
OBR. 7 - KOTVENÍ PANELŮ K ZATĚŽOVACÍM DESKÁM URČENÝCH PRO NÁSYP KAČÍRKU	21
OBR. 8 - STŘEŠNÍ PÁSY EVALON SOLAR.....	22
OBR. 9 - PROSTUP PRO KABELY NA PLOCHÉ STŘEŠE.....	22
OBR. 10 – KOTVENÍ PANELU NA STŘECHU SE SKLÁDANOU KRYTINOU	23
OBR. 11 - KABELOVÝ PROSTUP.....	24
OBR. 12 - HLINÍKOVÝ PROFIL S KABELOVÝM ŽLABEM.....	24
OBR. 13 - KOTVENÍ PANELU KE STŘEŠE S FALCOVANOU KRYTINOU	25
OBR. 14 - KOTVENÍ PANELU KE STŘEŠE S VLNITOU KRYTINOU	26
OBR. 15 - KABELOVÝ PROSTUP PRO FALCOVANÉ A TRAPÉZOVÉ PLECHY	26
OBR. 16 - TROJÚHELNÍKOVÁ KONSTRUKCE PRO MONTÁŽ PANELŮ NA FASÁDU	27
OBR. 17 - ZAVĚŠENÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ NA PROVĚTRÁVANÉ FASÁDĚ	28
OBR. 18 - VEDENÍ KABELŮ V PROVĚTRÁVANÉ FASÁDĚ	28
OBR. 19 - PŘEDSAZENÁ MONTÁŽ FVE PANELŮ	28
OBR. 20 - KOTVENÍ PANELŮ PŘÍMO DO ZATEPLOVACÍHO SYSTÉMU	29
OBR. 21 - FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY NA PROSKLENÉ FASÁDĚ	30
OBR. 22 - SYSTÉM PRO MONTÁŽ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ FIXGRID 18	42
OBR. 23 – STANOVENÍ ODSUPOVÉ VZDÁLENOSTI FVE PANELŮ NA STŘEŠE ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY	44
OBR. 24 - STANOVENÍ ODSUPOVÉ VZDÁLENOSTI FVE PANELŮ NA STŘEŠE DÍLNY.....	45
OBR. 25 - ROZLOŽENÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ NA STŘEŠE RODINNÉHO DOMU.....	62
OBR. 26 - POLOŽENÍ VODÍCÍCH LIŠŤ	70
OBR. 27 - ODSUPOVÉ VZDÁLENOSTI LIŠŤ	71
OBR. 28 - OSAZENÍ DRŽÁKU DO LIŠTY OBR. 29 - PŘIPEVNĚNÍ DRŽÁKU	71
OBR. 30 - PODLOŽENÍ LIŠŤ.....	72
OBR. 31 - PŘIPRAVENÝ NOSNÝ SYSTÉM PRO POKLÁDKU PANELŮ.....	72
OBR. 32 - OSAZENÍ PANELU.....	72
OBR. 33 - MONTÁŽ ZÁVĚTRNÝCH LIŠŤ	73
OBR. 34 - MOŽNOSTI PŘÍTÍŽENÍ KONSTRUKCE.....	74

Seznam příloh

Příloha 1 – Návrh rozmístění panelů + situace

Příloha 2 – Výpočet spotřeby a produkce elektrické energie

Příloha 3 - BOZP