

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

Bc. Radek Valášek

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektrotechniky

**Vytvoření projektové dokumentace budovy se zvýšenou
energetickou nezávislostí**
Creating a design documentation for a building with increased energy
independence

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektrotechniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radek Valášek**

Studijní program: N2661 Projektování elektrických systémů a technologií

Téma: **Vytvoření projektové dokumentace budovy se zvýšenou energetickou nezávislostí**
Creating a Design Documentation for a Building with Increased Energy Independence

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce bude vytvoření projektové dokumentace budovy se zvýšenou energetickou nezávislostí. Úvodem bude popsána problematika budov s nízkou energetickou náročností a jejich kategorické rozdělení. Dále se práce bude zabývat základním legislativním rámcem provozování slunečních elektráren a jejich připojování do distribuční soustavy, jejich ochranou před bleskem a přepětím a rovněž aktuálními dotačními možnostmi. Práce bude rovněž obsahovat popis komponentů, které budou použity k řízení systémů v budově. Hlavní částí diplomové práce bude zpracování projektové dokumentace s návrhem fotovoltaického systému. V závěru práce bude provedeno energetické a ekonomické zhodnocení navrženého systému.

1. Základní rozdělení a popis budov s velmi nízkou energetickou náročností
2. Základní legislativní rámec provozování slunečních elektráren (FVE) a jejich připojování do distribuční soustavy. Ochrana FVE před bleskem a přepětím.
3. Rozbor dotačních příležitostí pro fotovoltaické systémy (FVS)
4. Návrh a dimenzování FVS, výpočty energetických zisků, samotný návrh FVS.
5. Vytvoření projektové dokumentace
6. Porovnání a zhodnocení energetických a ekonomických parametrů

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Vaverka, J.: Stavební tepelná technika a energetika budov. Nakladatelství VUTUM. Brno, 2006. ISBN 8021429100 648s
- [2] Haselhubn, R.: Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [3] Legislativa pro fotovoltaické elektrárny [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/legislativa-fotovoltaiky/>
- [4] OSTROVNÍ SYSTÉMY (OFF-GRID). Solarmonitoring [online]. [cit. 2017-11-08]. Dostupné z: <http://www.solarmon.eu/cz/produkty-a-sluzby/ostrovni-systemy-off-grid/>
- [5] Garlík, B.: B8 – Zásady provádění elektroinstalací při realizaci budov dle principu trvale udržitelné výstavby. NSC Brno, 2012, ISBN 978-80-87665-28-2
- [6] Merz, H., Hansemann, T., Hubner Ch.: Automatizované systémy budov, Grada Publishing, a.s., Praha, 2009, 250 stran, ISBN 978-80-247-2367-9
- [7] Garlík, B.: Inteligentní budovy, BEN – technická literatura, Praha, 2012. ISBN: 978-80-7300-440-8.
- [8] Garlík, B.: Elektrotechnika a inteligentní budovy, ČVUT v Praze, Nakladatelství ČVUT, 2014.

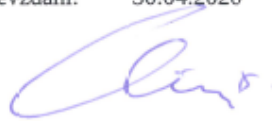
- [9] MERZ, Hermann, Thomas Hansemann, Christof Hübner. Automatizované systémy budov. Praha: Grada Publishing, a.s., 2007
- [10] ČSN EN 61439-1 ed. 2 Rozváděče nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení. Praha: ÚNMZ, 2012, Třídící znak: 357107.
- [11] ČSN EN 61730-2 ed. 2 Způsobilost k bezpečné činnosti fotovoltaických (PV) modulů - Část 2: Požadavky na zkoušení, Praha: ÚNMZ, 2008, Třídící znak: 364650.
- [12] ČSN EN 61557-1 ed. 2 Elektrická bezpečnost v nízkonapěťových rozvodných sítích se střídavým napětím do 1 000 V a se stejnosměrným napětím do 1 500 V - Zařízení ke zkoušení, měření nebo sledování činnosti prostředků ochrany - Část 1: Všeobecné požadavky, Praha: ÚNMZ, 2008, Třídící znak: 356230.
- [13] ČSN 33 2000-7-712 ed. 2 Elektrické instalace nízkého napětí - Část 7-712: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech - Fotovoltaické (PV) systémy, Praha: ÚNMZ, 2016, Třídící znak: 332000.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Hrbáč, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2020



doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

„Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

V Kroměříži dne 30. 04. 2020


.....

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu práce Ing. Romanovi Hrbáčovi, Ph.D. za jeho vedení, poskytnuté podklady a pomoc při tvorbě diplomové práce. Veliké díky mu patří hlavně za odborné konzultace ohledně technického řešení.

V neposlední řadě bych rád touto cestou poděkoval své rodině a kolegům v práci za psychickou podporu během mých studií a psaní této práce.

Abstrakt

Cílem diplomové práce bude vytvoření projektové dokumentace budovy se zvýšenou energetickou nezávislostí. Úvodem bude popsána problematika budov s nízkou energetickou náročností a jejich kategorické rozdělení. Dále se práce bude zabývat základním legislativním rámcem provozování slunečních elektráren a jejich připojování do distribuční soustavy, jejich ochranou před bleskem a přepětím a rovněž aktuálními dotačními možnostmi. Práce bude rovněž obsahovat popis komponentů, které budou použity k řízení systémů v budově. Hlavní částí diplomové práce bude zpracování projektové dokumentace s návrhem fotovoltaického systému. V závěru práce bude provedeno energetické a ekonomické zhodnocení navrženého systému.

Klíčová slova

Projektování v elektrotechnice; zvýšená energetická nezávislost; fotovoltaická elektrárna; ekonomické zhodnocení

Abstract

The aim of the thesis is to create a project documentation of a building with increased energy independence. At the beginning, the issue of low-energy buildings and their categorical division will be described. Furthermore, the thesis will deal with the basic legislative framework for operating solar power plants and also their connection to the distribution system, their protection against lightning and overvoltage, as well as current subsidy options. The work will also include a description of the components that will be used to control the systems in the building. The main part of the thesis will be the processing of project documentation with the design of the photovoltaic system. At the end of the work, an energy and economic evaluation of the proposed system will be carried out.

Keywords

Electrical-engineering design; increased energy independence; photovoltaic power plant; economic evaluation

Obsah

Úvod	- 7 -
1 Základní rozdělení a popis budov s velmi nízkou energetickou náročností	- 8 -
1.1 Legislativní rámec.....	- 8 -
1.2 Energetické standardy budov	- 8 -
1.3 Definice budovy s téměř nulovou spotřebou energie	- 9 -
2 Základní legislativní rámec provozování slunečních elektráren a jejich připojování do distribuční soustavy. Ochrana fotovoltaické elektrárny před bleskem a přepětím	- 11 -
2.1 Základní legislativní rámec provozování fotovoltaické elektrárny	- 11 -
2.2 Připojení fotovoltaické elektrárny do distribuční sítě.....	- 13 -
2.3 Ochrana fotovoltaické elektrárny před bleskem a přepětím	- 16 -
3 Rozbor dotačních příležitostí pro fotovoltaické systémy	- 21 -
3.1 Zelený bonus a přímý výkup	- 21 -
3.2 Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost.....	- 21 -
3.3 Nová zelená úsporám.....	- 22 -
4 Návrh a dimenzování fotovoltaického systému, výpočty energetických zisků, samotný návrh fotovoltaického systému	- 28 -
4.1 Plánování fotovoltaického systému	- 28 -
4.2 Prohlídka místa, výběr stanoviště a analýza zastínění	- 33 -
4.3 Montážní systémy pro upevnění fotovoltaického systému.....	- 35 -
4.4 Energetické potřeby rodinného domu, zátěžové diagramy.....	- 37 -
4.5 Popis zvolené fotovoltaické elektrárny, energetické zisky, použité komponenty	- 42 -
5 Vytvoření projektové dokumentace	- 46 -
5.1 Simulační software	- 46 -
5.2 Projektová dokumentace	- 52 -
6 Porovnání a zhodnocení energetických a ekonomických parametrů	- 56 -
6.1 Porovnání energetických parametrů	- 56 -
6.2 Porovnání ekonomických parametrů	- 58 -
Závěr	- 61 -
Splnění cílů diplomové práce.....	- 61 -
Výsledky a přínos diplomové práce.....	- 61 -
Možnosti dalšího zaměření	- 62 -
Seznam použité a studované literatury	- 63 -
Seznam příloh	- 65 -

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka	Význam
2D	Dvoudimenzionální prostor
3D	Trojdimenzionální prostor
A	Základní jednotka pro ekletický proud
AC	Střídavý proud
CO ₂	Oxid uhličitý
CYA	Ohebný měděný jednožilový vodič
CYKY	Měděný silový kabel
ČNB	Česká národní banka
ČR	Česká republika
DC	Stejnoseměrný proud
DPH	Daň z přidané hodnoty
DS	Distribuční soustava
ENB	Energetická náročnost budovy
EP	Ekvipotenciální přípojnice
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
FVE	Fotovoltaická elektrárna
FVS	Fotovoltaický systém
IP	Stupeň krytí
kVA	Jednotka zdánlivého elektrického výkonu
kW	Jednotka výkonu
kWh	Jednotka energie
kWp	Jednotka špičkového výkonu
LEMP	Elektromagnetický impuls bleskového proudu
LPL	Hladina ochrany před bleskem
LPS	Vnější jímací soustava hromosvodu
LPZ	Zóna ochrany před bleskem
MPP	Bod maximální výkonu, pracovní bod panelu
MPPT	Sledovač bodu maximálního výkonu
Ni-Cd	Nikl-kadmiový akumulátor
NT	Nízký tarif distribuční sazby
NZEB	Budova s velmi nízkou energetickou náročností

NZÚ	Nová zelená úsporám
OFF-GRID	Systemové řešení bez připojení na distribuční soustavu
ON-GRID	Systemové řešení spojené s distribuční soustavou
OOPP	Osobní ochranné pracovní prostředky
OZE	Obnovitelný zdroj energie
PV*SOL	Simulační program firmy Valentin software
PVGIS	Fotovoltaický geografický informační systém
SEMP	Rázová elektromagnetická vlna
Smart grids	Chytrá distribuční síť
SZ	Stavební zákon
TUV	Teplá užitková voda
UV	Ochrana před ultrafialovým zářením
VT	Vysoký tarif distribuční sazby

Seznam ilustrací

Obr. 2.1: Systém pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě	- 13 -
Obr. 2.2: Systém pro výhradní prodej elektrické energie do sítě	- 13 -
Obr. 2.3: Systém s přímým napájením.....	- 14 -
Obr. 2.4: Systém s akumulací elektrické energie (12/24 V).....	- 14 -
Obr. 2.5: Systém s akumulací elektrické energie (12 V i 230 V).....	- 15 -
Obr. 2.6: Škody způsobené bleskem na fotovoltaických zdrojích – příčina škod.....	- 17 -
Obr. 2.7: Koncepce zón bleskové ochrany dle ČSN EN 62305-4.....	- 20 -
Obr. 4.1: Zvýšení vlastní spotřeby pomocí úložiště	- 29 -
Obr. 4.2: Kompletní okruh činnosti střídače	- 31 -
Obr. 4.3: Graf toku energie zasíťovaného FV zařízení	- 33 -
Obr. 4.4: Vizualizace podoby uvažovaného rodinného domu	- 34 -
Obr. 4.5: Rozdělení druhů montáže FVE systémů	- 35 -
Obr. 4.6: Rozdělení střešních montážních FVE systémů	- 36 -
Obr. 4.7: Rozdělení střešních montážních FVE systémů	- 37 -
Obr. 4.8: Zátěžový diagram pro definování ročního průběhu spotřeby rodinného domu	- 39 -
Obr. 4.9: Přehled celkového ročního krytí spotřeby pomocí FVE systému	- 43 -
Obr. 5.1: Klasifikace softwaru a simulačních programů pro FVE systémy	- 47 -

Seznam tabulek

Tab. 1.1: Porovnání požadavků na budovy s téměř nulovou spotřebou energie	- 9 -
Tab. 1.2: Parametry a hodnoty referenční budovy	- 10 -
Tab. 1.3: Hodnoty faktoru celkové primární a neobnovitelné primární energie	- 10 -
Tab. 3.1: Požadované parametry v podoblastech C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7 a C.3.8	- 25 -
Tab. 3.2: Výše podpory pro oblast podpory C.3	- 25 -
Tab. 4.1: Přehled spotřeb elektrické energie v jednotlivých měsících	- 41 -

Seznam grafů

Graf 4.1: Průběh denní spotřeby rodinného domu	- 40 -
Graf 4.2: Spotřeba elektrické energie rodinného domu v průběhu roku	- 41 -

Úvod

V poslední době vzrůstá zájem z řad odborníků i široké veřejnosti ohledně problematiky nízkenergetických budov. Vstupem České republiky do Evropské unie vyvstala nutnost splnit směrnici o energetické náročnosti budov na území členských států. Prvně byla zavedena povinnost zpracovat průkaz energetické náročnosti budovy. Dále bylo deklarováno, že všechny budovy mají být v budoucnu stavěny jako energeticky nulové nebo blízké této úrovni. Tento požadavek bude platný od roku 2021.

V literatuře se uvádí, že více jak 40 % energie je spotřebováno v souvislosti s provozem budov. Tímto pohledem je na místě formulovat požadavky na nově realizované budovy s ohledem na ochranu klimatu. Cílem opatření je snížení spotřeby o 20 % do roku 2020. Dle Evropské komise je možné snížit emise nízkouhlíkového hospodářství o 90 % do roku 2050. [32], [35]

Úspora spotřebovaných energií v budově souvisí i se stále se zvyšující cenou elektrické energie na trhu, tím vyvstává i vyšší nutnost pokrýt a snížit spotřebu elektrické energie. Do provozní bilance energetické náročnosti budovy se započítává energie na vytápění, chlazení, teplou vodu, elektrická energie na provoz technického systému a provoz umělého osvětlení. Tato hodnota se vyjadřuje jako primární energie, která nejlépe charakterizuje potřebu budovy. [24], [33], [34]

Pro pokrytí spotřebovaných energií v budovách se nabízí využití sluneční energie. Ta může být využívána mnoha způsoby. Například k výrobě teplé vody, nebo při výrobě a ukládání elektrické energie. Nicméně v tomto případě je také nutné dodržet nákladově optimální úroveň, tak aby byla návratnost použitého řešení v kontextu času co možná nejkratší. Optimálně se považuje řešení, které odpovídá minimu součtové křivky investičních a provozních nákladů na provoz budovy. Toto hodnocení se provádí na 30 let a reprezentuje vztah mezi nutnou primární energií a celkovými náklady na pořízení odpovídajícího řešení. [17], [22], [23], [29]

Cílem zadání diplomové práce je vytvoření projektové dokumentace budovy se zvýšenou energetickou nezávislostí. V úvodu byla popsána problematika budov s nízkou energetickou náročností a jejich kategorické členění, dále princip hodnocení energetické bilance a bilanční schéma. V další části diplomové práce jsem se zaměřil na legislativní rámec provozování slunečních elektráren a jejich připojování do distribuční soustavy, ochranu slunečních elektráren před účinky blesku a přepětí. Důležitou částí diplomové práce je popis aktuálního stavu dotačních titulů, podmínky jejich získání a nutné dokumenty, které jsou pro získání dotačního titulu vyžadovány. Práce rovněž obsahuje popis komponentů použitých k realizaci. Hlavní částí diplomové práce bylo zpracování projektové dokumentace s návrhem fotovoltaického systému, tak aby dokumentace splňovala všechny požadavky na přiznání dotačního titulu. V závěru práce jsem provedl energetické a ekonomické zhodnocení navrženého systému a dále provedl celkové zhodnocení.

1 Základní rozdělení a popis budov s velmi nízkou energetickou náročností

Celou historii lidské společnosti provází nutnost minimalizovat svoji energetickou spotřebu. To souvisí s vyčerpáním stávajících energetických zdrojů, například vykácením lesů. Příkladem mohou být tzv. tympanony, které využívaly stíněná okna a sluneční záření. U nás byly využívány dřevěné chalupy z masivního dřeva o tloušťce až 30 cm, kde probíhala akumulace tepla do vnitřních omítek z nepálené hlíny a velká kachlová pec zajišťovala tepelnou pohodu. Zpočátku bylo využíváno solárních kolektorů a nebyl brát zřetel na tepelné ztráty objektu. V roce 1975 se ve Švédsku schválila norma SBN 75, která se bere jako základ dnešního nízkoenergetického standardu. [33], [35]

1.1 Legislativní rámec

Evropská unie vydala směrnici Evropského parlamentu a Rady č. 2010/31/EU, která upravuje energetickou náročnost budov. Navazuje na předchozí směrnici, která obsahovala povinné zpracování energetického průkazu náročnosti budovy. Dále požadovala, aby byly po roce 2011 nově postavené budovy v pasivním standardu. Ve směrnici č. 2010/31/EU je stanoveno, aby nejpozději do roku 2021 byly nové budovy stavěny jako energeticky téměř nulové. [7], [12], [35]

Česká republika tuto směrnici ratifikovala pomocí zákona č. 318/2012 Sb., jenž je novelou zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření s energií. Dále vyhláškou č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov. Tato vyhláška obsahuje metodiku pro hodnocení energetické náročnosti budov (ENB). Podle vyhlášky se provede výpočet celkových dodaných energií do budovy, které se porovnají s referenční budovou. To slouží jako podklad pro vydání energetického štítku budovy. [27], [34]

V České republice je platná norma ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov, která také popisuje kategorie budov od nízkoenergetických až po nulové. Nové budovy mimo veřejnou správu musí splňovat požadavky dle vyhlášky č. 73/2013 Sb., která stanovuje následující:

- od 1. ledna 2018 – domy s podlahovou plochou větší než 1 500 m²,
- od 1. ledna 2019 – domy s podlahovou plochou větší než 350 m²,
- od 1. ledna 2020 – domy s podlahovou plochou menší než 350 m². [12]

1.2 Energetické standardy budov

Nízkoenergetické budovy jsou charakteristické nízkou spotřebou tepla na vytápění, to je dosaženo zejména dobře izolovanou obálkou budovy. Dalším stupněm jsou pasivní budovy, ty vychází z principu využívání pasivních tepelných zisků v budově. Hraniční hodnota mezi standardy je 50 kWh / (m²a). Nízkoenergetické budovy jsou v podstatě shodné s pasivními, pouze jsou použity technologie v menší míře. S tím souvisí i budovy s téměř nulovou spotřebou energie, ty parametrů dosáhnou pomocí navýšení vstupní primární obnovitelné energie. Hodnocení se provádí na více úrovních podle:

- součinitele prostupu tepla,
- měrné potřeby tepla na vytápění,
- měrné potřeby energie na vytápění,
- měrné potřeby primární energie na vytápění,
- měrné potřeby energie na provoz budovy,
- měrných ekvivalentních emisí CO₂ při provozu. [24], [27], [33]

Vzhledem ke složitosti energetických standardů byla zpracována tabulka, kde jsou uvedeny požadavky na potřebu tepla na vytápění a hodnota požadavku na neobnovitelnou primární energii. V neposlední řadě také obecná definice jednotlivých energetických standardů.

Tab. 1.1: Porovnání požadavků na budovy s téměř nulovou spotřebou energie

Energetický standard budovy	Definice	Orientační hodnota požadavku na potřebu tepla na vytápění [kWh/m ² za rok]	Orientační hodnota požadavku na neobnovitelnou primární energii [kWh/m ² za rok]
Budova s téměř nulovou spotřebou energie dle vyhlášky č. 78/2013 Sb.	Požadavek závazný pro všechny budovy od 1. 1. 2020	30 – 70 dle typu a tvaru budovy. Část může být pokryta z obnovitelných zdrojů (malé objekty > 80)	100 – 160 dle typu a tvaru budovy (malé objekty > 200)
Budova s téměř nulovou spotřebou dle Evropské komise	Doporučení Evropské komise o pokynech podpory budov s téměř nulovou spotřebou energie	-	20 – 40 pro kontinentální klima

1.3 Definice budovy s téměř nulovou spotřebou energie

Cílem Evropské komise je dosáhnout snížení spotřeby energie o 20 %. Předpisy týkající se budov stanovují podmínky a limity pro roky 2013–2020, které směřují k budovám s téměř nulovou spotřebou energie. Tyto podmínky budou muset splňovat dle vyhlášky č. 78/2013 Sb. všechny budovy od roku 2020. Budovou s téměř nulovou spotřebou energie se obecně rozumí budova s nízkou energetickou náročností, kdy je spotřeba kryta ve značném rozsahu z obnovitelných zdrojů. Tím dochází ke zpřísnění požadavků na ukazatele energetické náročnosti. Budova musí požadavek na neobnovitelnou primární energii dosáhnout zlepšením parametrů obálky budovy a zvýšením podílu systému využívajícího obnovitelné zdroje. [15]

Energetická náročnost budovy je vypočtené množství energie nutné pro potřeby energie spojené s užíváním budovy. Zejména na vytápění, chlazení, přípravu teplé vody, větrání a osvětlení. Vypočtená hodnota energetické náročnosti budovy popisuje tepelně technické vlastnosti konstrukcí a dále účinnosti technických systémů při provozu budovy, který je zpracován v souladu s požadavky právních předpisů. Hodnocení je založeno na hodnocení energetické náročnosti budov v porovnání s budovou referenční. K posouzení slouží tedy abstraktní stavba, která má dány stejné parametry jako posuzovaná, avšak předem definované vlastnosti. Například součinitele prostupu tepla. Pro budovu s téměř nulovou spotřebou energie platí tedy tři konkrétní požadavky:

- průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} ,
- ukazatel neobnovitelné primární energie za rok Q_{nPE} ,
- celková dodaná energie za rok Q_{fuel} . [12], [15]

Prvním požadavkem je průměrný součinitel prostupu tepla, tím pádem velmi nízká energetická náročnost dána redukčním činitelem. Je nutné splnit hodnotu $f_R = 0,7$. Hodnota znamená násobek hodnoty U_{em} , které je dosaženo použitím hodnot součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí dle

ČSN 730540-2 a referenční přírážky na vliv tepelných vazeb. Údaje o parametrech obálky jsou vstupním údajem pro výpočet energetické náročnosti budovy. [12], [15]

Tab. 1.2: *Parametry a hodnoty referenční budovy*

Parametr	Označení	Jednotky	Referenční hodnota		
			Dokončená budova a její změna	Nová budova	Budova s téměř nulovou spotřebou energie
Redukční činitel požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla	f_R	-	1,0	0,8	0,7

Druhým a třetím požadavkem je pokrytí spotřeby energie z obnovitelných zdrojů. Je stanoven požadavek na snížení hodnoty neobnovitelné primární energie stanovené pro referenční hodnotu. To se odvíjí od použitého zdroje energie a spotřebované energie v budově. Požadavek je ve vyhlášce specifikován pomocí procentního snížení primární neobnovitelné energie referenční budovy. To znamená, že vypočteme hodnoty referenční budovy s parametry $f_R = 0,7$ a dalšími vstupy pro referenční budovy. Takto stanovenou spotřebu je nutné snížit na straně primární neobnovitelné energie budovy o 25 %. Snížení je možné dosáhnout využitím zdrojů energie o nižším faktoru primární neobnovitelné energie, vyšší účinnosti, nebo zdrojů obnovitelných. [12], [15]

Tab. 1.3: *Hodnoty faktoru celkové primární a neobnovitelné primární energie*

Energonositel	Faktor celkové primární energie	Faktor neobnovitelné primární energie
Zemní plyn	1,1	1,1
Černé uhlí	1,1	1,1
Elektřina	3,2	3,0
Dřevěné pelety	1,2	0,2
Kusové dřevo	1,1	0,1
Energie prostředí	1,0	0

Hodnocení energetické náročnosti budovy určují vzhledem k uvedeným ukazatelům energetické náročnosti budovy v principu tyto ukazatele:

- úroveň kvalitativního řešení obálky budovy, která přímo ovlivňuje ukazatel energetické náročnosti, průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} ,
- použité technické systémy pro vytápění, chlazení, větrání, vlhčení, přípravu teplé vody a osvětlení, které přímo ovlivňují ukazatel energetické náročnosti, celkovou dodanou energii Q_{fuel} ,
- druh energonositelů spotřebovaných v budově, případně produkce energie v rámci systémové hranice budovy, které přímo ovlivňují ukazatel energetické náročnosti, neobnovitelnou primární energii Q_{Npe} . [12], [15]

Zjednodušeně je NZEB budova, která má přísnější požadavky na obálku budovy, technické systémy pokrývají potřebu energie s vysokou účinností a budova využívá energonositele s vyšším podílem obnovitelné primární energie, případně energii produkuje (elektřina, teplo).

2 Základní legislativní rámec provozování slunečních elektráren a jejich připojování do distribuční soustavy. Ochrana fotovoltaické elektrárny před bleskem a přepětím

V následující kapitole jsem provedl analýzu legislativního rámce pro výstavbu a provozování fotovoltaických elektráren z hlediska platných předpisů, norem a zákonů. Dále jsem popsal požadavky a podmínky pro připojení fotovoltaických elektráren do distribuční soustavy. V poslední části kapitoly jsem zpracoval přehled problematiky ochrany fotovoltaických elektráren před bleskem a přepětím.

2.1 Základní legislativní rámec provozování fotovoltaické elektrárny

Podpora obnovitelných zdrojů energie je významnou prioritou při diverzifikaci zásobování elektřinou. Rostoucí využívání vyrobené elektrické energie z obnovitelných zdrojů představuje důležitou část opatření pro splnění cílů Kjótského protokolu, který se týká snižování emisí skleníkových plynů. Společný rámec podpory energie z obnovitelných zdrojů uplatňuje směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2009/28/ES ze dne 23. 4. 2009, o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následným zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES. Na hrubé spotřebě energie se má podílet využití z obnovitelných zdrojů do roku 2020 v České republice podílem 13 %. Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů, který byl zpracován v srpnu 2012 na základě rozhodnutí Komise ze dne 30. 6. 2009 stanovil vzor pro národní akční plány podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES, kde se předpokládá v roce 2020 dosažení podílu energie z obnovitelných zdrojů ve výši 14 %. V oblasti obnovitelných zdrojů v České republice hraje důležitou roli zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a prováděcí předpis k tomu zákonu je vyhláška č. 347/2012 Sb. [2], [4], [21]

Další související právní předpisy v oblasti stavby a provozování fotovoltaických elektráren připojených na síť a ostrovní systémy instalované na stavbě jsou např. zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů. Vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území, ve znění pozdějších předpisů. Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Vyhláška č. 347/2012 Sb., kterou se stanoví technicko-ekonomické parametry obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny a doba životnosti výroben elektřiny z podporovaných zdrojů. A v neposlední řadě vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov. [1], [25]

2.1.1 Umíst'ování, povolování a užívání fotovoltaických elektráren

Zařízení stavby pro zásobování elektrickou energií patří mezi technická zařízení stavby a její nedílnou součástí. S dalším technickým vybavením zabezpečuje způsob využití stavby, pro který byla navržena a provedena a ke kterému následně bylo vydáno i její užívání. Stavby musí podle druhu určení splňovat napojení na vodovod, zařízení pro zneškodňování odpadních vod a sítě potřebných energií. Toto musí být navrženo a provedeno tak, aby byla respektována hospodárnost a současně byly splněny požadavky na mechanickou odolnost, stabilitu, ochranu proti hluku, ochranu zdraví osob a zvířat, životního prostředí, požární bezpečnost a úsporu energie. [3], [6]

Rozdělení umístění fotovoltaických elektráren můžeme rozdělit do čtyř základních skupin, které jsou tyto:

- fotovoltaické elektrárny, solární parky umístěné na pozemku,
- fotovoltaické elektrárny, solární parky umístěné na stavbě,
- menší fotovoltaické systémy připojené na síť a ostrovní systémy instalované na zastavěném stavebním pozemku,
- menší fotovoltaické systémy připojené na síť a ostrovní systémy na stavbě. [3], [6]

Fotovoltaické elektrárny, solární parky umístěné na pozemku

Umístění tohoto typu fotovoltaických elektráren je rozděleno dle toho, zda má obec zpracován platný územní plán. Pokud nemá obec platný územní plán a je uvažováno s umístěním fotovoltaické elektrárny v nezastavěném území možno počítat. V zastavěném území fotovoltaickou elektrárnu umístit lze. V případě, že má obec platný územní plán, který stanovuje využití konkrétních ploch daného území je umístění fotovoltaické elektrárny možné především v plochách výroby a v plochách smíšených výrobních. V obou případech je vyžadováno pro umístění stavby vydání územního rozhodnutí, které je možné nahradit veřejnoprávní smlouvou. Užívání je možné pouze na základě kolaudačního souhlasu dle § 122 odst. 1 stavebního zákona. [3], [6], [26]

Fotovoltaické elektrárny, solární parky umístěné na nástavbě

Fotovoltaická elektrárna v tomto případě využívá stávající stavbu jako nosnou konstrukci, ale není její součástí. Jedná se o tzv. případ „stavby na stavbě“. Na území obce, která nemá platný územní plán, lze fotovoltaickou elektrárnu umístit, pokud nesnižuje kvalitu životního prostředí. Ve výše uvedených případech je vyžadováno pro umístění stavby vydání územního rozhodnutí, které je možné nahradit veřejnoprávní smlouvou, provedení fotovoltaické elektrárny vyžaduje stavení povolení. FVE může být užívána pouze na základě kolaudačního souhlasu dle § 122 odst. 1 stavebního zákona. Pokud vyvolané stavební úpravy stávající stavby nevyžadovaly stavební povolení ani ohlášení stavebnímu úřadu, nevyžadují oznámení stavebnímu úřadu a ani kolaudační souhlas. [3], [6], [26]

Menší fotovoltaické systémy připojené na síť a ostrovní systémy instalované na zastavěném stavebním pozemku

Menší systémy připojené na síť se posuzují jako technická zařízení stavby. Připojení FVS ke stavbě, jejímž technickým zařízením je spojeno se stavebními úpravami této stávající stavby, které podle § 79 odst. 6 stavebního zákona nevyžadují rozhodnutí o umístění stavby ani územní souhlas. Povolení stavby fotovoltaické elektrárny na pozemku je dáno celkovým instalovaným výkonem. Pokud je uvažováno s celkovým instalovaným výkonem do 20 kW stavební povolení ani ohlášení stavebnímu úřadu se nepožaduje, pokud je celkový instalovaný výkon vyšší než 20 kW, je nutná instalace na základě stavebního povolení. [3], [6], [26]

Menší fotovoltaické systémy připojené na síť a ostrovní systémy instalované na stavbě

Stejně jako při stavbě fotovoltaické elektrárny instalované na zastavěném stavebním pozemku je zařízení posuzováno jako technické zařízení stavby a její nedílnou součástí je i s dalším technickým zařízením. Instalace fotovoltaické elektrárny na stavbu je dle stavebního zákona posuzováno jako změna dokončené stavby (stavební úprava dokončené stavby). Dle § 79 odst. 6 stavebního zákona se proto nevyžaduje rozhodnutí o umístění stavby ani územní souhlas. [3], [6], [26]

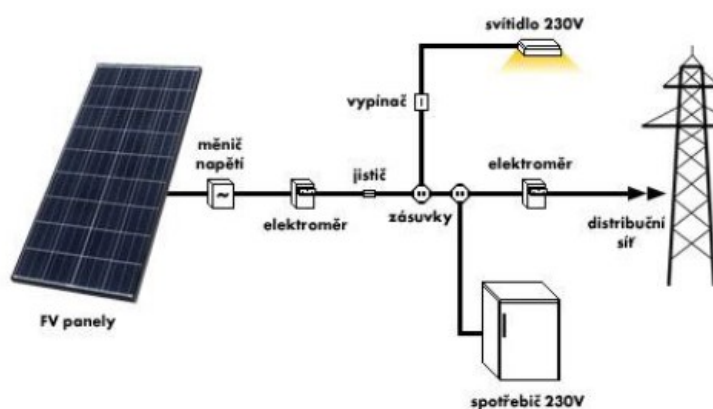
2.2 Připojení fotovoltaické elektrárny do distribuční sítě

Dimenze fotovoltaické elektrárny může mít různou velikost, tu volíme na základě účelu využití. Pro pokrytí spotřeby elektrické energie v rodinném domě stačí pouze malá střešní instalace. Velké instalace, kterou jsou instalovány buď na střechách objektů, nebo na volné ploše se velmi často využívají k zásobování elektrické sítě. Fotovoltaické elektrárny mají možnost napojení do distribuční sítě v režimu ON-GRID. Dále jsou na trhu využívány i systémy OFF-GRID, které nejsou připojeny na distribuční soustavu. Podmínky pro podnikání, výkon státní správy a regulaci v energetických odvětvích upravuje energetický zákon a dále vyhláška č. 16/2016 Sb. ze dne 13. ledna 2016 o podmínkách připojení k elektrizační soustavě.

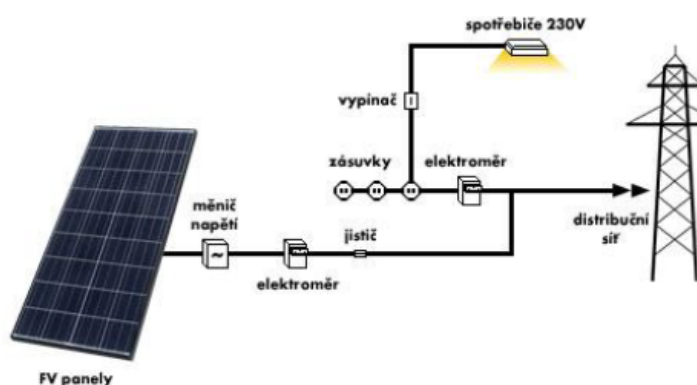
2.2.1 Rozdělení fotovoltaických systémů

Sít'ové systémy (on-grid)

Tyto systémy jsou využívány v oblastech s hustou distribuční sítí, špičkový výkon je v rozmezí kilowatt až jednotek megawatt. Umístění je možné na střechy rodinných domů, střechy a fasády administrativních budov a na volnou plochu. Základní dělení je na solární parky a menší systémy. [29]



Obr. 2.1: Systém pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě [16]



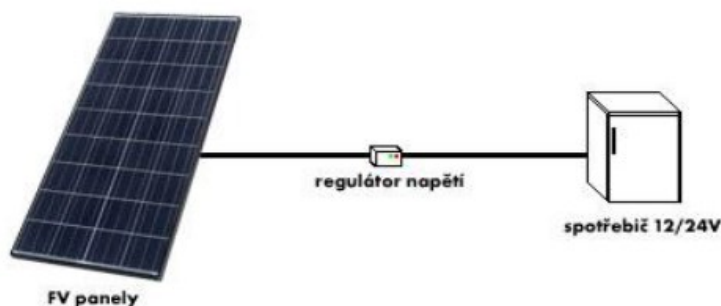
Obr. 2.2: Systém pro výhradní prodej elektrické energie do sítě [16]

Ostrovní systémy (on-grid)

Tyto systémy nejsou připojeny na distribuční síť. Systémy se dělí na systémy s přímým napájením, hybridní systémy a systémy s akumulací elektrické energie. [29]

Systémy s přímým napájením

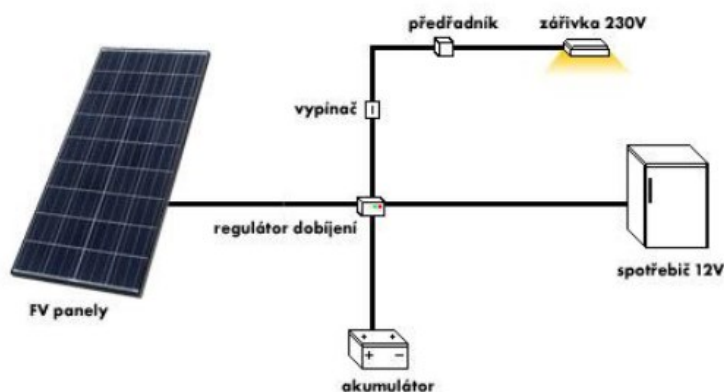
Varianta je použitelná v případě, že připojené zařízení je funkční pouze, když je dostatečná intenzita slunečního záření. Jedná se o prosté propojení solárního systému a spotřebiče přes regulátor napětí.



Obr. 2.3: *Systém s přímým napájením* [16]

Systémy s akumulací elektrické energie

Akumulace elektrické energie je využitelná hlavně v případech, kdy je nutná potřeba elektrické energie v době bez slunečního záření. Tyto systémy obsahují speciální akumulátorové baterie. Optimální nabíjení a vybití akumulátoru je zajištěno regulátorem, který řídí tok spotřeby energií. [29]

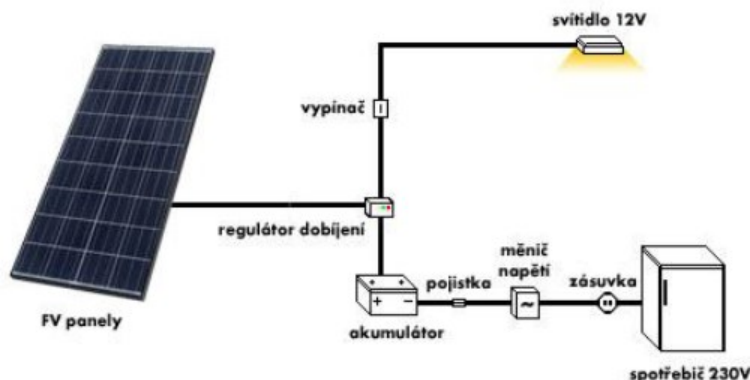


Obr. 2.4: *Systém s akumulací elektrické energie (12/24 V)* [16]

Hybridní ostrovní systémy

Tyto systémy se využívají tam, kde je předpoklad celoročního provozu, a v určitém časovém úseku jsou používány spotřebiče s vysokou spotřebou elektrické energie. V zimní období není počítáno s takovými zisky elektrické energie a tím pádem by došlo ke zvýšení instalovaného výkonu a pořizovacích nákladů. Alternativou, která je v tomto případě výhodnější je rozšíření systému doplňkovým zdrojem elektřiny, který má za úkol pokrýt potřebu elektrické energie v obdobích s

nedostatečným slunečním svitem a při provozu zařízení s vysokým příkonem. Zdrojem může být například větrná elektrárna, elektrocentrála. [29]



Obr. 2.5: Systém s akumulací elektrické energie (12 V i 230 V) [16]

2.2.2 Energetický zákon a vyhláška č. 16/2016 Sb.

Energetický zákon

Energetický zákon č. 458/2000 Sb. ze dne 28. listopadu 2000 vymezuje pojmy pro výrobce elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Podnikat v energetických odvětvích na území ČR mohou za podmínek stanovených energetickým zákonem pouze subjekty na základě licence, která byla udělena Energetickým regulačním úřadem. Licence pro výrobu elektrické energie je platná nejvýše na 25 let, pokud je doba využívání energetického zařízení kratší, licence se uděluje nejvýše na tuto dobu. Podmínkou udělení licence je dosažení věku 18 let, úplná způsobilost k právním úkonům a bezúhonnost. Je nutné prokázat, že žadatel má dostatečné finanční a technické předpoklady k výkonu licencované činnosti. Při žádosti o licenci je nutné také doložit vlastnické právo k energetickému zařízení, které musí mít technickou úroveň odpovídající právním předpisům a technickým normám. Odbornou způsobilost do instalovaného výkonu 20 kW není třeba dokazovat. [5]

Dle § 3 odst. 3 zák. č. 458/2000 Sb. se licence vyžaduje na výrobu elektřiny ve výrobnách elektřiny s instalovaným výkonem nad 10 kW. V případě provozu výroby elektřiny určené pro vlastní spotřebu s instalovaným příkonem do 10 kW, která je připojena k distribuční soustavě, není licence vyžadována. Tuto výrobu lze provozovat pouze na základě smlouvy o připojení, která zahrnuje i připojení výroby elektřiny. [5]

Podmínky připojení k elektrizační soustavě

Vyhláška č. 16/2016 Sb. stanovuje podmínky připojení výroben elektřiny, dále distribučních soustav i odběrných míst zákazníku k elektrizační soustavě. Dále způsob podílů nákladů spojených s připojením. Také podíl nákladů se zajištěním požadovaného příkonu a výkonu elektřiny. Rezervovaným výkonem je hodnota připojovaného výkonu výroby elektřiny a místem připojení je místo v přenosové soustavě, v němž je zařízení připojeno. [28]

Vyhláška definuje mikrozdvoj elektrické energie pro paralelní provoz s distribuční soustavou nízkého napětí se jmenovitým střídavým fázovým proudem 16 A na fázi včetně celkového instalovaného výkonu do 10 kW včetně. V případě výroby vyrábějící elektrickou energii pomocí solárních panelů se jedná o součet jmenovitých hodnot všech instalovaných panelů. [28]

2.3 Ochrana fotovoltaické elektrárny před bleskem a přepětím

V současné situaci a při ekonomické výhodnosti samovýroby a snaze o nezávislost v získávání elektrické energie dochází k velkému počtu instalací střešních fotovoltaických systémů. Kabelové vedení fotovoltaických systémů obvykle prochází přímo budovou ve snaze ušetřit náklady na trasování. Následné bleskové výboje mohou způsobit elektrické rušení [13]

- prostorové elektromagnetické pole,
- přenášená po vedení.

Se zvyšující se délkou vedení a s rostoucí plochou smyčky je tento jev větší. Možné škody způsobené přepětím mohou zasáhnout nejen fotovoltaické panely, měniče a monitorovací elektroniku, ale i slaboproudou a silnoproudou instalaci v budově. Ve výrobních provozech je navíc ohrožena i umístěná technologie, a tím může dojít k zastavení výroby a ztrátě na ekonomickém výsledku. [13]

Pokud dojde k přepětí na fotovoltaické instalaci ostrovního systému, je pravděpodobné přerušení chodu celého napájecího systému a tím omezení důležitých technologií.

Základním předpokladem výběru ochranným prvků proti blesku a přepětí je koncepce ochranných zón. Vnější ochrana je založena na analýze rizik a popř. legislativních požadavků. Systém vytváří ochranu kombinací:

- vnější ochrany – vnější hromosvod s jímači, svody a uzemněním,
- vnitřní ochrany – ekvipotenciální vyrovnání, ochranou proti přepětí a izolační vzdáleností.

2.3.1 Legislativní požadavky

Dle znění nové vyhlášky o technických požadavcích na stavby č. 268/2009 Sb. je nutné realizovat výpočet rizika podle ČSN EN 62305-2. Tento výpočet je nutné provést pro všechny stavby. Z důvodu instalací fotovoltaických systémů na střeších budov, je nutná jejich instalace v souladu s normami ČSN EN 62305-3 a ČSN EN 62305-4. Dále je nutno dodržet další normy související s touto oblastí, a to především soubor norem ČSN EN 60904 Fotovoltaické součásti. Nesmí se opomenout také na zákon o technických požadavcích na výrobky č. 22/97 Sb. [20]

V České republice jsou nebo byly v platnosti normy:

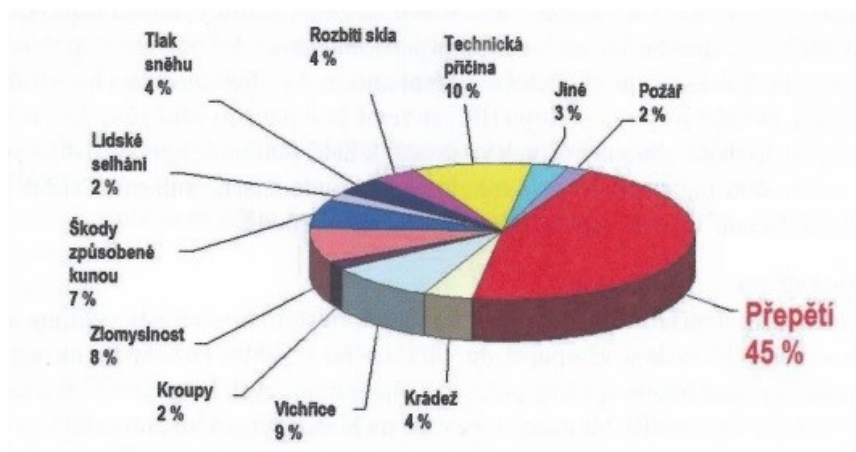
- ČSN 34 0390 Předpisy pro ochranu před bleskem (04/70), která platí do 1. 2. 2009 souběžně se souborem norem ČSN EN 62305,
- ČSN 33 2000-4-443 ed. 3 Ochrana před atmosférickým a spínacím přepětím,
- ČSN 33 0420-1 Koordinace izolace elektrických zařízení nízkého napětí. Část 1 – Zásady, požadavky a zkoušky (platnost byla ukončena k 1. 4. 2006),
- ČSN EN 60664-1 ed. 2 Koordinace izolace zařízení nízkého napětí – Část 1: Zásady, požadavky a zkoušky,
- ČSN EN 62305-1 ed. 2 Ochrana před bleskem – Část 1: Obecné principy,
- ČSN EN 62305-2 ed. 2 Ochrana před bleskem – Část 2: Řízení rizika,
- ČSN EN 62305-3 ed. 2 Ochrana před bleskem – Část 3: Hmotné škody na stavbách a nebezpečí života,
- ČSN EN 62305-4 ed. 2 Ochrana před bleskem – Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách.

Již při projektování fotovoltaické elektrárny je známo, zda bude umístěna na budově, která vyžaduje instalaci hromosvodu. Pro veřejné budovy stavební předpisy vyžadují instalaci hromosvodu. U ostatních staveb záleží na mnoha faktorech, jako je poloha a využití budovy.

Podle stávajících poznatků vědeckotechnických znalostí instalací fotovoltaických panelů nelze konstatovat, že zvyšují riziko úderu blesku do budovy, takže potřebu hromosvodu nelze vyvozovat. Proto je dle ČSN EN 62305-2 ed. 2 nutné vypočítat riziko škod, a toto riziko zohlednit při projektování fotovoltaického systému. [20]

2.3.2 Škody na fotovoltaických zdrojích

Na fotovoltaických systémech vznikají škody na panelech, měničích i vnitřních elektrických a elektronických systémech. Způsobeny jsou induktivními nebo kapacitními účinky výboje blesku. Velké procento škod je způsobeno chybějící ochranou před atmosférickým přepětím, anebo chybnou montáží hromosvodu, dále také chybně provedenou instalací přepětových ochran. [20]



Obr. 2.6: Škody způsobené bleskem na fotovoltaických zdrojích – příčina škod [20]

2.3.3 Postup návrhu ochrany fotovoltaických systémů na objektech

Řízené riziko

Na základě výše uvedených poznatků je potřeba výpočtem rizika vypočítat třídu ochrany před bleskem LPS. Výsledkem výpočtu je určení minimální úrovně ochrany před bleskem, která je dána hladinou ochrany LPL a třídou ochrany LPS. Postupujeme od nejnižší třídy LPS IV, až k třídě nejvyšší ochrany LPS I. Hodnota rizika instalované aplikace musí být nižší nebo rovna hodnotě přípustného rizika R_T . [13]

2.3.4 Vnější systém ochrany před bleskem – hromosvod

Hlavním účelem vnější ochrany před bleskem je ochrana dotčeného objektu. Hlavně před tepelnými a mechanickými účinky blesku. Funkcí systému je zachycení přímého úderu blesku. Bezpečné svedení proudu do uzemňovací soustavy. K tomu slouží systém svodů a rozvedení bleskového proudu v zemi. Hlavními prvky vnější ochrany před bleskem jsou:

- jímací soustava,
- soustava svodů,
- uzemnění. [8]

Jímací soustava

Fotovoltaické elektrárny je nutno umístit do ochranného prostoru jímací soustavy, tak aby nedošlo k přímému úderu blesku. Jímací soustava má zabránit přímému úderu blesku a zároveň nesmí zastínit kolektory. Doporučuje se, aby pro fotovoltaické systémy o výkonu vyšším 10 kW se stanovila minimální třída ochrany před bleskem LPS III. Jímací soustava může být realizována kombinací těchto základních částí:

- jímací tyče,
- závěsná lana,
- mřížové vodiče. [8]

Dle normy by měla být jímací soustava umístěna podle jedné nebo více přípustných metod pro umístění jímací soustavy:

- metoda valící se koule,
- metoda ochranného úhlu,
- metoda mřížové soustavy. [8]

Soustava svodů

Svod je elektricky vodivé spojení jímací a uzemňovací soustavou. Cílem soustavy je, aby při úderu blesku do budovy nevznikly škody nedovoleným vysokým oteplením svodů. Počet svodů je dán třídou LPS a jejich umístění by mělo být provedeno tak, aby bylo provedeno spojení místa úderu se zemí. Základní požadavky na umístění svodů jsou následující:

- více paralelních cest,
- délka bleskového proudu co nejkratší,
- provést vyrovnání potenciálu mezi vodivými součástmi objektu.

Minimální počet svodů na každé uvažované budově jsou minimálně dva. Měly by být rozmístěny po obvodu budovy pravidelně. Svody se musí rozmístit tak, aby bylo vytvořeno přímé pokračování jímací soustavy. Musí být instalovány přímo a svisle, aby bylo vytvořeno co nejkratší spojení se zemí. [8], [9]

Uzemňovací soustava

Důležitou součástí ochrany před bleskem je uzemnění. Provedení kvalitní uzemňovací soustavy zajistí bezproblémový přechod bleskového proudu do země, aniž by došlo k nebezpečným přepětím. Zemní odpor je doporučen o hodnotě nižší než 10 Ω . Uzemňovací soustava musí být propojena s vyrovnáním potenciálů. Základní rozdělení uzemňovacích soustav dělíme na dva typy uspořádání, a to na uspořádání typu A, typu B. [9]

Uspořádání typu A – skládá se buď ze strojeného vodorovného, nebo svislého zemniče. Popřípadě kombinací obou možností. Pro toto uspořádání je zapotřebí minimálně dva zemniče. Využívá se většinou u stávajících staveb, kde není možné realizovat základový zemnič.

Uspořádání typu B – toto uspořádání může být provedeno jako základový zemnič, nebo jako zemnič obvodový vně objektu, pokud je uložen minimálně 80 % své celkové délky v zemině. Zemnič by měl být uložen v hloubce minimálně 0,5 m a ve vzdálenosti 1,0 m od vnějších zdí objektu.

2.3.5 Vnitřní systém ochrany před bleskem

Hlavním cílem vnitřní ochrany je provedení vyrovnání potenciálů. To znamená propojení všech kovových částí k přípojnicí pospojování. Tím omezíme vznik napěťových rozdílů nad příslušnou mez a omezíme následný ničivý výboj. Vnitřní ochranu tvoří LEMP. Jedná se souhrn opatření pro snížení účinků elektromagnetických impulsů způsobených bleskovým proudem. Opatření obsahují vyrovnání potenciálů, odstínění budovy, odstranění souběhu a ochranu proti přepětí. Vnitřní zařízení musí zabránit nebezpečnému jiskření v objektu, které jsou způsobeny průchodem bleskového proudu vnějším systémem ochrany a v jiných vodivých částech objektu. [10], [11]

Vyrovnání potenciálu proti blesku (pospojování)

Pro všechna metalická vedení vstupující do objektu, musí být provedeno vyrovnání potenciálů bleskových proudů. Pospojování proti blesku se realizuje zapojením:

- kovové konstrukce objektu,
- kovové instalace,
- vnější vodivé součástí a vedení, které jsou spojeny s objektem,
- elektronické a elektrické systémy uvnitř chráněného objektu.

V případě neoddáleného hromosvodu musí být vyrovnání potenciálů bleskového proudu provedeno v úrovni terénu nebo ve sklepě. Sběrnice vyrovnání potenciálů musí být spojena s uzemňovací soustavou. Spojení vyrovnání potenciálů bleskového proudu musí být provedeny, pokud možno co nejkratším a nejpřímějším způsobem. [11]

Elektrická izolace od hromosvodu (dostatečná vzdálenost)

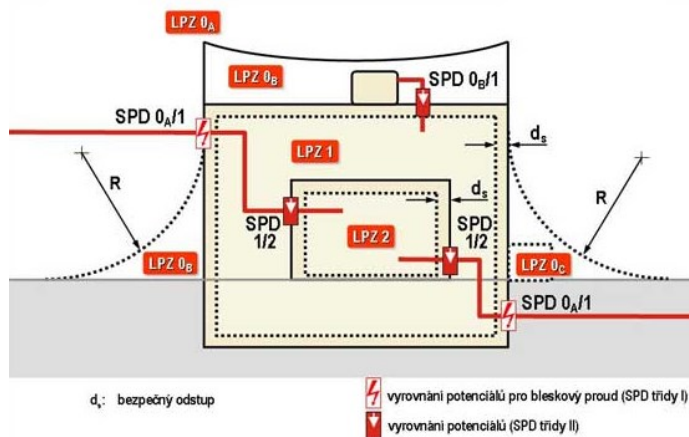
Elektrickou izolaci mezi jímací soustavou a svody na straně jedné a chráněnými kovovými instalacemi rovněž i elektrickými zařízeními, signálními a telekomunikačními zařízeními uvnitř objektu, na straně druhé může být dosaženo dostatečné vzdálenosti „d“ mezi těmito díly, která je větší než dostatečná vzdálenost „s“. Pro vedení nebo vnější vodivé části vedoucích do objektu, je vždy u vstupu do objektu nutno zajistit vyrovnání potenciálů bleskového proudu. Dostatečnou vzdálenost není nutno dodržet u objektů s kovovým nebo elektricky vzájemně propojeným ocelovým armováním. [11]

Elektrické a elektronické systémy ve stavbách

Ochrana před přepětím způsobeným LEMP vychází z principu zón, které jsou definovány z hlediska přímého a nepřímého účinku blesku. Chráněný objekt je rozdělen do zón, které jsou definovány různou intenzitou LEMP. Zóny dělíme následujícím způsobem:

- LPZ 0_A – vnější nechráněný prostor mimo objekt. Zóna, ve které je ohrožení způsobeno přímým úderem blesku a plným elektromagnetickým polem. Vnitřní zóny jsou namáhány plným impulzním bleskovým proudem,
- LPZ 0_B – vnější prostor chráněný jímacím zařízením hromosvodu a prostor u vnějších zdí objektu terasy a nižší střechy. Zóna chráněná před přímým úderem blesku, ale kde ohrožení je způsobeno plným elektromagnetickým polem. Vnitřní systémy mohou být namáhány dílčími impulsními bleskovými proudy,
- LPZ 1 – vnitřní prostor za vnějšími zdmi a pod střechou objektu. V zóně není možný přímý úder blesku, elektromagnetické pole bleskových výbojů je tlumené. Útlum je závislý na tloušťce a materiálu zdi, na materiálu a velikosti ok Faradayovy klece tvořené hromosvodem, uzemněním, vodiči potenciaálního vyrovnání,

- LPZ 2 – vnitřní prostor místností a chodeb u vnitřních stěn objektu. V zóně není možný přímý úder blesku, elektromagnetické pole je tlumené. Útlum je závislý na materiálu a stínění vnitřních stěn,
- LPZ 3 – prostor uvnitř kovových skříní elektrických zařízení, prostor uvnitř odstíněných místností. [11]



Obr. 2.7: *Koncepce zón bleskové ochrany dle ČSN EN 62305-4 [28]*

Ochrana proti přepětí

Ochrana před přepětím zahrnuje ochranu před přepětím jiného než atmosférického původu. Koncepce je založena na ochraně před spínacím přepětím (SEMP). Ta vychází z návrhu vnitřní ochrany před bleskem. Musí se kontrolovat, jestli vyhovuje jejím požadavkům.

Standardně se ochrana před přepětím provádí omezením přepětím ve třech stupních, kdy každý stupeň snižuje mez na předepsanou hodnotu. Jednotlivé stupně se instalují na rozhraní zón bleskové ochrany LPZ. [11]

Typ 1 - hrubá ochrana (T1, 1. stupeň, třída B)

Ochrana je zajištěna svodiči bleskových proudů. Ty zachytí největší díl přepětíové vlny. Jsou schopny bez poškození svádět bleskové proudy nebo jejich podstatné části. Svodiče jsou většinou konstruovány na bázi jiskřiště. Je možno je rozdělit na tzv. „uzavřená“ nebo „otevřená“.

Typ 2 – střední ochrana (T2, 2. stupeň, třída C)

Tuto ochranu zajišťují svodiče přepětí. Jsou konstruovány na bázi varistorů. Svádějí bez poškození atmosférická přepětí. Také přepětí od spínacích pochodů v síti. Mohou být instalovány bez 1. stupně za dodržení odpovídajících podmínek i do hlavního rozváděče. Moderní technologické postupy, umožňují vyrábět ochranné zařízení (SPD) s použitím varistorů. To lze až do svodových schopností $I_{imp} = 20 \text{ kA}$.

Typ 3 – jemná ochrana (T3, 3. stupeň, třída D)

Z důvodu zajištění spolehlivé ochrany, je třeba, aby typy 1 a 2 doplnil konečný stupeň - Typ 3. Varistory a supresorové diody jsou základním prvkem jemné ochrany. Ochrana se instaluje před chráněný spotřebič, tak aby nebylo dlouhé elektrické vedení od ochrany ke spotřebiči.

3 Rozbor dotačních příležitostí pro fotovoltaické systémy

V následující části diplomové práce jsem detailně rozebral problematiku dotačních příležitostí pro fotovoltaické systémy. V České republice je výroba z obnovitelných zdrojů podporována v podobě přímých subvencí. Rozdělujeme tři základní okruhy podpory, a to buďto formou garantované výkupní ceny elektřiny tzv. Zelený bonus, dále formou investiční podpory pomocí programu Nová zelená úsporám a v posledním případě pomocí Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost. Hlavním cílem tohoto rozboru je zorientování se v programu Nová zelená úsporám, který poskytuje podporu pro instalace fotovoltaických systémů v rodinných domech.

Fotovoltaické systémy jsou primárně uvažovány pro úsporu elektřiny, protože primární výstupní forma energie je elektrická energie a lze ji spotřebovat v primární formě bez její transformace. Pokud je aktuální spotřeba elektrické energie nižší než její výroba, uložíme přednostně elektrickou energii do akumulátorů k jejímu pozdějšímu využití. Další oblastí pro úsporu energie je úspora za vytápění objektu. V případě, že je výroba větší než spotřeba, je možné nadbytek energie transformovat do tepelné formy energie. Nejčastěji se využívá ohřev vody v akumulaci nádrži pro teplou užitkovou vodu nebo zásobníku vytápění objektu. V současné době se také s výhodou využívají přebytky vyrobené energie k nabíjení elektromobilů.

3.1 Zelený bonus a přímý výkup

Obě dotace se řídí zákonem č. 165/2012 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů. Od roku 2014 není tato podpora pro fotovoltaické elektrárny vypisována, z důvodu dosažení úrovně v oblasti výroby elektřiny stanovené Národním akčním plánem pro energii z obnovitelných zdrojů. [1]

3.2 Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost

Tento program je určen pro podporu českých podnikatelů v období 2014 až 2020. Řídícím orgánem je Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. Podporuje aktivity vedoucí ke snižování energetické náročnosti podnikatelského sektoru a dále činnostem směřujícím ke zvyšování podílu energie z obnovitelných zdrojů, rozvoj distribučních sítí a uplatnění nových technologií v energetice. Jako prioritní je stanoveno účinné nakládání s energií, rozvoj energetické infrastruktury a obnovitelných zdrojů energie. Dále podpora zavádění technologií v oblasti nakládání energií, nových technologií a druhotných surovin. [1]

Další programy podpory v rámci prioritní osy č. 3 lze zařadit program *Obnovitelné zdroje energie*, který se zaměřuje na využívání obnovitelných zdrojů energií. Je určen pro podniky všech velikostí. Mezi podporované oblasti se řadí výstavba a rekonstrukce malých vodních elektráren, bioplynové stanice, instalace kogenerační jednotky a podpora využití biomasy. Program *Nízkouhlikové technologie* podporuje zavádění inovativních technologií v oblasti elektromobility, zavádění technologií akumulace energie v rámci inteligentních sítí a v budovách, inteligentní prvky řízení budov, integraci obnovitelných zdrojů do budov. Tento program se také vztahuje i na pořízení dobíjecích stanic, nabízí možnost úhrady části kupní ceny elektromobilu. Posledním programem podpory prioritní osy č. 3 je podpora *smart grids*, který podporuje distribuční sítě nové generace. [1]

3.3 Nová zelená úsporám

Program Nová zelená úsporám (NZÚ) podporuje snižování energetické náročnosti obytných budov, výstavbu domů s velmi nízkou energetickou náročností, šetrné způsoby vytápění a instalaci obnovitelných zdrojů energie. Hlavním cílem programu je zlepšit životní prostředí a přispět k úspoře energie v konečné spotřebě. Program byl spuštěn 22. října 2015 a skončí vyčerpáním stanovených prostředků nebo nejpozději 31. 12. 2021. [25]

3.3.1 Oblasti podpory a podmínky poskytování podpory

Oblast podpory A – Snižování energetické náročnosti stávající bytových domů

V této oblasti jsou podporovány opatření vedoucí ke snížení energetické náročnosti stávajících rodinných domů. Jedná se o zateplení obvodových stěn, výměnu oken a podlah. Maximální míra podpory je 50 % ze způsobilých výdajů, maximálně však 550 tis. Kč. Dle dosažených úsporných opatření se oblast podpory dělí na čtyři hlavní skupiny A.0, A.1, A.2 a A.3. Tato oblast podporuje také výstavbu zelených střech, instalaci stínící techniky a podporuje zpracování odborného posudku a zajištění odborného technického dozoru. [25]

Oblast podpory B – Výstavba rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností

Oblast této podpory se týká výstavby rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností, kterou jsem podrobně popisoval v úvodní části diplomové práce. V rámci této podpory již nelze čerpat podporu z oblastí A a C, tím pádem v rámci této podpory čerpat dotaci na stavbu jak rodinného domu, tak na realizaci fotovoltaické elektrárny. Podpora je rozdělena do tří hlavních skupin B.0, B.1 a B.2. Dále je oblastí podpory zvýhodnění při použití výrobků se zpracovaným environmentálním prohlášením typu III, podpora výstavby zelených střech a podpora zpracování odborného posudku a zajištění odborného technického dozoru. [25]

Oblast podpory C – Efektivní využití zdrojů energie

Důležitou oblastí, kterou se budu v diplomové i podrobně zabývat je efektivní využití energie v rodinných domech, a to s důrazem na fotovoltaické systémy. Tuto podporu, jak již bylo uvedeno v předchozí části nelze použít, pokud byla čerpána dotace v oblasti podpory B. Maximální výše podpory pro podoblasti C.1 až C.4 a C.7 je stanovena na 350 000 Kč. [25]

Dále provedu jen stručné shrnutí nabízených podoblastí podpory, jelikož se budu podrobně zabývat podoblastí podpory C.3 – Instalace solárních termických a fotovoltaických systémů. Cílem diplomové práce je návrh fotovoltaického systému, aby splnil právě výše uvedenou podoblast podpory.

Podoblast podpory C.1 a C.2 – Výměna zdrojů tepla

Cílem podoblasti je podpora výměny:

- kotlů na pevná paliva, které nedosahují parametrů pro třídu 3. dle ČSN EN 303-5:2013,
- lokálních topidel sloužících společně jako hlavní zdroj tepla pro vytápění,
- elektrického vytápění za systém s tepelným čerpadlem s elektrickým pohonem.

O podporu je možno žádat výhradně a opatřením z oblasti podpory A. Podpora se poskytuje na výměnu starého zdroje tepla za nový včetně příslušenství a zapojení do otopné soustavy. Neposkytuje se na pořízení kotlů na tuhá paliva a pro osoby, které mají možnost získat tzv. „kotlíkové dotace“. [25]

Podoblast podpory C.3 – Instalace solárních termických a fotovoltaických systémů

V této kapitole se budu zabývat jen oblastí podpory C.3.1 a C.3.2 – solární termické systémy, C.3.3 – fotovoltaické systémy pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem. Oblast C.3.4 až C.3.8 – fotovoltaické systémy propojené s distribuční soustavou proberu v samostatné části, jelikož se jedná o stěžejní téma s ohledem na zadání diplomové práce.

Podmínky pro podporu v podoblasti C.3.1 a C.3.2 – solární termické systémy jsou následující:

- podporovány jsou systémy na přípravu teplé vody a systémy na přípravu teplé vody s přitápěním,
- podporovány jsou pouze solární termické systémy s kolektory, které splňují minimální hodnotu účinnosti dle vyhlášky č. 411/2012 Sb. [25]

Podoblast podpory C.4 – Instalace systémů řízeného větrání se zpětným získáváním tepla

Jedná se o podporu pro instalaci rekuperačních jednotek, ať již centralizovaných, tak decentralních. O podporu lze žádat současně s podporou z oblasti A nebo i samostatně. Pokud žádáme samostatně je nutná úspora tepla na vytápění minimálně 20 %. Minimální účinnost zpětného zisku je 75 % pro centrální systémy a 70 % pro decentralní systémy. Splnění požadavků na maximální průvzdušnost obálky budovy n_{50} musí být doloženo protokolem o měření průvzdušnosti obálky budovy. Systém musí být navržen dle platných norem a zajišťovat větrání ve všech obytných místnostech. Maximální výše podpory je pro centrální systém 100 000 Kč, pro decentralní systém 75 000 Kč. [25]

Podoblast podpory C.5 – Podpora na zpracování odborného posudku a zajištění měření průvzdušnosti obálky budovy

O dotaci lze žádat pouze s žádostí o dotaci v podoblasti podpory C.1, C.2, C.3, C.4 a C.7. Maximální výše podpory je 5 000 Kč. [25]

Podoblast podpory C.6 – Zvýhodnění při použití výrobků se zpracovaným environmentálním prohlášením typu III

Tuto dotaci lze čerpat pouze s žádostí o dotaci v podoblasti podpory C.1, C.2, C.3, C.4 a C.7. Pokud jsou použity výrobky ve výše uvedených podoblastech, které mají environmentální prohlášení lze na tuto instalaci uplatit dotaci o výši 2 000 Kč. [25]

Podoblast podpory C.7 – Podpora na využití tepla z odpadní vody

Podpora je přiznána pouze současně s podporou z oblasti A, B a C. Jedná se o podporu systémů využívajících teplo z odpadních vod pro predehřev teplé vody. Dotace je poskytována ve výši 5 000 Kč na jeden systém, maximálně však 15 000 Kč na jeden dům. Zpětná účinnost zisku tepla je minimálně 30 %. [25]

3.3.2 Podoblast C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7 a C.3.8 – fotovoltaické systémy spojené s distribuční soustavou

Ke krytí spotřeby rodinného domu např. pro úpravu vnitřního prostředí domu (vytápění, nucené větrání, chlazení), přípravu teplé vody, osvětlení, dále k provozu běžných domácích elektrických spotřebičů musí být využito nejméně 70 % z celkového teoretického zisku solárního systému. Energie může být přímo spotřebována nebo uložena do akumulátorů pro pozdější spotřebu. Systém musí být propojen s vnitřními rozvody elektrické energie a dodávat střídavé napětí pro provoz běžných domácích

spotřebičů. Systém musí být také propojen s distribuční soustavou. Za takové systémy jsou považovány i tzv. „hybridní FV systémy“, využívající napojení na distribuční síť jako doplňující napájení, schopné pracovat v režimu grid-on i grid-off. Požadavek je splněn, pokud je instalován i systém využívající napojení na distribuční síť výhradně k dobíjení elektrických akumulátorů. Míra využití pro krytí spotřeby v místě výroby se prokazuje výpočtem. Cílem je navrhnout systém, u kterého je časový profil výroby a spotřeby vzájemně přizpůsoben. Podmínky poskytnutí výše uvedené dotace jsou následující:

- maximální výkon fotovoltaického systému není vyšší jak 10 kWp,
- týká se pouze nových systémů propojených s distribuční soustavou,
- systém musí být umístěn na stavbě, popř. stavbě náležící k rodinnému domu,
- měnič musí mít minimální účinnost 94 %. Technologii pro sledování bodu maximálního výkonu s minimální účinností přizpůsobení 98 %, v případě tzv. „hybridního měniče“ se připouští účinnost minimálně 92 %,
- minimální účinnost je pro panely a moduly složené z mono a polykrystalických článků 15 % a pro tenkovrstvé amorfni články 10 %, bez požadavku pro fotovoltaické střešní krytiny a fasádní systémy a jiné než plošné kolektory,
- účinnosti fotovoltaických modulů, střídačů a technologie sledování bodu maximálního výkonu (MPPT) deklarované výrobcem je možno srovnat s požadavky programu,
- pro účely se kapacita baterií neuvažuje ponížena o vliv vybíjecích cyklů, musí být zohledněna maximální hloubka vybíjení a zajištěna dlouhodobá životnost,
- není dovoleno použití olověných startovacích akumulátorů a Ni-Cd akumulátorů,
- míra využití energie pro krytí spotřeby v místě spotřeby musí být alespoň 70 % z celkového teoretického zisku. Celkový zisk zohledňuje všechny atributy systému a určuje se přesným výpočtem nebo zjednodušeně ze špičkového instalovaného výkonu systému,
- špičkový výkon se udává zaokrouhlený na setiny kWp směrem dolů,
- systém musí zajistit v závislosti na aktuální spotřebě elektrické energie automatické řízení, primárně se kryje okamžitá spotřeba a akumulace přebytků. [25]

V podoblasti podpory C.3.4 musí systém umožnit akumulaci přebytků ve formě tepelné energie. Minimální měrný objem instalovaného zásobníku teplé vody nebo akumulací nádrže musí být 80 litrů na instalovaný 1 kWp výkonu fotovoltaického systému. Do objemu se nepočítá ohřev ze solárního termického systému.

Systémy v podoblasti podpory C.3.5, C.3.6 a C.3.7 musí umožňovat akumulaci přebytků ve formě elektřiny. Měrná kapacita akumulátoru je minimálně 1,75 kWh na 1 kWp výkonu fotovoltaického systému. Pokud jsou použity moderní akumulátory umožňující velký počet hlubokých vybíjecích cyklů lze uvažovat minimální měrnou kapacitu akumulátorů 1,25 kWh/kWp. Týká se především akumulátorů na bázi lithia, nelze použít na olověné akumulátory.

Systém v podoblasti C.3.8 zajišťuje maximální efektivní využití přebytků energie ve formě tepla na vytápění a ohřev teplé vody pomocí tepelného čerpadla. V době bez přebytků musí systém zajišťovat pomocí chodu tepelného čerpadla vytápění a ohřev teplé vody. [25]

Tab. 3.1: Požadované parametry v podoblastech C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7 a C.3.8

Sledovaný parametr	Označení [jednotky]	C.3.4	C.3.5	C.3.6	C.3.7	C.3.8
Celkový využitelný zisk	Q_{FVu} [kWh/rok]	$\geq 1\,700$	$\geq 1\,700$	$\geq 3\,000$	$\geq 4\,000$	$\geq 3\,000$ (1f) $\geq 4\,000$ (3f)
Minimální míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby	[%]	70	70	70	70	70
Akumulace přebytků energie do teplé vody	-	Povinná	Možná	Možná	Možná	Povinná
Minimální měrný objem zásobníku teplo vody nebo akumulční nádrže	[l/kWp]	80	-	-	-	180
Akumulace přebytků energie do elektrických akumulátorů	-	Možná	Povinná	Povinná	Povinná	Možná
Minimální měrná kapacita akumulátorů	[kWh/kWp]	-	1,75/1,25	1,75/1,25	1,75/1,25	-

Tab. 3.2: Výše podpory pro oblast podpory C.3

Podoblast podpory	Typ systému	Výše podpory [Kč/dům]
C.3.1	Solární termický systém pro přípravu teplé vody	35 000
C.3.2	Solární termický systém na přípravu teplé vody a přitápění	50 000
C.3.3	FV systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem	35 000
C.3.4	FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700$ kWh/rok	55 000
C.3.5	FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700$ kWh/rok	70 000
C.3.6	FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 3\,000$ kWh/rok	100 000
C.3.7	FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 4\,000$ kWh/rok	150 000
C.3.8	FV systém efektivně spolupracující se systémem vytápění a přípravy teplé vody s tepelným čerpadlem	150 000

3.3.3 Minimální rozsah projektové dokumentace

Je stanoven minimální rozsah projektové dokumentace. Dokumentace musí obsahovat technickou zprávu a výkresovou část.

Technická zpráva obsahuje popis stávajícího stavu a navrhovaných opatření a jejich odůvodnění. V případě návrhu fotovoltaické elektrárny musí být uveden popis zajištění splnění

požadavků požární bezpečnosti dle vyhlášky č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb.

Výkresová část projektové dokumentace obsahuje minimálně:

- půdorys střechy, na které bude systém umístěn. Znázorňující umístění fotovoltaických panelů s uvedením jejich sklonu a orientace vůči světovým stranám, zakreslením stínících překážek. Dále budou schématicky znázorněny rozvody, výkres bude okótován a bude obsahovat popisovou legendu jednotlivých prvků,
- zjednodušené schéma fotovoltaického systému s uvedením základních komponent a jejich vzájemného propojení a propojení s hlavními rozvaděči, ochrannými a regulačními prvky a napojením na distribuční síť,
- identifikace, zda se jedná o jednofázový nebo třífázový rozvod. [25]

3.3.4 Výpočtový program

Požadavky na simulační program pro hodnocení fotovoltaického systému jsou následující:

- výpočet bude proveden dle dlouhodobých statistických klimatických dat zvolené lokality, data musí být podrobnější než nastavený časový krok programu,
- výpočet využití zisků ze solárního systému ke krytí spotřeby musí zohledňovat nesoudobost spotřeby a proměnlivost výroby elektrické energie během dne v závislosti na slunečním ozáření a podmínkách stínění a dalších významných vlivech. Musí tedy pracovat s hodinovým časovým krokem nebo kratším,
- musí být možné zadat typický průběh denní spotřeby elektrické energie v hodinovém kroku, případně kratším,
- pokud je instalován řídí systém umožňující inteligentní řízení dalších spotřebičů, lze k tomuto přihlídnout při stanovování denního průběhu spotřeby a dosáhnout vyššího podílu vlastní spotřeby,
- výpočet musí zohledňovat úroveň nabití baterie a její přípustnou mez vybití, akumulace tepla do teplé vody bude vycházet ze skutečného počtu členů domácnosti a dle ČSN EN 15316-3-1.

Pokud je pro podoblast vydán zjednodušený výpočtový nástroj na webových stránkách programu, lze provést vyhodnocení v něm, není nutné používat simulační software. [25]

3.3.5 Způsob stanovení typického průběhu denní spotřeby energie

Pro stávající objekty se pro stanovení průběhu denní spotřeby používá údajů z ročního vyúčtování spotřeby elektrické energie, jedná se o celkovou roční spotřebu. Dle této spotřeby a instalovaných spotřebičů se stanovuje předpokládaný denní průběh spotřeby v hodinovém, případně kratším rozlišení. To slouží jako vstupní hodnoty pro výpočet. Hlavním cílem je co nejpřesněji se přiblížit ke skutečnosti. Pokud to program umožňuje je doporučeno stanovit více charakteristických průběhů pro různá roční období a dny v týdnu. Průběh spotřeby je nutné uvést v posudku v podobě tabulky nebo grafu.

U novostaveb či staveb, kde nejsou data dostupná, se stanoví hodnoty odborným odhadem s ohledem na vybavení objektu elektrickými spotřebiči. Stanovení křivky denního průběhu je vhodné provést samostatně pro spotřebiče s nejvyšším podílem na celkové spotřebě elektrické energie. Je třeba

stanovit předpokládané okamžiky zapínání, průměrný příkon a dobu chodu. Pokud by byl krok kratší, než je krok simulačního programu, lze více intervalů sloučit do jednoho delšího.

Ostatní drobné elektrospotřebiče instalované v objektu se zpravidla zjednodušeně započítávají do odběru jako konstantní celodenní odběr odpovídající průměrnému celkovému příkonu těchto spotřebičů.

S ohledem na požadované vybavení fotovoltaického systému automatickým řízením na základě aktuální spotřeby elektrické energie musí být v hodnocení uvedeno, které spotřebiče budou na tento systém napojeny a doporučení dalších spotřebičů s možností odloženého startu vhodných k napojení. [25]

3.3.6 Administrace podpory

Žádost o podporu lze podat před realizací, v průběhu nebo po realizaci na podacím místě, kterými jsou krajská pracoviště. Postup je v zásadě rozdělen do tří kroků:

- registrace do systému přes webové rozhraní,
- vyplnění elektronického formuláře,
- doručení žádosti včetně příloh v listinné podobě.

Hledí se na úplnost a formální správnost žádosti, poté se provádí specifická kontrola, kdy jsou kontrolovány zejména parametry odborného posudku. Je-li vše v pořádku, dojde k akceptaci žádosti zpravidla do 6 týdnů. Výše podpory je stanovena na základě dokumentů prokazujících řádné dokončení realizace a vydání Registrace a rozhodnutí, může být odlišná od maximální výše podpory. Podpora je vyplacena zpravidla do 3 týdnů od vydání Registrace a rozhodnutí. K žádosti je nutné doložit všechny dokumenty, které se rozdělují na:

- dokumenty požadované při podání žádosti,
- dokumenty požadované k vydání Registrace a rozhodnutí.

Hlavním dokumentem je odborný posudek, ze kterého je patrný rozsah a způsob provedení navrhovaných opatření. Také to, že opatření splňují stanovené podmínky. Je zároveň také podkladem pro výpočet podpory. Skládá se z projektové dokumentace a energetického hodnocení budovy. Oprávnění zpracovatelé projektové dokumentace jsou pro fotovoltaické systémy autorizované osoby dle zákona č. 360/1992 Sb., o výkonu povolání autorizovaných architektů a o výkonu povolání autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. Energetické hodnocení budovy smí zpracovat energetický specialista, nicméně u podoblasti podpory C.3, může hodnocení provést autorizovaná osoba dle zákona č. 360/1992 Sb. [25]

4 Návrh a dimenzování fotovoltaického systému, výpočty energetických zisků, samotný návrh fotovoltaického systému

V rámci diplomové práce jsem dle zadání provedl návrh a dimenzování fotovoltaického systému na daný rodinný dům, který bude uvažován jako referenční pro všechny varianty návrhu řešení. Tím je docíleno možnosti srovnání pro jednotlivé varianty návrhu, tak aby bylo možné vybrat nejvýhodnější z hlediska energetické a ekonomické návratnosti. Vycházet budu vždy z instalovaného výkonu mikrozdroje, který nesmí přesáhnout 10 kWp. Varianty reflektují vypsane oblasti podpory dotace *Nová zelená úsporám*. Bude uvažována varianta A. až D.

- Varianta A – stávající systém – současný způsob dodávky elektřiny bez použití FVE,
- varianta B – systém bez akumulace energie – FVE systém pokrývající spotřebu energie bez přetoků do distribuční sítě,
- varianta C – systém s částečnou akumulací do vody – FVE systém bude využit k pokrytí spotřeby energie s využitím přebytků pro ohřev teplé vody,
- varianta D – systém s akumulací energie do baterií – FVE systém bude využívat bateriový systém pro ukládání přebytků energie.

4.1 Plánování fotovoltaického systému

4.1.1 Velikost systému, specifikace modulů

Velikost fotovoltaického systému je při využití vlastní spotřeby energie nutno specifikovat na základě spotřeby ve dne a v zimním období. Čím vyšší je spotřeba energie v místě výroby, tím vyšší je také návratnost celé investice.

Základní obecný vzorec pro velikost systému: 1 kWp = cca. 8 m² FV plochy

Dále je nutné zohlednit následující body:

- velikost střešní plochy vhodné pro instalaci systému,
- dodržet dilatační spoj mezi moduly 6 až 10 mm,
- funkce střechy musí být po instalaci systému zachována,
- dodržet požární zóny a dodržovat požární odstupy,
- dodržet při délce vyšší jak 40 m minimálně 1 m meziprostor pro revizi a manipulaci. [14]

4.1.2 Koncept s vlastní spotřebou solární energie

V závislosti na vývoji ceny a dostupnosti fotovoltaických systémů je čím dál více výhodná spotřeba proudu vyrobeného ve svém vlastním systému. Z důvodu, že již není vlastně poskytován zelený bonus pro výkup vyrobené energie, nemá smysl tuto energii poskytovat do distribuční sítě.

Pořízením vlastní výroby elektrické energie se stává investor nezávislejším na budoucím vývoji cen energie. Většina studií v nastudované literatuře uvádí konzervativní odhad zvyšování ceny elektrické energie o 3 % ročně.

Vztáhneme-li vlastní spotřebu solární energie celkový roční solární výnos, vyjde nám podíl vlastní spotřeby:

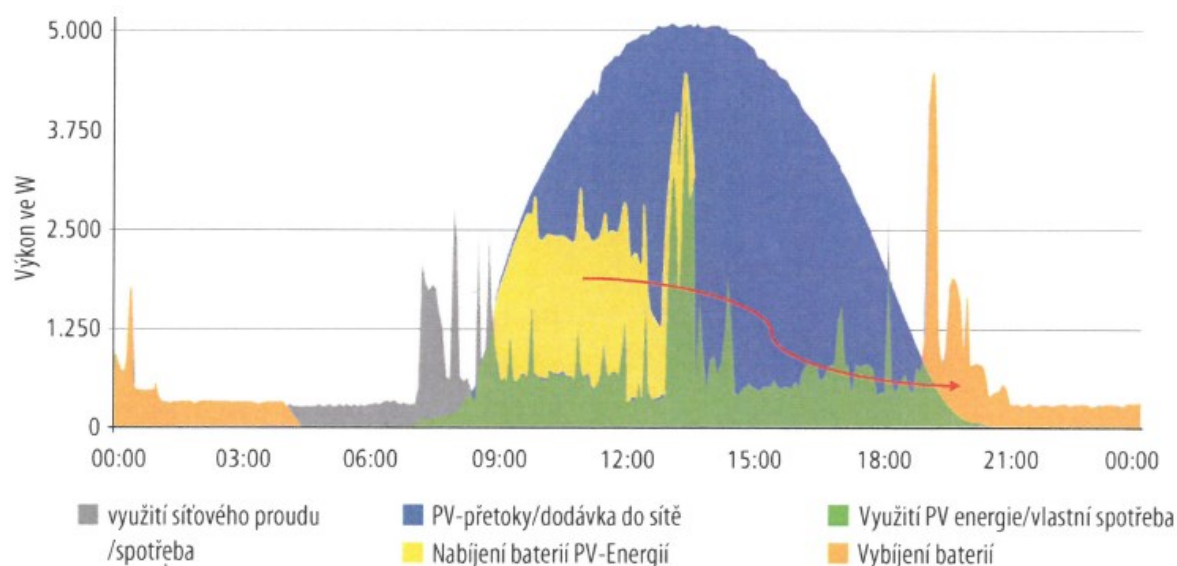
$$\text{Podíl vlastní spotřeby} = \frac{\text{Vlastní spotřeba solární energie [kWh/rok]}}{\text{Výroba solární energie [kWh/rok]}} \quad [\%] \quad (4.1)$$

Vztažením vlastní spotřeby solární energie na celkovou spotřebu, vyjde nám solární pokrytí (v literatuře také uváděna jako míra soběstačnosti):

$$\text{Podíl solárního pokrytí} = \frac{\text{Vlastní spotřeba solární energie [kWh/rok]}}{\text{Celková spotřeba [kWh/rok]}} \quad [\%] \quad (4.2)$$

Při plánování systému je třeba znát celkovou spotřebu a maximální spotřebu uživatele. Jelikož se měření profilu spotřeby v rodinném domě provádí pouze vzácně, lze použít definované profily, které jsou normované. Profil představuje zprůměrovaný uhlazený průběh domácnosti, tím pádem nikdy nebude korektní pro danou domácnost. Profil je ovlivněn instalovanými spotřebiči, zvyklostmi obyvatelů domácnosti a také se mění o víkendech a pracovních dnech. Přesný profil může být stanoven jen celoročním měřením v místě spotřeby. [30]

V rámci plánování velikosti systému s ohledem na vlastní spotřebu, jde hlavně o cíl vyvážit podíl spotřeby elektrické energie a její výroby. V letních měsících je vyráběn nadbytek elektrické energie hlavně v odpoledních hodinách, kdy většina uživatelů není v domácnosti přítomna a vyrobená energie je tak poskytována v podstatě zdarma do distribuční sítě. V zimě je situace často opačná a z důvodu zatažené oblohy je spotřeba domácnosti pokryta jen stěží. Podíl vlastní spotřeby lze zvýšit o 10 až 20 % použitím řízení zátěže. Podíl ještě lze dále zvýšit použitím bateriového úložiště. [31]



Obr. 4.1: Zvýšení vlastní spotřeby pomocí úložiště [14]

Dle informací lze v typické domácnosti, kde jsou 2 dospělé osoby a 2 děti s fotovoltaickým systémem o velikosti 5 kWp dosáhnout podílu vlastní spotřeby 36 % a podílu solárního pokrytí 27 %. Pokud je použito bateriové úložiště může být realizován podíl krytí přes 70 %. Výhodná je také kombinace s elektromobily, kdy je vyráběná použita pro jejich dobíjení. Dalším a hojně využívaným řešením je také využití elektrické energie pro ohřev vody a akumulačních zásobníků. U tohoto řešení lze dosáhnout využití vlastní energie o 20 až 50 %. [14], [18]

4.1.3 Dimenzování střídače

Výkon a počet střídačů stanovíme z celkového výkonu instalovaných fotovoltaických modulů. Do zdánlivého výkonu $S_{AC} = 4,6$ kVA je povoleno jednofázové paralelní napájení, jmenovitý výkon střídače P_{nAC} musí odpovídat této hodnotě. Pokud je zdánlivý výkon větší, musí být napájení vícefázové. Jmenovitý výkon střídače může být v rozmezí ± 20 % instalovaných fotovoltaických modulů. [14]

Návrh výkonového pásma střídače:

$$0,8 \times P_{PV} < P_{WRAC} < 1,2 \times P_{PV} \quad [-] \quad (4.3)$$

Návrhový faktor střídače (Sizing ratio) určuje poměr výkonu instalovaných fotovoltaických panelů k jmenovitému výkonu střídače:

$$SR_{AC} = \frac{P_{PV}}{P_{WRAC}} \quad [\%] \quad (4.4)$$

Návrhový faktor popisuje využití střídače:

$$0,83 < SR_{AC} < 1,25 \quad [-] \quad (4.5)$$

Pro dimenzování napětí střídače je určující suma napětí v použitých modulech, seřazených v řadě jednoho stringu. Napětí je silně závislé na teplotě a MPP okruh střídače by měl zahrnout MPP body charakteristiky fotovoltaických modulů v různých teplotách. Maximální počet modulů v jednom stringu se počítá pro hodnotu -10 °C, kdy na modulech stoupá napětí. Nevyšší napětí, které lze na modulech naměřit je napětí naprázdno při nízké teplotě. Toto napětí musí být nižší než maximální povolené napětí střídače. [14]

$$n_{max} = \frac{U_{WRmax}}{U_{L(modul -10^{\circ}C)}} \quad [-] \quad (4.6)$$

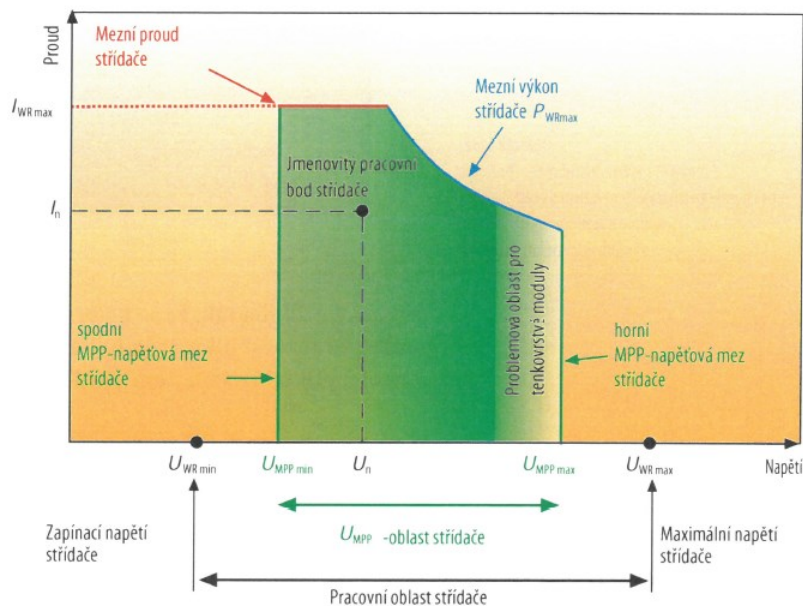
Minimální počet panelů se stanovuje při teplotě $+70$ °C, na kterou se mohou moduly v létě bez problému zahřát. Tím se sníží napětí až pod jmenovité napětí modulu za STC podmínek. Tím klesne minimální MPP napětí střídače a následuje jeho odpojení. [17]

$$n_{min} = \frac{U_{MPP(WRmin)}}{U_{MPP(modul +70^{\circ}C)}} \quad [-] \quad (4.7)$$

Na závěr dimenzování střídače je vhodné ověřit, zda maximální proud fotovoltaických panelů nepřekročí maximální vstupní proud střídače. [17]

$$n_{String} = \frac{I_{maxWR}}{I_{maxString}} \quad [-] \quad (4.8)$$

Cílem dimenzování je, aby všechny provozní body fotovoltaického systému byly v okruhu činnosti střídače. Hranice dimenzování jsou uvedeny v následujícím obrázku. [14]



Obr. 4.2: Kompletní okruh činnosti střídače [14]

4.1.4 Projektování vedení a ochranných prvků

Při dimenzování vedení je třeba dbát na tři základní kritéria návrhu:

- stabilita napětí,
- proudová zatížitelnost,
- minimalizace ztrát ve vedení. [14]

Stabilita napětí je specifikována maximálním napětím naprázdno při $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a u stejnosměrných vedená je 1000 V. Proudová zatížitelnost použitých kabelů musí odpovídat maximální hodnotě proudu stringového vedení. Dle doporučení je třeba dbát na to, aby ochrana zareagovala při zatížení kontinuálním proudem, než je 1,25 ti násobná hodnota I_K na každém místě. [14]

$$I_{Z\ string} \geq 1,25 \times I_{K\ STC\ string} \quad [A] \quad (4.9)$$

Kvůli nebezpečí požáru při elektrickém oblouku musí být zajištěna vyšší bezpečnost. Při poruše proudí celý generátorový proud přes jeden string. Tento proud je suma všech stringových zkratových proudů $I_{K\ String}$, snížený o zkratový proud jednoho stringu. [14]

$$I_{max} = 1,25 \times (I_{K\ STC\ stringy} - I_{K\ STC\ string}) \quad [A] \quad (4.10)$$

Vedení musí být na tento proud dimenzováno. Dalšími rozhodujícími faktory, které ovlivňují proudovou zatížitelnost vedení, jsou okolní teplota a způsob instalace. Při dimenzování uvažujeme teplotu $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Stringová vedení jsou většinou vedena ve svazku v chrániče, toto seskupení musí být v návrhu zohledněno dle specifikace normy. Při dimenzování ochranných stringových pojistek je doporučen následující vzorec pro jmenovité hodnoty. [14]

$$I_{n\ Stringová\ pojistka} \geq 1,4 \times I_{K\ STC\ string} \quad [A] \quad (4.11)$$

Aby nebylo dimenzování špatné, měl by být jmenovitý proud pojistek minimálně 1,4x vyšší než zkratový proud stringu. Pokud dojde k vybavení pojistky, musí se vždy vyměnit pojistky pro obě polaritu. [14]

Přívodní vedení by mělo být provedeno ve stejném průřezu jako připojovací vedení k modulům, většinou se jedná o průměr 4 mm². Vypočtená hodnota se zaokrouhluje na nejbližší vyšší hodnotu průřezu.

$$A_M = \frac{2 \times L_M \times I_{St}}{1\% U_{MPP} \times \rho} \quad [mm^2] \quad (4.12)$$

Hlavní linka stejnosměrného vedení musí být schopná vést maximální proud generátoru.

$$I_{max} = 1,25 \times I_{KPV} \quad [A] \quad (4.13)$$

Optimalizace průřezu se vypočítá dle následujícího vzorce.

$$A_{GL} = \frac{2 \times L_{GL} \times I_n^2}{(v \times P_{PV} - P_M) \times \rho} \quad [mm^2] \quad (4.14)$$

Pro dimenzování střídavého vedení využijeme následující vztah pro jednofázové a symetrické třífázové napájení. U systémů do 5 kW vyplývají průřezy do 6 mm².

$$A_{WL} = \frac{2 \times L_{WL} \times I_{nAC} \times \cos\varphi}{1\% U_n \times \rho} \quad [mm^2] \quad (4.15)$$

$$A_{WL} = \frac{\sqrt{3} \times L_{WL} \times I_{nAC} \times \cos\varphi}{1\% U_n \times \rho} \quad [mm^2] \quad (4.16)$$

4.1.5 Připojovací skříň generátoru a hlavní vypínač DC

U venkovního umístění skříně musí být dodržet stupeň ochrany IP54 a odolnost vůči UV. V připojovací skříně jsou umístěny stringové pojistky, jističe a svodiče přepětí. Ze skříně je veden uzemňovací vodič na zemnicí svorku. Doporučuji také umístění hlavního DC vypínače, který vypne instalaci před střídačem. Tím dojde v rámci požární ochrany k vypnutí zařízení a vyloučení chyby při údržbě střídače. [14]

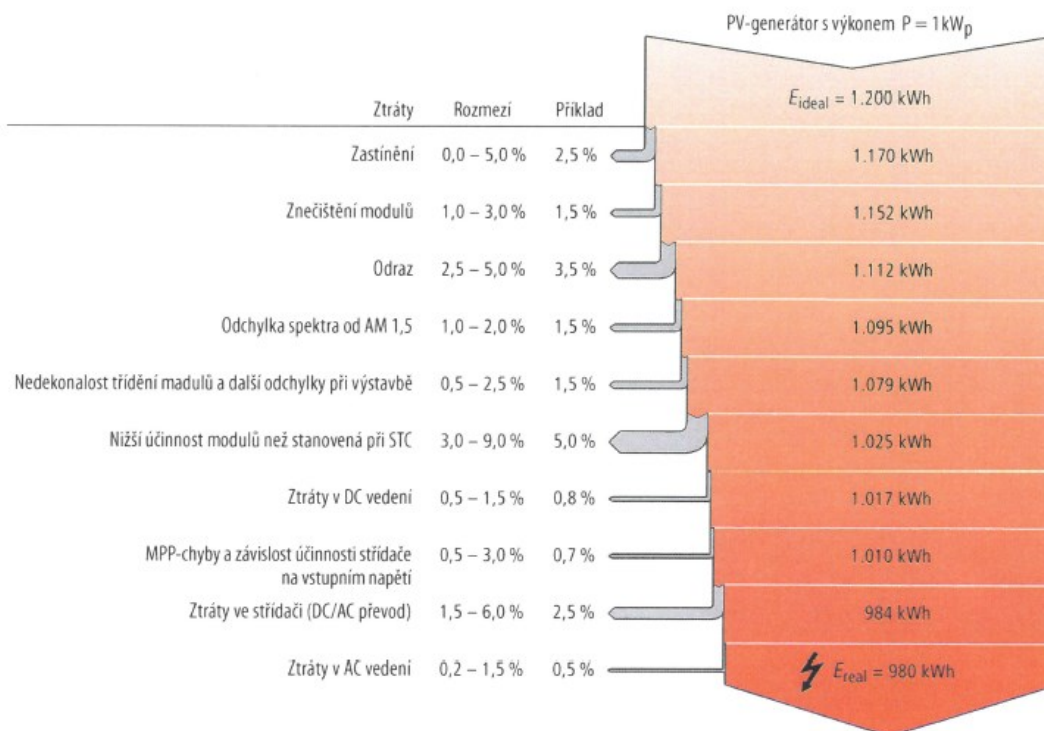
4.1.6 Připojovací skříň generátoru a hlavní vypínač DC

Instalace fotovoltaického zařízení musí respektovat požadavky požární zprávy a instrukce protipožární ochrany. V případě ohně se musí hasiči dostat rychle a bezpečně k ohni. Pokud není možný přístup na střechy okny nebo přes volnou část střechy (například severní část střechy) je doporučeno dodržet manipulační prostor alespoň 1 m od okraje střechy. Přehled protipožárních opatření:

- označení zařízení na domovní připojovací skříně výstražným štítkem,
- přehledný plánec pro zásahové jednotky,
- doplnění stávajících požárních plánů,
- instalace neodpojitelných stejnosměrných vedení s odolností vůči ohni,
- zařízení pro oddělení fáze nebo generátoru,
- zařízení k odpojení fotovoltaických modulů. [14]

4.1.7 Prognóza výtěžku

Pro vypracování prognózy je důležité zhodnotit stanoviště a zohlednit kvalitu použitých zařízení. Ztráty se odečítají od teoretického ziskatelného výtěžku energie E_{ideal} . Jako příklad je uveden diagram zobrazující ztráty v systému o výkonu 1 kW_p. [14]



Obr. 4.3: Graf toku energie zasíťovaného FV zařízení [14]

Jako měřítko kvality instalace se používá PR (performance Ratio). Ve výše uvedeném příkladu činní 81,6 %, tím pádem ztráty v systému činní 18,4 %. Lze zjednodušeně vypočítat dle vztahu.

$$PR = \frac{e_{real}}{g_{PV}} \times \left[\frac{kW_p}{m^2} \right] \quad [-] \quad (4.17)$$

Pro celkové stanovení výtěžku z instalovaného solárního systému lze pro prognózu použít simulační program, což je běžnou praxí.

4.2 Prohlídka místa, výběr stanoviště a analýza zastínění

Referenčním objektem pro návrh fotovoltaického systému je novostavba rodinného domu v obci Sazovice, která se nachází severozápadně od města Zlín. Jedná se o dvoupodlažní rodinný dům se sedlovou střechou. Základní rozměry domu jsou 14,25 x 6,8 m, výška po hřeben střechy 8,554 m. Dům je konstrukčně řešený z vápenopískových bloků o tloušťce 200 mm a zateplen bude z vnější strany pomocí polystyrénových desek EPS 70F tloušťky 200 mm. Celková obytná plocha domu činní 143,43 m² a zahrnuje obývací pokoj s kuchyní, ložnici, 3 pokoje a místnosti pro sociální zařízení. Dům budou obývat dle předpokladu 2 dospělé osoby a 2 děti. Přítomnost osob je pravidelná, v pracovních dnech obě osoby pracující mimo objekt a děti jsou ve škole, o víkendu jsou doma přítomny všechny osoby.

4.2.1 Adresa objektu

Obec: Sazovice
Stavební úřad: Zlín

Okres: Zlín

Kraj: Zlínský

Souřadnice domu: 49°14'43.65"N, 17°34'13.40"E

Nadmořská výška: 208 m



Obr. 4.4: *Vizualizace podoby uvažovaného rodinného domu*

4.2.2 Popis střechy objektu

Střecha je sedlové konstrukce, krytá plechovou falcovou krytinou s dvojitou stojatou drážkou z pozinkovaného plechu. Orientace střechy je na jihovýchod, celkové rozměry jsou 14,25 x 6,8 m. Z celkové plochy střechy bude využita pouze část směřující na jih, to činí využitelnou plochu pro instalaci FVE panelů 14,25 x 3,4 m bez uvažování distančních odstupů od okrajů. Azimut natočení střechy je 169 ° (odklon 11° od jihu směrem k východu). Sklon střechy je 38 °. Svoji koncepcí a natočením je střecha téměř v ideální pozici pro instalaci fotovoltaického systému.

4.2.3 Prohlídka místa a výběr stanoviště

Pro vypracování projektové dokumentace a cenové nabídky je nezbytná prohlídka místa instalace. Je nutné posoudit, zda je objekt pro instalaci fotovoltaického systému vhodný. Při prohlídce jsem věnoval pozornost zvláště následujícím bodům:

- požadovaný výkon a výnos systému, finanční rámec investice s ohledem na využití dotací,
- údaje o roční spotřebě energie, soupis spotřebičů nacházejících se v objektu,
- využitelná plocha střechy, nasměrování, sklon, konstrukce a druh krytiny,
- údaje o zastínění,
- místa montáže pro rozvaděče, odpojovače, střídače,
- umístění elektroměrové skříně, přípojovací (pojistkové) skříně,
- příjezdové trasy k objektu s ohledem na dodávku materiálu.

Pro výběr stanoviště byl zpracován kontrolní seznam usnadňující vyhodnocení dat při osobním jednání s investorem a výběru místa instalace. Tento seznam je **přílohou č. 1** diplomové práce.

4.2.4 Zastínění, znečištění

Prověření okolních poměrů s ohledem na zastínění fotovoltaické elektrárny je jedním z důležitých aspektů. V případě špatného návrhu a umístění panelů je snížení ročního výnosu až 10 %. Nejvíce kritické jsou blízké stíny, které vznikají od blízkých objektů, jako jsou např. stromy, komíny.

V uvažovaném místě instalace nebyly při obhlídce zjištěny negativní objekty, které by mohly způsobit zastínění panelů. Rodinný dům bude realizován na rovném povrchu v dostatečné vzdálenosti od okolních objektů. Vzrostlé stromy se v okolí nenacházejí.

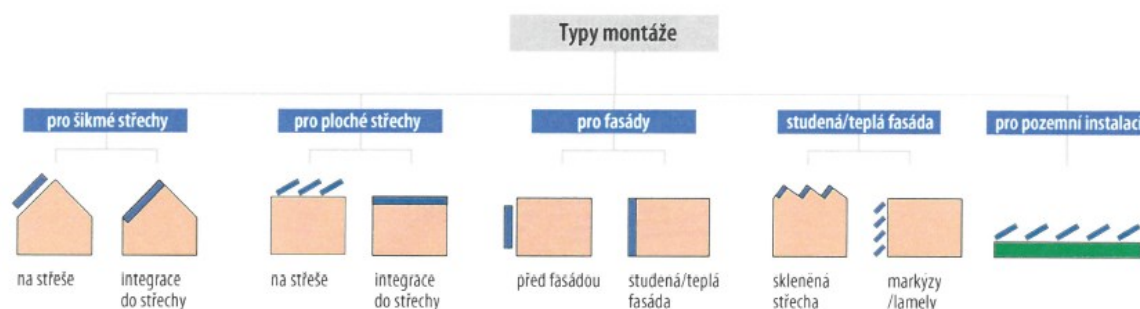
Analýza zastínění může být provedena zařízením PamoramaMASTER, HORIcatcher, SunEye. Všechny tyto prostředky analyzují zastínění i s ohledem na horizont. Data je možné dále zpracovat v simulačním programu a tím odhadnout ztráty výnosu. Znečištění závisí na stanovišti. V okolí uvažované stavby se nenachází žádný zdroj znečištění. Předpokládá se samočisticí schopnost, která se udává od sklonu 12 °. Ztráty znečištěním na normálních stanovištích se udávají až 5 %, to je možno eliminovat pravidelnou údržbou panelů pomocí ručního čištění. [14]

4.3 Montážní systémy pro upevnění fotovoltaického systému

Všechny části budov, které jsou vystaveny slunečnímu záření, mohou být použity pro instalaci fotovoltaického systému.

Tvary střech dělíme na základní kategorie:

- plochá střecha – sklon menší než 5°,
- mírně nakloněná střecha – sklon 5° až 22°,
- normální nakloněná střecha – sklon 22° až 45°,
- šikmé střechy – sklon větší než 45°. [14]



Obr. 4.5: Rozdělení druhů montáže FVE systémů [14]

4.3.1 Stabilita a statika

Úkolem projektové dokumentace pro instalaci fotovoltaického systému je dimenzovat montážní systém, tak aby se systém pod účinky zatížení nezvedal, nepřevracel, nesklouzával a stabilně držel svoji

polohu. Při plánování systému je nutné dodržovat následující pravidla pro minimalizaci sil, které působí na systém:

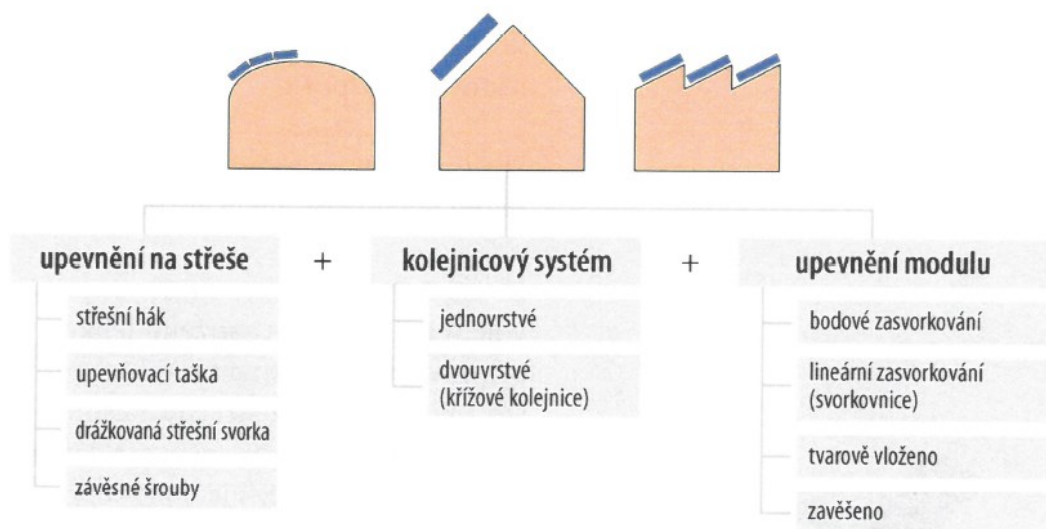
- vzdálenost mezi moduly a střešní krytinou by neměla být příliš velká. Zároveň musí být tak velká, aby docházelo k dostatečnému odvětrávání a nezachycovaly se nečistoty bránící k odtoku vody. Vzdálenost nesmí být menší než 60 mm,
- vzdálenost systému od okraje střechy má být pětkrát větší než vzdálenost modulu od střešní krytiny,
- plocha modulů by měla být ve stejném sklonu jako krytina střechy,
- pokud nebudou dodrženy zásady, dojde k nesouměrnému vyrovnání tlaků a hvízdání způsobenému větrem. [14]

4.3.2 Kombinace zatížení

Váha systému, působení větru a zatížení sněhem působí současně a nezávisle. Pravděpodobnost výskytu lze shrnout kombinací zatížení. Tím dimenzujeme systém odpovídajícím způsobem a prokáže se jeho nosnost. Platí také použití bezpečnostního koeficientu γ ve výši 1,5. [14]

4.3.3 Montážní systémy pro šikmé střechy

Střešní systémy pro šikmé střechy rozdělujeme dle následujícího obrázku na tyto kategorie:



Obr. 4.6: Rozdělení střešních montážních FVE systémů [14]

Při instalaci se moduly montují na nosnou konstrukci, která je umístěna nad stávající krytinu střechy. Střecha se tak zachovává svoji odolnost proti působení vnějších vlivů. Konstrukce se skládá ze tří hlavních dílů:

- střešní upevnění,
- nosné kolejnice,
- upevnění modulu. [14]

4.4 Energetické potřeby rodinného domu, zátěžové diagramy

4.4.1 Zásobování objektu teplem

Na základě průkazu energetické náročnosti budovy, který je přílohou projektové dokumentace byla stanovena potřeba neobnovitelné primární energie nutná pro přípravu teplé vody a vytápění. Jako výchozí řešení bylo uvažováno s použitím krbu na kusové dřevo, ten měl být doplněn o elektrický kotel.

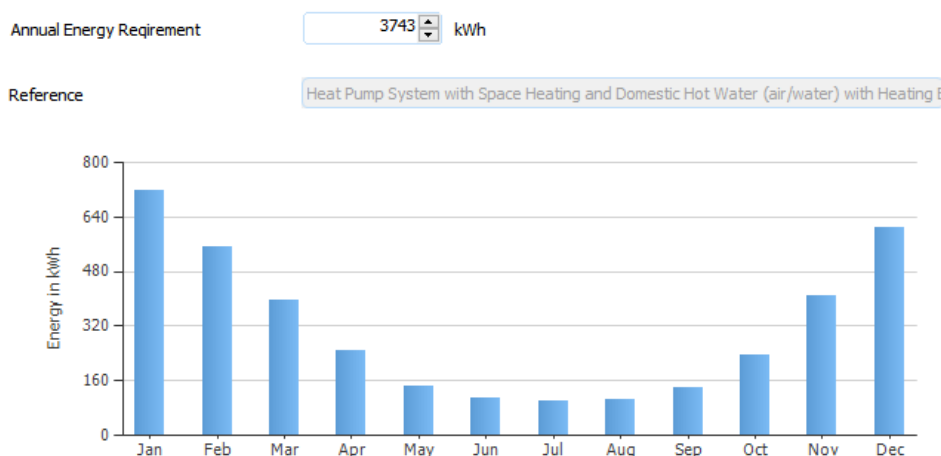
Dle výpočtů v energetickém průkazu náročnosti budovy je požadavek na vytápění pomocí elektrického kotle stanoven na **9 380,13 kWh/rok**. Potřeba energie z kusového a štěpkového dřeva na **11 752,15 kWh/rok**. Dle koeficientu 3 pro elektřinu a 0,1 pro dřevo je vypočtena neobnovitelná primární energie elektrokotle na **28 140,40 kWh/rok**. S ohledem na tyto skutečnosti byla budova zařazena do kategorie C, budova úsporná. To neodpovídá zařazení a splnění požadavků na budovu se zvýšenou energetickou nezávislostí.

Z průkazu vzešlo doporučení na instalaci tepelného čerpadla systému vzduch-voda, nebo země-voda s akumulacním zásobníkem na 200 litrů. Toto řešení je uvažováno jako hlavní zdroje tepla pro vytápění a ohřev TUV. Dále byl vznesen požadavek na instalaci solárních termických nebo fotovoltaických panelů pro ohřev TUV.

Pro vytápění rodinného domu bylo zvoleno tepelné čerpadlo model Premiumline HQ C6 od firmy IVT, který disponuje topným výkonem 5,6 kW. Tepelné čerpadlo má instalováno akumulacní nerezovou nádrž o objemu 200 litrů. Jako záložní zdroj tepla byl zvolen elektrokotel s topnou spirálou o výkonu 6 kW, ten je standardně nuceně vypnut. Vytápění v objektu je řešeno pomocí vodním podlahovým topným systémem.

Dům byl realizován na začátku roku 2019. Na základě požadavku bylo provedeno měření celkové spotřeby energie pro vytápění objektu a ohřevu TUV. Ten byl majitelem změřen na **3 395 kWh/rok**. V simulačním programu PV*SOL je předefinován odběrový profil pro tepelné čerpadlo vzduch-voda s ohřevem TUV na **3 743 kWh/rok**. Tento stav odpovídá skutečnosti naměřené investorem.

Rozdíl může být způsoben mírnou zimou, nastavením teplot ve vytápěných místnostech a použitím termostatů v každé vytápěné místnosti s nastavením týdenního programu. Doporučil jsem nastavit program termostatu na temperování na teplotu 18-19 °C při nepřítomnosti osob v rodinném domě s ohledem na úsporu energie.



Obr. 4.7: Rozdělení střešních montážních FVE systémů

4.4.2 Příprava teplé vody

V uvažovaných variantách je uvažován systém s tepelným využitím přebytků pro přípravu teplé vody. Tím pádem je nutné určení potřebného tepla pro přípravu teplé užitkové vody. Dle energetického průkazu náročnosti budovy je uvažováno se zásobníkem o objemu 120 litrů, který vytápí instalovaný elektrokotel o výkonu 12 kW.

Energie potřebná pro přípravu teplé vody je vypočtena dle bodu b) energetického průkazu náročnosti budovy na **2 032 kWh/rok**.

V případě žádosti o dotaci v titulu C.3.4. „FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700$ kWh/rok“ je požadován minimální měrný objem zásobníku teplo vody nebo akumulární nádrže 80 litrů na kWp.

Uvažovaný systém osazený zásobníkem s objemem 120 litrů lze použít pro uznání dotace. Ta požaduje minimální objem 120 litrů. Nicméně nebude splněn požadavek na spotřebu neobnovitelné primární energie a dům nesplní podmínky pro zařazení do třídy budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Pro přípravu teplé vody byl tedy zvolen systém tepelného čerpadla s akumulární nerezovou nádrží o objemu 200 litrů. Energetické nároky na přípravu teplé vody jsou zahrnuty do celkové roční spotřeby elektrické energie tepelného čerpadla. Jako alternativu doporučuji v projektové dokumentaci doplnit tuto sestavu o akumulární nádrž o objemu dalších 200 litrů s topnou patronou na stejnosměrný proud o výkonu 2 kW. Tuto nádrž ohřívat v průběhu dne solární energií a tím zvýšit podíl využitelné energie.

4.4.3 Vlastní spotřeba energie rodinného domu

V rodinném domě je elektrická energie využívána pro obecné spotřebiče (např. osvětlení, zásuvkové okruhy, spotřebiče v kuchyni atd.). Dále pro ohřev teplé vody a vytápění objektu. Pro maximální využití vyrobené energie z uvažované fotovoltaické elektrárny je vhodné optimalizovat spotřebu v objektu. Jedná se i jeden ze stěžejních požadavků dotace. Cílem optimalizace je, aby docházelo k minimálním nežádoucím přetokům do distribuční sítě. To zajistíme hlavně tak, že při dostatečném slunečním svitu bude objekt vytopen na požadovanou teplotu v době, kdy nebudou přítomni obyvatelé, a spotřeba elektrické energie bude minimální. Vytápění je nicméně omezeno pouze na topnou sezonu. Ohřev teplé vody lze využívat celý rok.

4.4.4 Výpočet potřeby elektrické energie rodinného domu

Rodinný dům je napojen na veřejnou distribuční síť NN, hlavní jistič je osazen o dimenzi 3 x 25 A. Dodavatelem elektrické energie je společnost E.ON Energie a.s.. Tarif byl u společnosti sjednán v sazbě D57d, kterou lze použít v případě, že je v domě využíváno pro vytápění tepelné čerpadlo. Sazba se započítává v nízkém tarifu (NT), který trvá 22 hodin denně a ve vysokém tarifu (VT), ten trvá 2 hodiny denně.

Dům je k distribuční síti připojen od začátku roku 2019, tudíž není dostupná historie fakturace za pozorované období. Pro projektovou dokumentaci je nicméně tento údaj stěžejní. V simulaci programu PV*SOL jsou předdefinované odběrové profily pro uvažované objekty. V našem případě rodinného domu s 2 dospělými osobami a 2 dětmi je definován profil, kdy je udávaná roční spotřeba **4 308 kWh/rok**.

Consumption



Obr. 4.8: Zátěžový diagram pro definování ročního průběhu spotřeby rodinného domu

V rámci zpracování dokumentace jsem provedl analýzu spotřeby a definoval přehled spotřebičů s jejich časovým využitím, tak abych nasimuloval co možná nejdělejší skutečné chování uživatelů v průběhu denních diagramů. Tyto diagramy jsem následně využil pro simulaci v softwaru PV*SOL, v rámci přiznání dotaze je možné použít předdefinovaný profil spotřeby. Tabulka spotřebičů a výpočty jsou **přílohou č. 2** diplomové práce.

Kvůli pozdějšímu využití projektové dokumentace jsem nicméně zpracoval tabulku spotřeb a denních diagramů pro použití i v dalších projektovaných objektech. V tabulce je soupis instalovaných zařízení s odhadem jejich používání. Byla provedena konzultace s investorem, tak aby návrh co nejvíce odpovídal realitě a zažitým zvyklostem rodiny. Na vytápění objektu je využíváno tepelné čerpadlo, které bylo instalováno na požadavek výsledných hodnot energetického štítku budovy.

Režim rodiny je ve všední den řízen pracovním režimem rodičů a docházkou dětí do školního zařízení. Je tvořen ze dvou špiček spotřeby a klidového večerního stavu. Ranní špička je zapříčiněna přípravou obyvatel na odchod z domova, odpolední špička reflektuje příchod obyvatel domů a vaření večeře. Klidový stav je uvažován po večeři, kdy jsou používány spotřebiče hlavně pro studium a zábavu. O víkendu je ranní špička posunuta s ohledem na pozdější probuzení obyvatel domu. Následuje hlavní dopolední špička, kdy je prováděn úklid a víkendové vaření. Odpolední špička je posunuta z důvodu pozdějšího režimu rodiny. To se týká i nočního klidového režimu, kdy jsou uvažované spotřebiče používány do pozdějších hodin. Dům se nachází v klidovém režimu přes noc a v době kdy nejsou přítomni obyvatelé domu. V této době je pouze spotřebována energie pro provoz spotřebičů ve standby režimu, spotřebičů, které jsou neustále napájeny jako je lednice, router atd.

Ráno rodina vstává kolem 6 hodiny, následuje hygiena v koupelně. V době před probuzením a noční hygienou obyvatelů jsou spuštěny elektricky vytápěné žebříky v koupelnách, tak aby byla při použití koupelny zvýšena teplota. Dále následuje snídaně, kdy se používají spotřebiče pouze nárazově. Uvažováno je s použitím varné konvice, toustovače a mikrovlnné trouby. Následuje odchod osob do zaměstnání a školy. V době od 7 do 16:30 hodin v domě nikdo není, takže dům spotřebovává pouze energii pro provoz neustále zapnutých spotřebičů. V době od 16:30 hodin je počítáno s příchodem obyvatel domů. Začíná odpolední špička, kdy je počítáno s využitím kuchyňských spotřebičů. Hlavně

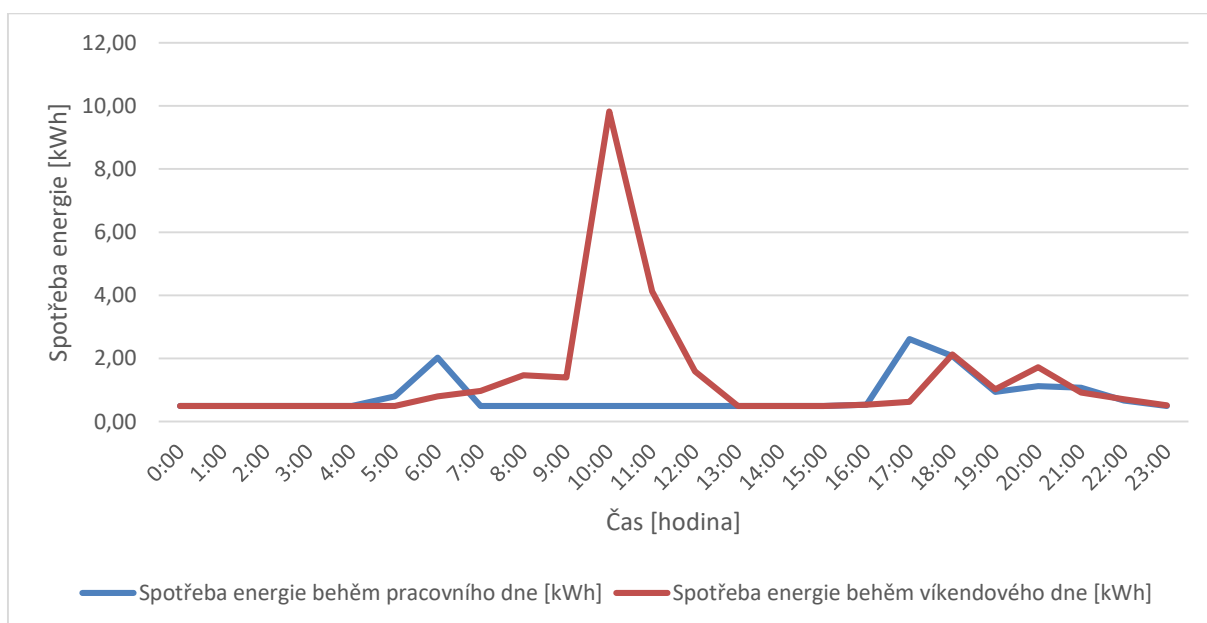
tedy sklokeramické desky na přípravu večere a dále budou zapnuty spotřebiče, jako televize, počítače a osvětlení. V době od 19:00 hodin začíná noční klidový režim, kdy je využíváno hlavně osvětlení, televize a počítače. O víkendu je situace odlišná z důvodu pozdějšího vstávání obyvatel domu 7:30 až 8:00 hodin, tím se posouvá období ranní špičky. Další významná špička nastává před obědem, kdy je počítáno s využitím vysavače, pračky, sušičky a dalších spotřebičů v rámci chodu domácnosti. Následuje hlavní špička, kdy je prováděno vaření víkendového obědu. V této části dne je využívána sklokeramická varná deska a elektrická trouba. Další špička nastává obdobně se všedním dnem jen je posunuta v čase.

V ideálním případě by bylo nutné provést celoroční měření spotřeby elektrické energie s průběhem pro každý den nejlépe v 15minutových intervalech. Jedná se o hlavně o rozdíl v období, kdy je nutné v zimním období delší využití umělého osvětlení a hlavně potřeby topení. V mém případě jsem použil například pro osvětlení průměrnou hodnotu v průběhu roku na základě východu a západu slunce. Také používání spotřebičů je pouze orientační a může se lišit v závislosti na reálných zvyklostech rodiny a doby jejich využívání.

Dle výpočtu byla zjištěna denní spotřeba elektrické energie **22,5 kWh/den** a celková roční spotřeba elektrické energie **8 211,98 kWh/rok**, kdy je pro spotřebiče počítáno s potřebou **4 816,96 kWh/rok** a pro potřebu vytápění a ohřev TUV je nutné **3 395,00 kWh/rok**.

Jak bylo uvedeno výše, v programu PV*SOL je uváděna průměrná roční spotřeba elektrické energie pro rodinný dům obývaný 2 dospělými a 2 dětmi **4 308 kWh/rok** a námi vypočtená spotřeba **4 816,96 kWh/rok**. A pro potřebu vytápění pomocí tepelného čerpadla s akumulací do TUV je uváděno v programu PV*SOL **3 743 kWh/rok** a odečtená reálná roční spotřeba tepelného čerpadla činí **3 395 kWh/rok**.

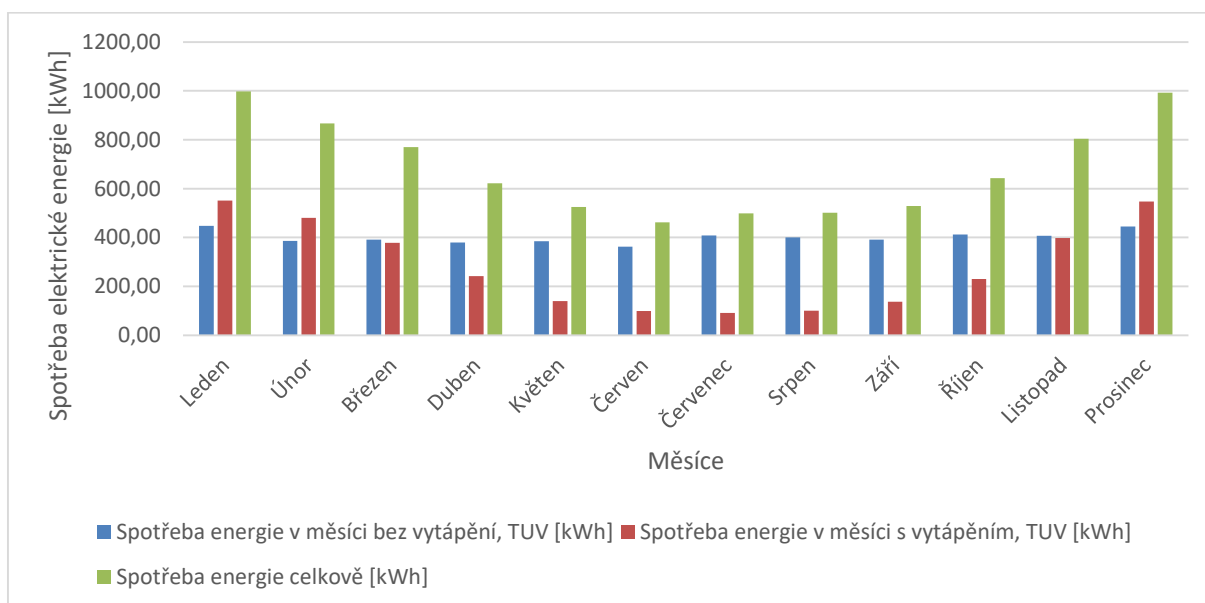
- Rozdíl v případě spotřeby elektrické energie pro spotřebiče činí + 508,96 kWh,
- rozdíl v případě spotřeby elektrické energie pro vytápění - 348 kWh,
- rozdíl v případě celkové spotřeby elektrické energie činí + 160,96 kWh.



Graf 4.1: Průběh denní spotřeby rodinného domu

Tab. 4.1: Přehled spotřeb elektrické energie v jednotlivých měsících

Sledovaný měsíc	Spotřeba energie v měsíci bez vytápění, TUV [kWh]	Spotřeba energie v měsíci s vytápěním, TUV [kWh]	Spotřeba energie celkově [kWh]
Leden	447,02	550,67	997,68
Únor	386,32	480,05	866,37
Březen	391,62	378,54	770,16
Duben	380,06	242,06	622,12
Květen	384,88	139,87	524,75
Červen	362,72	99,81	462,53
Červenec	408,00	91,33	499,32
Srpen	400,29	100,49	500,78
Září	391,14	137,50	528,64
Říjen	412,81	230,18	643,00
Listopad	406,55	397,55	804,11
Prosinec	445,57	546,93	992,50
Celkem	4816,98	3395,00	8211,98



Graf 4.2: Spotřeba elektrické energie rodinného domu v průběhu roku

4.4.5 Optimalizace spotřeby

Dle diagramů bude spotřeba elektrické energie probíhat hlavně v době mimo největší intenzitu dopadajícího záření. Kvůli tomu doporučuji optimalizovat spotřebu domácnosti. Aby byl, co nejméně dotčen komfort obyvatel rodinného domu doporučuji časový program pro spínání myčky nádobí, pračky a sušičky. Další optimalizace se týká využití přebytků pro ohřev teplé vody a vytápění. Vytápění by mělo probíhat v době nepřítomnosti obyvatel, nejlépe od 9:00 hodin. V zimních měsících je solární zisk natolik nízký, že ho lze s výhodou použít právě na vytápění. Ohřev teplé vody je celoroční a zisky v letním období lze použít pro ohřev teplé vody v době nepřítomnosti obyvatel, tím pádem nemusí být

tepelné čerpadlo vůbec využíváno. Dále doporučuji instalaci klimatizačních jednotek pro větší využití přebytků v letním období.

4.4.6 Požadavky investora na instalaci fotovoltaického systému

Cílem instalace je ušetření nákladu na elektřinu od dodavatele s cílem minimálních přetoků do distribuční sítě. Pokrýt by se měla zejména okamžitá spotřeba tepelného čerpadla, které má v domě největší spotřebu elektrické energie. Pokud bude nadbytek energie lze ji akumulovat do teplé vody, v případě dobré návratnosti lze energii ukládat do akumulátoru. Využitelnost energie přes letní měsíce je možné využít pomocí instalace klimatizace. Všechny uvažované varianty počítají s využitím dostupné dotace na jejich pořízení.

4.5 Popis zvolené fotovoltaické elektrárny, energetické zisky, použité komponenty

4.5.1 Popis zvolené fotovoltaické elektrárny

Velikost instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny jsem určil na základě spotřeby elektrické energie, která byla určena v předchozí kapitole. V programu PV*SOL byly nasimulovány roční průběhy spotřeb na základě dostupných diagramů. Jako řešení byla použita následující specifikace:

- roční spotřeba elektrické energie 8 211,98 kWh/rok,
- tarif D57d (tarif při využití tepelného čerpadla s nízkou sazbou 22 hodin denně),
- místo umístění v obci Sazovice (objekt se nachází na souřadnicích 49°14'43.65"N, 17°34'13.40"E),
- nadmořská výška objektu 312 m nad mořem,
- sedlová střecha se sklonem 38 ° otočená v azimutu 169 ° (odklon 11 ° od jihu směrem k východu),
- globální úhrn záření dle databáze PVGIS činí pro danou velikost systému 741,05 kWh/m².

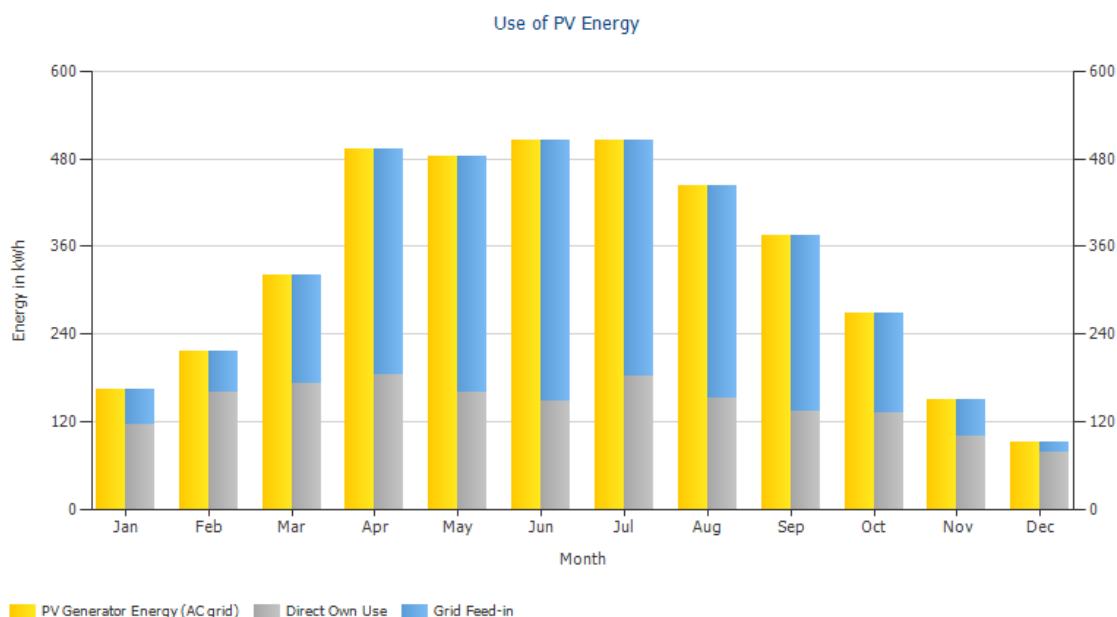
Vhodné zvolení velikosti systému je stěžejní činností této práce a projektové dokumentace. Je nutné zvážit mnoho faktorů ovlivňujících vynaloženou investici. Jedná se o vliv počasí, ceny elektřiny a podmínky prodeje přebytků do sítě.

- Kombinované ztráty ve všech technologiích jsou uvažovány 17 %,
- pokrytí spotřeby na 25 let provozu (uváděna životnost fotovoltaických panelů),
- cíl je pokrýt spotřebu RD s minimem přebytků do sítě.

Velikost instalovaného fotovoltaického systému jsem stanovil na 3,66 kWp.

Tato velikost se jeví jako ideální při použití v zimním období, kdy je do sítě distribuována pouze nepatrná část vyrobené elektrické energie. Systém je záměrně o 2 panely naddimenzován kvůli jejich dostupnosti, ceně a rezervě (ztráty zastíněním, sněhem atd.).

Velikost systému byla ověřena simulací v programu PV*SOL na reálných hodnotách spotřebované energie v průběhu roku. Následující diagram znázorňuje pokrytí spotřeb.



Obř. 4.9: Přehled celkového ročního krytí spotřeby pomocí FVE systému

Jak je patřno, důležitá je situace v prosinci, kdy je celková výroba elektrické energie 91,2 kWh využita pro vlastní spotřebu 77,6 kWh a přetok do sítě pouze 13,5 kWh.

4.5.2 Varianty fotovoltaické elektrárny

Jak bylo deklarováno v úvodní kapitole, jsou uvažovány variantní návrhy řešení, tak aby bylo zvoleno vhodné řešení z hlediska ekonomické návratnosti.

Varianta A – stávající systém – současný způsob dodávky elektřiny bez použití FVE

- Varianta, kdy není použit žádný instalovaný systém a uživatel hradí veškerou cenu za elektrickou energii dodanou z distribuční sítě na základě sjednaného tarifu.

Varianta B – systém bez akumulace energie – FVE systém pokrývající spotřebu energie bez přetoků do distribuční sítě

- Varianta popisuje stav, kdy bude instalován systém, který bude využíván pro pokrytí aktuální energetické potřeby rodinného domu. Přebytky budou posílány do distribuční sítě. Na tento systém se nevztahují podmínky dotace.

Varianta C – systém s částečnou akumulací do vody – FVE systém bude využit k pokrytí spotřeby energie s využitím přebytků pro ohřev teplé vody

- Tato varianta splňuje podmínky dotace v oblasti C.3.4 a využívá přebytky hlavně v letních měsících pro ohřev teplé užitkové vody. Nevyužité přebytky budou posílány do distribuční sítě.

Varianta D – systém s akumulací energie do baterií – FVE systém bude využívat bateriový systém pro ukládání přebytků energie

- Varianta v oblasti dotace C.3.5 až C.3.7 dle celkového instalovaného využitelného ročního zisku. Přebytky elektrické energie budou využívány pro nabíjení instalovaného bateriového úložiště. To bude pak sloužit pro dodávku energie v případě aktuální potřeby rodinného domu.

4.5.3 Energetické zisky

Při návrhu fotovoltaického systému je důležitým faktorem stanovení předpokládaného množství vyrobené elektrické energie. Pro toto určení se nejčastěji využívá online program PVGIS. Tento program je volně k dispozici na webových stránkách Evropské komise.

Nejprve vybereme na mapě místo instalace, poté zadáme použitou technologii, uvažovaný instalovaný výkon systému a jeho ztráty. Dále je nutné určit způsob montáže, sklon panelů a jejich orientaci vůči světovým stranám. Výsledný protokol je *přílohou č. 3* diplomové práce. Globální úhrn záření dle databáze PVGIS činí pro danou velikost systému 741,05 kWh/m². Tato hodnota je nicméně teoretická a nereflktuje přímo dané podmínky instalovaného systému.

4.5.4 Použité komponenty

Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely jsou důležitou částí systému, díky kterému získává elektřinu ze slunce. Hlavním parametrem je jejich výkon a účinnost. Na trhu je dnes celá řada výrobců. Pro uvažovaný fotovoltaický systém jsem vybral panely Suntech Power STP 305Wp. Specifikace jsou uvedeny v technickém listu, který je přílohou projektové dokumentace. Panel je certifikován v rámci NZÚ. Cena panelu je 3 649,17 Kč vč. DPH.

Střídač

Při výběru střídače uvažujeme o jeho použití v on-grid systému. Můj systém je uvažován jako 3fázový, kdy nebude překročena předepsaná hranice 4,6 kWp pro připojení elektrárny k distribuční síti. Dále je nutné uvažovat ze dvou variant střídače. Variantu s použitím symetrického střídače, který zajišťuje pouze přeměnu energie nebo variantu hybridního střídače umožňující přepínání a řízení zátěže.

Vybral jsem hybridní měnič Fronius Symo Hybrid 4.0-3-S v porovnání se střídačem Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S je dražší o pouhé 3 348 Kč. Střídač má zabudovaný dobíječ baterií a MPP tracker. Umožňuje funkci backup, kdy lze při výpadku elektrické energie měnič řídit v ostrovním režimu. Jeho specifikace splňují požadavky NZÚ. Technický list je přílohou projektové dokumentace. Cena střídače je 53 376,14 Kč vč. DPH.

Baterie

V rámci úspory vyrobené energie je ve variantě D počítáno s uložením solárních zisků do baterie s vysokou cyklickou odolností. Nejvíce se využívají gelové nebo olověné. Pro hybridní systémy se nejvíce hodí baterie lithium-železo-fosfátové (LiFePo). Nedochází u nich k sulfaci a není snižována kapacita baterie. Hlavní výhodou je tedy možnost částečného dobíjení. Po simulaci v programu PV*SOL jsem vybral baterii Fronius Solar Battery 6.0 kWh LiFePo. Tato baterie splní i požadavky na NZÚ s podmínkou minimální měrné kapacity 1,25 kWh na instalovaný 1 kWp. Technický list je přílohou projektové dokumentace. Cena baterie činí 169 855 Kč vč. DPH.

Elektroměr

Pro řízení toku energie při akumulaci je nutné použít obousměrný elektroměr. Zvolil jsem elektroměr od firmy Fronius, typ Fronius Smart Meter. Slouží k optimalizaci vlastní spotřeby a zaznamenávání křivky spotřeby. Technický list je přílohou projektové dokumentace. Cena zařízení je 6 942 Kč vč. DPH.

Vodiče

Spojení panelů a propojení ke střídači bude provedeno pomocí solárních kabelů. Vybral jsem kabely od firmy Heiru. Konkrétně se jedná o typ Heisolar s průřezem 4 mm². Kabely mají deklarovanou odolnost vůči UV záření, jsou bezhalogenové a samozhášivé dle DIN 60332-1-2. Mají nízké teplotní ztráty a udávanou životnost 25 let. Cena 1 m kabelu je 18 Kč vč. DPH.

Měnič bude dále propojen s bateriovým úložištěm. Přes toto vedení bude baterie dobíjena a odebírána energie. Doporučuje se umístit baterie do blízkosti měniče, tak aby byla vzdálenost maximálně cca. 10 m. Pro toto vedení jsem zvolil kabel CYA H07V-K 6ZZ s průřezem 6 mm² v černém a červeném provedení. Izolace je s PVC a kabel je samozhášivý. Cena 1 m kabelu je 16 Kč vč. DPH.

Vedení ze střídače bude provedeno pomocí standartního kabelu CYKY-J s průřezem 4 mm². Kabel bude sloužit pro propojení střídače, elektroměru, svodiče přepětí a rozvaděče rodinného domu. Cena za 1 m kabelu je 62 Kč vč. DPH.

Pro spojování jsem definoval použití konektorů MC T4, jedná se o nejvíce používané řešení. Cena spojky 46 Kč vč. DPH.

Další podrobnosti jsou uvedeny v katalogovém listu přiložené v projektové dokumentaci.

Konstrukční prvky

Panely budou namontovány na střechu pomocí hliníkové konstrukce. Celkový rozpis komponent jsem vytvořil pomocí online nástroje na webových stránkách firmy Krajiczech. Nabídka obsahuje veškeré potřebné komponenty pro instalaci modulů na střechu. Nabídka je přílohou projektové dokumentace. Cena dodávky činí 10 022 Kč vč. DPH.

Akumulační nádrž teplé vody

Pro uchování přebytků byla zvolena akumulací nádrž s možností přípravy teplé užitkové vody. Tím pádem lze v letních měsících odstavit chod tepelného čerpadla. Zapojením solárních panelů dojde pomocí dohříváče vody TJ 6/4“ k ohřevu vody na požadovanou teplotu. Uvažoval jsem typ NADO v2 500/140. Objem topné vody v nádrži je 475 litrů a objem zásobníku pro ohřev TUV je 140 litrů. Sestava bude doplněna o přírubovou topnou jednotku TPK o výkonu 2,2 kW. Jednotka je vybavena termostatem. Cena tohoto řešení je 20 815 Kč vč. DPH. Další podrobnosti jsou uvedeny v katalogovém listu přiložené v projektové dokumentaci.

5 Vytvoření projektové dokumentace

Hlavní cíl diplomové práce je vytvoření projektové dokumentace pro návrh fotovoltaického systému rodinného domu se zvýšenou energetickou nezávislostí. Tomuto úkolu předcházela řada navazujících kroků, které jsou před započítáním vytváření projektové dokumentace potřeba.

Prvním krokem je definice místa instalace a její způsob. Druhým krokem je návrh a dimenzování fotovoltaického systému na daný rodinný dům. V rámci zpracování diplomové práce jsem navrhl čtyři varianty, tak aby si investor mohl vybrat jemu vyhovující řešení. Třetím krokem je simulace výnosů a způsobu funkce fotovoltaického systému na základě simulačního programu. Čtvrtým krokem je vybrání jednotlivých komponent a sestavení celého systému. Po všech těchto krocích je možné vypracovat projektovou dokumentaci, kterou je možno použít pro administraci podpory a realizaci stavby. Projektová dokumentace fotovoltaického systému ve variantě B až D je *přílohou č. 4* diplomové práce.

Dále ještě jednou popíši variantní řešení návrhu:

- varianta A – stávající systém – současný způsob dodávky elektřiny bez použití FVE,
- varianta B – systém bez akumulace energie – FVE systém pokrývající spotřebu energie bez přetoků do distribuční sítě,
- varianta C – systém s částečnou akumulací do vody – FVE systém bude využit k pokrytí spotřeby energie s využitím přebytků pro ohřev teplé vody,
- varianta D – systém s akumulací energie do baterií – FVE systém bude využívat bateriový systém pro ukládání přebytků energie.

Jednotlivé popsané kroky jsem provedl v rámci předchozí části diplomové práce. V následujících kapitolách popíši hlavní kroky při realizaci projektové dokumentace. Mezi stěžejní kroky projektové dokumentace patří návrh systému v simulačním programu PV*SOL a dále samotné vypracování projektové dokumentace.

5.1 Simulační software

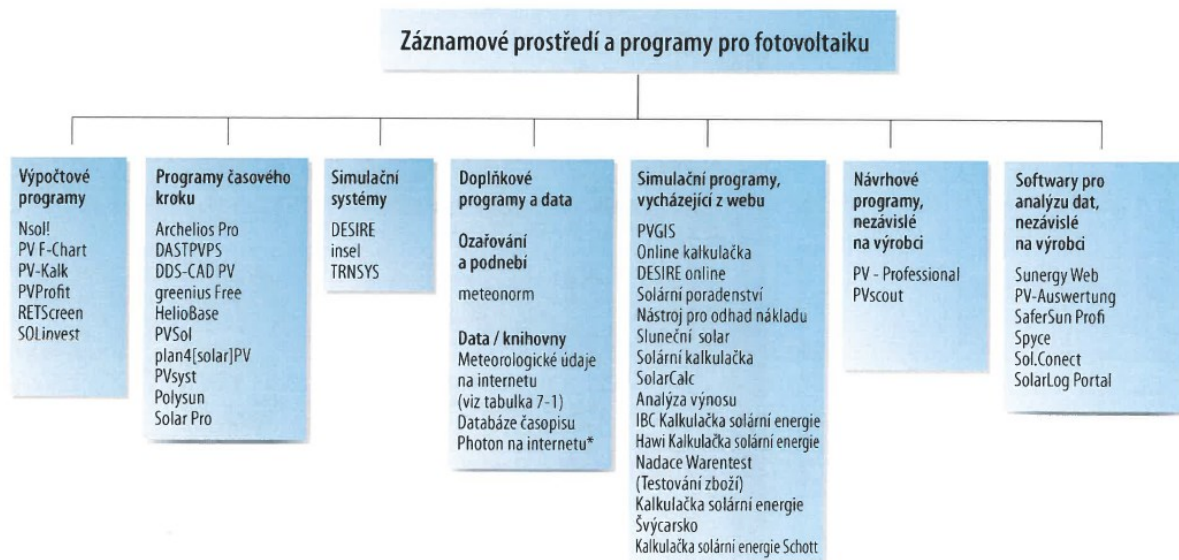
Dnešní doba poskytuje velký výběr návrhových a simulačních programů pro zpracování fotovoltaických systémů. Již v průběhu návrhu je nutné systém optimalizovat, správně dimenzovat, kontrolovat limity a provozní stavy. Nespornou výhodou je možnost simulace různých variant řešení na jednom objektu.

Navíc návrh fotovoltaického systému napojeného do distribuční sítě není jednoduchý. Střídače mají na DC straně jiný rozsah MPP a současně jiné limity proudu a napětí. Těmito limity je definováno jejich rozmezí funkce. Dále je nutné propojit fotovoltaické moduly se střídačem, tak aby byly kompatibilní. Pro jakékoliv propojení mohou simulační programy i na základě počasí, orientace a sklonu instalovaného fotovoltaického systému předpovídat výkonost systému.

To se nám hodí při hledání systému s nejvyšším výnosem, který je ekonomicky nejvýhodnější v rámci nejrozumnějšího řešení. Stanovení výnosu je provedeno rychle a přesně, s tím že lze měnit operativně jednotlivé varianty a prvky systému.

5.1.1 Přehled dostupných programů pro fotovoltaické systémy

Programy lze roztrždit dle jejich programových postupů a způsobu výpočtu. Dále je uvedena klasifikace jednotlivých dostupných programů.



Obr. 5.1: Klasifikace softwaru a simulačních programů pro FVE systémy [14]

Výše uvedené programy lze rozdělit na ty s podporou 2D a s podporou 3D rozhraní. Jako nevýhodu 2D programů lze uvést jejich nedostatečnou přesnost a absenci možnosti zastínění. Výpočetní programy používají především statické metody v kombinaci s jednoduchými výpočty. Často se používají pro výpočty ziskovosti. Simulační programy časového kroku jsou nejvíce využívány s ohledem na jejich širokou škálu použití. V programech je možné přesně simulovat reálné systémy a chování systému lze odvodit na základě časových údajů a meteorologických dat. Systém je simulován v časovém kroku s ohledem na vstupní údaje. Simulační systémy zkoumají konkrétní skutečnosti, které mohou být do programu implementovány v případě potřeby. Jedná se hlavně o popisy pomocí rovnic, nebo diagramu. Další skupinou jsou doplňkové programy, které slouží především pro výpočet slunečního záření. V neposlední řadě využíváme návrhové a servisní programy a programy pro analýzu dat. [14]

5.1.2 Simulační software PV*SOL

V diplomové práci jsem k návrhu uvažovaného systému použil program PV*SOL. Jedná se o software, který byl navržen v Německu firmou Valentin Energie a je celosvětově uznáván. Je primárně zaměřen pro projektanty a montéry. Systém obsahuje aktualizovanou databázi všech potřebných komponentů a další výhodou je možnost zvolení zátěžových profilů. Všechny prvky se dají definovat a upravit. Pro zpracování meteorologických dat zahrnuje program databázi MeteoSyn. Systém také nabízí definici systému v prostředí 2D i 3D. [14]

Popis kroků při návrhu fotovoltaického systému v programu PV*SOL

V rámci projektové dokumentace jsem provedl návrh fotovoltaického systému pomocí následujících kroků v programu PV*SOL:

- identifikační a vstupní data dokumentace,
- zvolení typu, umístění a připojení systému,
- spotřeba systému (zátěžové diagramy),
- 3D design,
- možnost zvolení bateriových modulů,
- provedení kabeláže a ochranných prvků,
- schémata a kusovník,
- finanční analýza,
- výsledky.

V dalších bodech stručně popíši postup simulace uvažovaného fotovoltaického systému pro daný rodinný dům. Pro pohyb mezi jednotlivými sekcemi simulačního systému používáme šipky a tím projdeme všechny výše popsané kroky postupně.

Identifikační a vstupní data dokumentace

V prvním kroku jsem definoval vstupní data projektové dokumentace, mezi hlavní údaje patří:

- číslo projektu,
- název projektu,
- investor,
- telefon,
- e-mail,
- adresu instalace,
- popis instalace.

Zvolení typu instalace, umístění a připojení systému

V tomto kroku jsem v první řadě zvolil typ uvažované instalace. Na výběr máme z následujících variant systémů:

- systém spojený s distribuční soustavou – přímé připojení systému bez zátěže, všechna vyrobená energie je dodávána do distribuční sítě,
- systém spojený s distribuční soustavou a vlastní spotřebou elektrické energie – jedná se o standardní on-grid systém, tj. systém připojený do distribuční sítě využívají výrobu ke krytí vlastní spotřeby,
- systém spojený s distribuční soustavou a vlastní spotřebou elektrické energie využívající k akumulaci elektrické energie baterii – jedná se o hybridní systém. Systém je připojený do distribuční sítě, využívá výrobu ke krytí vlastní spotřeby a nabíjení baterie,
- systém spojený s distribuční soustavou a vlastní spotřebou elektrické energie využívající přebytky k nabíjení elektromobilu – jedná se o hybridní systém. Systém je připojený do distribuční sítě, využívá výrobu ke krytí vlastní spotřeby a nabíjení elektromobilu,
- systém spojený s distribuční soustavou a vlastní spotřebou elektrické energie využívající přebytky k baterie a nabíjení elektromobilu – jedná se o hybridní systém. Systém je připojený do distribuční sítě, využívá výrobu ke krytí vlastní spotřeby a nabíjení baterie a elektromobilu,
- samostatně stojící systém – jedná se o standardní off-grid systém,
- samostatně stojící systém s generátorem – jedná se o standardní off-grid systém s generátorem pro pokrytí dodávky elektrické energie.

V rámci zpracování projektové dokumentace jsem zvolil tři varianty provedení systému v závislosti na variantě. Jedná se o variantu systému spojeného s distribuční soustavou a vlastní spotřebou elektrické energie. Další varianta je modifikace tohoto systému využívající k uložení přebytků elektrické energie akumulaci nádrží. Jako další varianta byl zvolen systém spojený s distribuční soustavou a vlastní spotřebou elektrické energie využívající k akumulaci elektrické energie baterii.

Dalším krokem je zvolení klimatických podmínek zvoleného typu fotovoltaického systému. Klimatické podmínky se volí na základě umístění systému v určitém místě. V rámci České republiky jsou dostupné klimatické podmínky v rámci meteorologických stanic. V mém případě jsem zvolil lokalitu Holešov. Stanice se nachází asi 15 km severně od uvažovaného umístění systému, tím pádem nedojde k zásadnímu zkreslení.

Posledním krokem je zvolení parametrů distribuční sítě. Zde jsem ponechal defaultní parametry pro síť.

Definování spotřeby systému (zátěžové diagramy)

Jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách pro stanovení vlastní spotřeby, je nutné stanovit zátěžové diagramy rodinného domu. Program PV*SOL umožňuje zvolení již předdefinovaných profilů. Jsou k dispozici následující volby:

- průměrné měsíční naměřené profily – ty jsou stanoveny pro jednotlivé nejčastěji používané volby. V našem případě rodinný dům s 2 dospělými a 2 dětmi. Dále pro tepelné čerpadlo s ohřevem teplé užitkové vody. Jedná se o měsíční průměrné hodnoty spotřeb,
- průměrné denní naměřené profily – zde jsou definovány měřené spotřeby v rámci dne,
- individuální aplikace – profily jsou specifikovány pro jednotlivé zařízení. Pomocí těchto profilů lze definovat spotřebu v průběhu dne, hodin a minut. Jedná se například o televizi, myčku a další. Tento profil byl využit v rámci stanovení průběhu spotřeby akumulaci nádrže,
- profil z vlastního měření – tento profil lze využít, pokud jsou dostupná data z měření spotřeby. Jedná se o nejpřesnější simulační nástroj, který lze využít.

3D desing

Tento krok reprezentuje komplexní návrh uvažované budovy, instalovaného systému, zvolení komponent a návrh provedení kabeláže. Po spuštění se přepne program do prostředí 3D vizualizace. Dalšími kroky se navigujeme postupně až ke zdárnému návrhu systému. Kroky pro návrh jsou následující:

- modelování terénu – v rámci modulu lze umístit model do terénu. Ten může být importován pomocí 3D modelu, namodelován na satelitní snímek, anebo namodelován na prázdné prostředí. Důležitým aspektem je namodelování možných objektů způsobujících zastínění. Pro tyto případy jsou zde k dispozici stromy, stěny a komíny. S výhodou můžeme využít i modelaci okolních objektů. V mém případě byl rodinný dům umístěn na satelitní snímek místa skutečného umístění a provedeno zhodnocení zastínění obhlídkou na místě samém.
- Modelování objektu – modelování objektu probíhá vybráním typu objektu a jeho střechy. Zadáme rozměry jednotlivých částí. Dále jsem využil funkci pro změnu textury stěn a umístění oken a dveří na objektu. Tím byla provedena věrná simulace skutečného stavu. Na objekt byl z důvodu analýzy zastínění umístěn komín a parabola. V rámci návrhu lze zvolit i zakázanou oblast. Tu v mém případě reprezentuje oblast dostatečné vzdálenosti hromosvodu a okraje

střechy. Tímto způsobem můžeme znemožnit instalaci panelů na střešní okno. Dále bylo na základě dodaného výkresu střechy definováno i rozmístění střešních latí pro lepší umístění panelů vzhledem k jejich montáži.

- Pokrytí panely – na zvolenou stranu střechy umístíme uvažovaný počet panelů a jejich příslušnou pozici. Prvně jsem zvolil typ panelu z obsáhlé knihovny, moduly lze definovat i vlastní. Další krok je zvolení vybraní oblasti pro instalaci, nebo pokrytí střechy panely. Při volbě pokrytí se střecha pokryje maximálním počtem zvolených panelů.
- Montáž modulů – v tomto kroku volíme montáž modulů na střešní krytinu. Tento krok je nutný pro stanovení jejich sklonu, nicméně je neméně důležitý pro ploché střechy. V mém případě byla nastavena doporučená mezera mezi krytinou a panely. Způsob montáže byl zvolen jako instalace na střeše.
- Konfigurace střídače – pro zvolenou velikost fotovoltaického systému na základě umístěných panelů volíme velikost odpovídajícího střídače. V této sekci se ukazuje jedna z hlavních výhod zvoleného simulačního programu. Na základě vybraných střídačů od různých výrobců z dostupné knihovny vybere systém nejvhodnější střídač pro naši instalaci. V knihovně je možné zaškrtnout oblíbené střídače, které v rámci firmy a dodavatelů nejčastěji používáme a simulační program vybere nejvýhodnější pouze z těchto definovaných. Další výhodou je okamžitá kontrola využitelnosti zvoleného střídače na základě nastavených limitů pro návrhový faktor. To znamená jeho využitelnost s ohledem na přetížitelnost a budoucí rezervu.
- Definice kabeláže – po zadání vstupních podmínek umožňuje systém provedení automatické kabeláže mezi panely. Dále je možno zvolení pozice centrální průchodky střechou a fotovoltaického rozvaděče. Využita byla možnost samostatné definice tras s ohledem na jejich budoucí vedení po hliníkových profilech, definován byl rozvaděč i průchod střechou domu.

Po všech výše uvedených krocích a ověření návrhu jsem zvolil volbu adoptovat data. Tato možnost přenesla namodelovaný systém do prostředí PV*SOL a tím ho definuje pro jeho další zpracování.

Bateriový systém

Následuje krok volby akumulčního systému. Tento systém závisí na volbě celkového systému a lze zde definovat jak baterii, tak i elektromobil a v poslední řadě kombinaci obou. Pro můj vlastní návrh ve variantě s akumulací energie byla zvolena pouze baterie. Pokud by se investor rozhodl nebo počítal s pořízením elektromobilu, mohla by být simulace operativně okamžitě provedena s odpočívajícími výsledky.

Tato volba funguje obdobně jako volba střídače. Z dostupné obsáhlé knihovny lze vybrat námi zvolenou baterii. Další volbou je zaškrtnutí oblíbených výrobců, popř. typů baterií jako oblíbených a systém vybere z tohoto definovaného seznamu nejvhodnější variantu. Na základě vizualizovaných limitů lze ověřit využitelnost zvolené baterie s ohledem na využitelnou energii a připojené zátěže.

Provedení kabeláže a ochranných prvků

Krokem definujeme dimenzi zvolené kabeláže a systém nám zobrazí vypočtené ztráty v systému. Dále je možné upravit defaultní schéma o jisticí, ochranné prvky a jejich popis. V tomto ohledu systém umožňuje pouze základní definice. V rámci zpracování jsem přidal veškeré možné prvky, které systém umožňuje.

Schémata a kusovník

Jedná se o informativní krok, kde se zobrazují výstupní schémata a plány. Prvně je možno zobrazit napájecí schéma systému. Dále je možno zobrazit instalační plán panelů na střeše rodinného domu včetně kót. Dalším schématem je zapojení jednotlivých stringů a jako poslední kusovník použitých zařízení. Veškeré výše uvedené výstupy lze exportovat pro jejich následné využití v rámci projekčních prací.

Finanční analýza

V záložce finanční analýza nastavujeme zásadní informace o celkové finanční stránce použitého systému. V záložce parametry nastavíme periodu, zvolil jsem pro větší přehlednost 40 let. Nicméně uváděna maximální životnost panelů je 30 let. Dále byla nastavena hodnota 2 % pro inflaci, to je průměrná hodnota dle ČNB. V současné době činí 2,8 %. Dále je nutné nastavit cenu instalovaného zařízení. Tuto cenu jsem stanovil na základě zpracovaných výkazů výměr pro jednotlivé systémy. Položka příchozí platby reprezentuje poskytnutou dotační podporu. Odchozí a operativní platby poté náklady na roční údržbu systému. Jedná se o roční náklady na čištění systému, revize a pojištění. Dále lze zvolit financování, v našem případě se jedná o financování ze zdrojů investora. Lze ale nastavit financování na základě půjčky a s tím spojené úroky, výši půjčky a dobu splácení.

Dalším krokem je stanovení ceny vykupované energie a roční růst ceny dodané energie. Tato cena je volena na základě smlouvy s distributorem energie. V našem případě byla zvolena částka 0,4 Kč/kWh pro výkup přebytků a 3 % nárůst ceny energie, který je v dostupné literatuře uváděn jako konzervativní.

Posledním krokem je definování sazby dodávky elektrické energie a její ceny. V knihovně programu jsou uvedeny sazby hlavně pro Německo. Proto jsem definoval sazbu D57d s cenou energie 3,154 Kč/kWh. Do této ceny se neuvádějí systémové poplatky, poplatek za hlavní jistič a poplatek na podporu OZE.

Výsledky

Po nastavení a kontrole všech hodnot jsem provedl kalkulaci výsledků. Ta se dělí na následující části:

- celkový přehled,
- výsledky simulací,
- přehled energetických bilancí,
- finanční analýza.

Každá z výše uvedených částí má nespočet podzáložek k detailnímu prostudování celého systému. Osobně jsem využíval hlavně editor diagramu, kde je možné zvolit jakoukoliv proměnou a časový krok (den, týden, měsíc atd.) pro ověření výroby a spotřeby hlavně v mezních stavech. Další položkou je energetický diagram toku energie, kde je přehledně zobrazeno množství vyrobené energie, spotřeby a posílání přebytků do distribuční sítě. V záložce simulace je našim zájmovým bodem hlavně množství roční vyrobené energie a procentní využití energie pro vlastní spotřebu. Toto jsou hlavní údaje pro poskytnutí dotace NZÚ. Ve finanční analýze naopak zajímá investora roční úspora nákladů a nejvíce doba zvratu. Jedná se o dobu, kdy se vrátí investované prostředky do pořízení systému.

5.2 Projektová dokumentace

Uvažovaný fotovoltaický systém bude instalován na stávající rodinný dům. Tím pádem se bude posuzovat jako technické zařízení stavby. Dle § 79 odst. 6 stavebního zákona nevyžadují rozhodnutí o umístění stavby ani územní souhlas. Pokud provedeme umístění na základě územního souhlasu nebo územního rozhodnutí není nutné oznámení stavebnímu úřadu a ani kolaudační souhlas. I když provedení instalace nevyžaduje vydání územní souhlasu nebo územního rozhodnutí zpracoval jsem projektovou dokumentaci pro tento stupeň. Zpracování jsem provedl z důvodu pozdějšího využití této dokumentace v dalších případech a modifikacích, kdy může být vydání územního souhlasu potřeba.

5.2.1 Podmínky splnění dotačního titulu v podoblasti C.3.

Podmínky poskytnutí výše uvedené dotace jsou následující:

- maximální výkon fotovoltaického systému nesmí být vyšší jak 10 kWp – našem případě je výkon systému 3,66 kWp – odpovídá podmínkám,
- týká se pouze nových systémů propojených s distribuční soustavou – jedná se o nový systém napojený na distribuční soustavu – odpovídá podmínkám,
- systém musí být umístěn na stavbě, popř. stavbě náležící k rodinnému domu – systém je umístěn na střeše rodinného domu – odpovídá podmínkám,
- měnič musí mít minimální účinnost 94 % a technologii pro sledování bodu maximálního výkonu s minimální účinností přizpůsobení 98 %, v případě tzv. „hybridního měniče“ se připouští účinnost minimálně 92 % – účinnost hybridního měniče Fronius Symo Hybrid 4.0-3-S je deklarována 97,9 % – odpovídá podmínkám,
- minimální účinnost je pro panely a moduly složené z mono a polykrystalických článků 15 % a pro tenkovrstvé amorfní články 10 %, bez požadavku pro fotovoltaické střešní krytiny a fasádní systémy a jiné než plošné kolektory – účinnost panelů Suntech STP305S je udávána 18,6 % – odpovídá podmínkám,
- pro účely se kapacita baterií neuvažuje ponížena o vliv vybíjecích cyklů, musí být zohledněna maximální hloubka vybíjení a zajištěna dlouhodobá životnost – splněno – odpovídá podmínkám,
- míra využití energie pro krytí spotřeby v místě spotřeby musí být alespoň 70 % z celkového teoretického zisku. Celkový zisk zohledňuje všechny atributy systému a určuje se přesným výpočtem nebo zjednodušeně ze špičkového instalovaného výkonu systému – doloženo výpočtem v programu PV*SOL – odpovídá podmínkám,
- systém musí zajistit v závislosti na aktuální spotřebě elektrické energie automatické řízení, primárně se kryje okamžitá spotřeba a akumulace přebytků – zajištěno pomocí Fronius smart meter – odpovídá podmínkám.

5.2.2 Minimální rozsah projektové dokumentace

V dotačních podmínkách je stanoven minimální rozsah projektové dokumentace. Dokumentace musí obsahovat technickou zprávu a výkresovou část.

Technická zpráva obsahuje popis navrhovaných opatření a jejich odůvodnění. V případě návrhu fotovoltaické elektrárny musí být uveden popis zajištění splnění požadavků požární bezpečnosti dle vyhlášky č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb.

Výkresová část projektové dokumentace obsahuje minimálně:

- půdorys střechy, na které bude systém umístěn. Znázorňující umístění fotovoltaických panelů s uvedením jejich sklonu a orientace vůči světovým stranám, zakreslením stínících překážek. Dále budou schématicky znázorněny rozvody, výkres bude okótován a bude obsahovat popisovou legendu jednotlivých prvků – tyto výkresy jsou součástí projektové dokumentace,
- zjednodušené schéma fotovoltaického systému s uvedením základních komponent a jejich vzájemného propojení a propojení s hlavními rozvaděči, ochrannými a regulačními prvky a napojením na distribuční síť – toto schéma je součástí projektové dokumentace,
- identifikace, zda se jedná o jednofázový nebo třífázový rozvod – identifikace je součástí technické zprávy projektové dokumentace.

S přihlédnutím na výše uvedené požadavky zpracovaná projektová dokumentace splňuje veškeré požadované specifikace bez výhrad. Je tedy zpracována dle požadavků NZÚ.

5.2.3 Výpočtový program

Požadavky na simulační program pro hodnocení fotovoltaického systému jsou následující:

- výpočet bude proveden dle dlouhodobých statistických klimatických dat zvolené lokality, data musí být podrobnější než nastavený časový krok programu,
- výpočet využití zisků ze solárního systému ke krytí spotřeby musí zohledňovat nesoudobost spotřeby a proměnlivost výroby elektrické energie během dne v závislosti na slunečním ozáření a podmínkách stínění a dalších významných vlivech. Musí tedy pracovat s hodinovým časovým krokem nebo kratším,
- musí být možné zadat typický průběh spotřeby elektrické energie,
- pokud je instalován řídicí systém umožňující inteligentní řízení dalších spotřebičů, lze k tomuto přihlédnout při stanovování denního průběhu spotřeby a dosáhnout vyššího podílu vlastní spotřeby,
- výpočet musí zohledňovat úroveň nabití baterie a její přípustnou mez vybití, akumulace tepla do teplé vody bude vycházet ze skutečného počtu členů domácnosti a dle ČSN EN 15316-3-1.

Pokud je pro podoblast vydán zjednodušený výpočtový nástroj na webových stránkách programu, lze provést vyhodnocení v něm, není nutné používat simulační software. Jako výpočtový program byl zvolen software PV*SOL, který je brán jako standard pro zpracování odborného posudku pro administraci podpory NZÚ.

5.2.4 Způsob stanovení typického průběhu denní spotřeby energie

U novostaveb či staveb, kde nejsou data dostupná, se stanoví hodnoty odborným odhadem s ohledem na vybavení objektu elektrickými spotřebiči.

Stanovení křivky denního průběhu je vhodné provést samostatně pro spotřebiče s nejvyšším podílem na celkové spotřebě elektrické energie. Je třeba stanovit předpokládané okamžiky zapínání, průměrný příkon a dobu chodu. Pokud by byl krok kratší, než je krok simulačního programu, lze více intervalů sloučit do jednoho delšího.

Ostatní drobné elektrospotřebiče instalované v objektu se zpravidla zjednodušeně započítávají do odběru jako konstantní celodenní odběr odpovídající průměrnému celkovému příkonu těchto spotřebičů.

S ohledem na požadované vybavení fotovoltaického systému automatickým řízením na základě aktuální spotřeby elektrické energie musí být v hodnocení uvedeno, které spotřebiče budou na tento systém napojeny a doporučení dalších spotřebičů s možností odloženého startu vhodných k napojení.

5.2.5 Jednotlivé části projektové dokumentace

Projektová dokumentaci jsem zpracoval dle podmínek a předepsaného členění vyhlášky č. 499/2006 Sb. Rozsah je uveden v příloze č. 1 této vyhlášky. Projektová dokumentace obsahuje následující části, ty jsou modifikovány pro použití v návrhu fotovoltaického systému:

- Dílčí část A – průvodní zpráva
- Dílčí část B – souhrnná technická zpráva
- Dílčí část C – Výkresová část
 - Situační výkres širších vztahů
 - Katastrální situační výkres
 - Koordinační situační výkres
 - Celkový situační výkres
- Dílčí část D – Textová část
 - Technická zpráva
 - Výpočty energetické bilance
 - Tabulky návratnosti variant
 - Technické listy zařízení
 - Grafická část
 - Situace rozmístění FVE na střeše objektu
 - Pozice jednotlivých panelů FVE
 - Rozmístění nosné konstrukce FVE
 - Řez umístěním panelů
 - Situace zapojení stringu
 - Umístění střídače, rozvody v objektu
 - Výkres hromosvodu
 - Přehledové schéma FVE
- Dílčí část E – Dokladová část
 - Informace o parcelách dotčených stavbou
 - Soupis a požadavky majitelů nemovitostí dotčených stavbou
 - Jednotlivé souhlasy dotčených majitelů
 - Soupis a stanoviska vlastníků veřejné technické infrastruktury
 - Kopie vyjádření vlastníků technické infrastruktury
- Dílčí část F – Rozpočtová část
 - Výkaz výměr

5.2.6 Vlastní řešení

Vlastní zpracování projektové dokumentace jsem řešil pomocí následujících kroků řešení. Toto řešení je má osobní zkušenost, pokud by dokumentaci zpracovával zkušený projektant v oblasti projektování fotovoltaických systémů, který má zažité povědomí o problematice a dostupných výrobcích, řešeních a provedení byla by časová náročnost menší.

V popisu nebudu uvádět studium dotačních titulů a jejich podmínek, absolvované školení fotovoltaický expert, přípravné školení pro profesní kvalifikace elektromontér fotovoltaických systémů a studium jednotlivých komponent. Následuje popis kroků nutných k vypracování projektové dokumentace:

- Osobní jednání s investorem za účelem vyjasnění možností, zaslání stavebních podkladů a průkazu energetické náročnosti budovy.
- Obhlídka místa, zhodnocení přístupových cest a pořízení fotodokumentace na místě. Zhodnocení průběhu zastínění v dotčeném místě. Zjištění způsobu připojení na distribuční soustavu.
- Prohlídka rodinného domu, zhodnocení prostorové rezervy v instalovaném hlavním domovním rozvaděči. Prohlídka střechy, zjištění použité krytiny a ověření umístění střešních latí. Zhodnocení průběhu budoucí trasy vedení ze střechy do místa umístění střídače a k hlavnímu domovnímu rozvaděči. Prohlídka stávajícího elektroměrového rozvaděče.
- Konzultace s investorem za účelem stanovení profilu spotřeby rodinného domu. Stanovení spotřeby tepelného čerpadla na základě měření. Doporučení instalace měřicího zařízení. Dále projednání uvažovaných variant i s ohledem na dotaci NZÚ.
- Vypracování zátěžových diagramů denní spotřeby na základě konzultace s investorem. Výpočet roční spotřeby elektrické energie pro zařízení instalovaná v rodinném domě a pro tepelné čerpadlo.
- Analýza globálního úhrnu záření a ročního výnosu uvažovaného systému. Prvotní návrh velikosti uvažovaného fotovoltaického systému. Stanovení velikosti systému s ohledem na maximální využití vyrobené energie s cílem minimálních přetoků do distribuční sítě.
- Výběr vhodných prvků jednotlivých variant uvažovaných systémů na základě jejich referencí, ceny, uživatelského rozhraní a dostupnosti.
- Návrh a simulace uvažovaných variant v simulačním programu PV*SOL. Ověření správnosti návrhu jednotlivých variant. Návrh zpracován pro každou variantu.
- Výpis veškerých prvků použitých v uvažovaných systémech vč. jejich ceny. Sestavení výkazu výměr pro jednotlivé varianty návrhu.
- Dodefinování cenové náročnosti jednotlivých variant do programu PV*SOL. Finanční analýza systému a analýza návratnosti.
- Stažení dat z portálu ČÚZK, JD TM a komplety stavebních podkladů. Nastudování dostupných pokladů. Zjištění dotčených parcel a zajištění souhlasu majitele s provedením stavby.
- Provedení projektové dokumentace dle výše uvedeného seznamu.
- Kontrola projektové dokumentace, její tisk a záloha.
- Prezentace projektové dokumentace investorovi.

Celkový popis vypracování projektové dokumentace je nad rámec diplomové práce. Pro simulaci byl použit již dříve zmíněný simulační software PV*SOL a pro zpracování výkresů byl použit program Microstation a AutoCad.

6 Porovnání a zhodnocení energetických a ekonomických parametrů

V následující kapitole jsem provedl zhodnocení energetických a ekonomických parametrů na uvažovaných variantách provedení fotovoltaického systému instalovaného na referenčním rodinném domě. Z provedené simulace variant v programu PV*SOL a vypracované projektové dokumentace, která obsahuje i oceněný výkaz výměr a výpočet návratnosti jsem provedl níže uvedené závěry. Zhodnotil jsem vzájemné výhody a nevýhody jednotlivých řešení a provedl jejich vzájemné porovnání. V poslední části jsem provedl ekonomické zhodnocení variant, tak aby měl investor objektivní podklady pro své rozhodnutí.

6.1 Porovnání energetických parametrů

V rámci zpracování diplomové práce a projektové dokumentace jsem uvažoval čtyři varianty provedení systému. V následujících bodech je proveden jejich rozbor z hlediska energetických parametrů a technického provedení.

6.1.1 Varianta A

Jako první byla provedena analýza varianty A. Tato varianta počítá se stávajícím stavem využití energie v rodinném domě. Nepředpokládá jakýkoliv způsob změny. V rámci splnění cíle energetického průkazu náročnosti budovy bylo rozhodnuto o zvolení systému vytápění pomocí tepelného čerpadla s akumulačním zásobníkem pro ohřev teplé užitkové vody. Toto řešení bylo doporučeno pro splnění nároků pro zařazení rodinného domu do kategorie budovy se zvýšenou energetickou nezávislostí. Varianta je tedy brána v úvahu jako referenční a nepočítá s náklady na pořízení tepelného čerpadla s akumulací. Pro tento typ vytápění je nicméně možno získat dotaci v programu Nová zelená úsporám, a to včetně dotace na stavbu rodinného domu.

V rámci varianty A je tedy počítáno pouze se spotřebou elektrické energie odebrané z distribuční sítě na pokrytí veškerých potřeb rodinného domu. Odebraná energie je počítána v objemu **8 211,98 kWh/rok** při využití distribuční sazby D57d, která je vhodná pro tepelné čerpadlo a využívá tarif nízké sazby 22 hodin denně. Jako doporučení pro zvolení toho řešení bych volil doplnění systému o solární termické panely, které budou v letním období suplovat ohřev teplé užitkové vody pro rodinný dům a lze nimi pokrýt potřebu obnovitelné energie.

6.1.2 Varianta B

Varianta B byla posuzována jako řešení vhodné ke snížení energetické náročnosti rodinného domu a celkového účtu za elektrickou energii. Hlavním cílem je stanovení rovnováhy mezi spotřebou energie rodinného domu v zimních měsících a jejím krytím pomocí vhodné dimenze fotovoltaického systému a tím také omezení přetoků do distribuční sítě v letním období.

Instalací uvažované fotovoltaické elektrárny o velikosti 3,66 kWp klesne spotřeba rodinného domu o **1 716 kWh/rok** a celková odebraná elektrická energie bude v objemu **6 647 kWh/rok**. Dojde tedy k úspoře 20,89 % za odběr elektrické energie a dále budou do distribuční sítě dodány přebytky v objemu **2 352 kWh/rok**.

Jako energetické řešení by byla tato varianta vhodná pouze v situaci, kdy by investor požadoval větší energetickou nezávislost. Dále pokud by došlo k výrazné optimalizaci systému spotřeby, tak aby nedocházelo k nežádoucím přetokům elektrické energie zpět do distribuční sítě. Toho lze docílit instalováním wattrouteru, lépe instalací inteligentního systému elektroinstalace. Systém by byl schopen v určité míře řídit chod spotřebičů na základě jejich odloženého startu (například pračka, sušička, myčka atd.) a tím docílit větší vlastní spotřeby v období vysoké výroby elektrické energie. Dalším doporučením je instalace klimatizačních jednotek v případě realizace bazénu u rodinného domu instalace tepelného výměníku. Tyto spotřebiče by v letních měsících spotřebovaly pro vychlazení rodinného domu a ohřev bazénu nevyužitou energii. Navíc varianta není použitelná k využití dotačního titulu, protože neobsahuje žádnou akumulaci.

6.1.3 Varianta C

Systém s částečnou akumulací přebytků elektrické energie do zásobníku teplé užitkové vody byl deklarován, jako varianta C. Cílem této varianty je využití dotace v programu Nová zelená úsporám v titulu C.3.4 a tím snížení investiční náročnosti uvažovaného řešení. V rámci této varianty došlo k doplnění uvažované fotovoltaické elektrárny o wattrouter, který řídí časový chod uvažovaného akumulčního zásobníku. Zásobník pro akumulaci jsem zvolil typ NADO v2 500/140. Objem topné vody v nádrži je 475 litrů a objem zásobníku pro ohřev TUV je 140 litrů. Tím dojde ke splnění podmínek dotačního titulu. Tímto jednoduchým a levným řešením dojde ke zvýšení vlastní spotřeby elektrické energie s tím, že v letních měsících lze tepelné čerpadlo úplně vypnout. Uvažovaný zásobník disponuje i ohřevem teplé užitkové vody a tím lze pokrýt spotřebu rodinného domu v letním období bez potřeby elektrické energie pro ohřev vody z distribuční sítě. Chod byl nastaven v čase od 10:00 do 15:00 hodin, kdy je výroba elektrické energie nejvyšší a spotřeba elektrické energie v rodinném domě z důvodu nepřítomnosti obyvatel minimální.

Instalaci uvažované fotovoltaické elektrárny ve variantním řešení C klesnou dodávky přebytků do distribuční sítě na **1 004 kWh/rok**, což je více jak o polovinu oproti variantnímu řešení B. Tím docílíme větší vlastní spotřeby rodinného domu.

Jako v minulém případě bylo investorovi dále doporučeno systém doplnit o instalaci inteligentního systému elektroinstalace. Tak aby bylo docíleno optimální řízení spotřeby elektrické energie v průběhu dne. Pokud by byla instalována klimatizace, nebo ohřev bazénu lze tuto potřebu pokrýt v letních měsících pomocí instalovaného systému. V případě nedostatečné dimenze fotovoltaické elektrárny z hlediska krytí technologií, lze systém jednoduše rozšířit instalací dodatečných panelů na střeše rodinného domu. Na toto řešení je systém připraven. Z hlediska cenové náročnosti a návratnosti jsem tuto variantu investorovi doporučil jako vhodnou. Tuto variantu lze jednoduše doplnit o bateriový systém a tím zvýšit celkovou soběstačnost a míru pokrytí.

6.1.4 Varianta D

Poslední variantou byla uvažována varianta D. Varianta splňuje podmínky dotace v titulu C.3.7 a využívá přebytky elektrické energie k nabíjení instalovaného bateriového úložiště. Tato varianta je finančně i technicky nejnáročnější. Jako bateriové úložiště jsem zvolil modul pro hybridní systémy složený z lithium-železo-fosfátových (LiFePo) baterií. Po průzkumu trhu a cenové výhodnosti byla zvolena baterie Fronus Solar Battery 6.0 kWh LiFePo. Tato baterie splní i požadavky na NZÚ s podmínkou minimální měrné kapacity 1,25 kWh na instalovaný kWp. Cílem řešení je optimalizace využití vyrobených přebytků elektrické energie pro nabíjení baterie a její následné využití v období, kdy

k výrobě nedochází. Tím co možná nejvíce pokryt vlastní spotřebu rodinného domu v období, kdy je energie potřeba. Zejména v odpoledních a nočních hodinách po příchodu obyvatel domů.

Instalací uvažovaného systému dojde k poklesu spotřeby rodinného domu na **5 608 kWh/rok**, využití elektrické energie pro vlastní spotřebu na **2741 kWh/rok**. Dojde tedy k úspoře 30,7 % za odběr elektrické energie a dále budou do distribuční sítě dodány přebytky v objemu **1 143 kWh/rok**.

Jako v minulých variantách bylo investorovi dále doporučeno systémem doplnit o instalaci inteligentního systému elektroinstalace.

Tuto variantu jsem investorovi přednesl jako možnou. Varianta je nejvíce investičně náročná, současně ale poskytuje nejvyšší míru čerpání dotačního titulu a další výhodou je vysoká míra energetické soběstačnosti.

6.1.5 Alternativní varianty

Jako alternativní varianty řešení by bylo možné zmínit využití elektromobilu. Při jeho pořízení by investor mohl zbylé přebytky využívat pro jeho nabíjení. V tomto případě by byla optimalizací spotřeby využita bezesbýtku přebytečná vyrobené energie a jako bonus by investor jezdil v rámci pokrytí části svých cest zdarma. Otázkou je cenová výhodnost pořízení elektromobilu.

6.2 Porovnání ekonomických parametrů

V poslední kapitole diplomové práce jsem vyhodnotil vhodnost investice do pořízení fotovoltaického systému a její návratnost. Cílem je hlavně úspora nákladů na platby za elektrickou energii z distribuční sítě. U systému do roku 2013, kdy bylo možné využití tzv. „Zelého bonusu“ nás nemuselo tolik zajímat využití přebytků pro vlastní spotřebu, protože cena vykupované energie byla vysoká. V dnešní době se jedná pouze o marginální příjem, který ve své podstatě nehraje roli. Během provozu fotovoltaického systému musíme počítat také s dodatečnými náklady. Jedná se o pravidelné revize (jednu za 4 roky), dále je nutné uvažovat s výměnou střídače, akumulární nádrže a baterie.

Veškeré dostupné informace byly zadány do simulačního programu PV*SOL. Výstupy z tohoto programu jsou popsány v jednotlivých bodech. Detailní výpočty a výstupy z programu jsou součástí projektové dokumentace a *přílohou č. 4* diplomové práce.

6.2.1 Doba životnosti

Jedná se o předpokládanou dobu životnosti instalovaného systému. Kvalitně navržený systém s ověřenými komponentami může bez dodatečných nákladů pracovat 20 let. Tuto dobu lze dosáhnout řádnou údržbou a prováděním předepsaných revizí. V dnešní době, kdy klesla cena panelů, tvoří hlavní část pořizovacích nákladů střídač a baterie. Panely mají deklarovanou životnost 25 let. U střídače a baterie se uvádí v literatuře přibližná životnost 15 let. Z uvedených důvodů je vhodné, aby byla celková návratnost systému kolem 15 let, kdy dochází k výměně zásadních a nejdražších částí systému. V rámci simulace jsem v programu PV*SOL zadal posuzovanou dobu 40 let. Ta reprezentuje maximální dobu životnosti systému.

6.2.2 Provozní náklady

Jedná se o roční provozní náklady, které zajišťují finanční pokrytí potřeb pro provoz instalovaného fotovoltaického systému. Je zde započítáno pojištění elektrárny ve výši 0,1 % investičních nákladů. Dále výdaje na drobné opravy, údržbu, mytí, chod zařízení a revize. Výše ročních provozních

nákladů jsem zadal v programu PV*SOL jako odchozí roční platby ve výši 0,5% pořizovací ceny uvažovaného systému.

6.2.3 Roční náklady na elektrickou energii

Dle situace na trhu není snadné odhadnout budoucí cenu elektrické energie. Největší podíl na ceně má cena silové elektřiny. Konzervativní odhady zvyšování elektrické energie odhadující její růst 3 % ročně. Tato hodnota byla zadána jako proměnná do simulace v systému PV*SOL. Čistý odhad ušetřených nákladů na platbu elektrické energie byl stanoven pomocí dostupného kalkulátoru na webových stránkách ERÚ. Detail výpočtu je *přílohou č. 5* diplomové práce. Dále budou shrnuty pouze finanční úspory v rámci jednotlivých variant.

- varianta A – celková roční platba – **32 073,98 Kč/rok**
- varianta B – celková roční platba – **27 978,46 Kč/rok**
- varianta C – celková roční platba – **26 962,26 Kč/rok**
- varianta D – celková roční platba – **23 568,92 Kč/rok**

Z hlediska uspořené náklady na elektrickou energii je nejvýhodnější varianta D, kdy lze ušetřit roční náklady ve výši **8 505,06 Kč/rok**. Což představuje **26,52 %** úspory nákladů. Varianty B a C jsou nákladově podobné. Je to dáno hlavně hlediskem využití přebytků, kdy je v rámci varianty C jejich využití větší.

6.2.4 Náklady na realizaci

Náklady na pořízení jednotlivých variant byly stanoveny na základě oceněného výkazu výměr, který je součástí projektové dokumentace. V nákladech jsem započítal veškeré nutné prvky včetně montáže, revize a zprovoznění zařízení.

- varianta A – celková cena počáteční investice – **bez nákladů**
- varianta B – celková cena počáteční investice – **210 376 Kč**
- varianta C – celková cena počáteční investice – **181 828 Kč**
- varianta D – celková cena počáteční investice – **238 372 Kč**

Rozdíl v ceně mezi variantou B a C, i když je ve variantě C obsažena akumulace je zapříčiněna využitím dotace a tím pádem výslednou nižší cenou systému. S ohledem na tuto skutečnost se vyplatí o variantě B neuvažovat. Je ve výsledku dražší.

6.2.5 Výhodnost investice

Výhodnost investice je určena pomocí průměrných ročních čistých zisků a celkovými náklady na pořízení investice. Dle simulačního programu PV*SOL jsou míry výhodnosti do pořízení fotovoltaického systému následující:

- varianta B – míra výnosnosti – **1,9 %**
- varianta C – míra výnosnosti – **6,04 %**
- varianta D – míra výnosnosti – **3,64 %**

S ohledem na výhodnost investic jako jsou například státní dluhopisy, fondy a další prostředky finančního investování, které mají průměrnou výnosnost 1,5 %, je míra výhodnosti do fotovoltaického

systemu příznivá. Navíc investor získává další bonus v podobě vlastní částečné energetické nezávislosti na distribuční síti.

6.2.6 Návratnost investice

Zjištění návratnosti jednotlivých variant je počítán pomocí cash flow, do které byl připočítán jak faktor účinnosti fotovoltaických panelů. Ten jsem nastavil na 0,5 % ročně. Dále je nutné započítat diskontní sazbu, ta byla zadána 3 %. Dále se počítají provozní náklady, ty jsem nastavil na 0,5 % investiční ceny systému ročně. Kumulovaný diskont peněžních toků jsem vypočítal na dobu 40 let. Výsledkem je čistá současná hodnota investice pro každý uvažovaný rok. V simulačním programu je výhodné používat nástroj finanční analýza, kde jsou zobrazeny hlavní údaje pro rekapitulaci finančních toků. [19]

- varianta B – bod zvratu – zhodnocení investice – **více jak 40 let**
- varianta C – bod zvratu – zhodnocení investice – **20,3 let**
- varianta D – bod zvratu – zhodnocení investice – **29,8 let**

V souvislosti s těmito výsledky je vhodné doporučit pouze variantu C. Varianta D se z hlediska návratnosti jeví jako nevýhodná. To je způsobeno hlavně vysokou pořizovací cenou bateriového úložiště. V rámci tohoto zjištění lze doporučit následující řešení. Vyšší optimalizace vlastní spotřeby elektrické energie, nižší pořizovací cena fotovoltaického systému. Kdy se pořizovací náklady na konkurenční systémy pohybují výrazně níže. Otázkou je kvalita použitých komponent, použitého řešení a plnění záruk.

S ohledem na výše uvedené výsledky byl proveden průzkum ceny pro obdobně dimenzovaný fotovoltaický systém ve variantě C a D. V programu PV*SOL byly vstupní podmínky ponechány, pouze byla změněna cena. Tím dojde k hrubému odhadu parametru návratnosti.

- S-power MAXI+ - velikost 3,66 kWp, akumulátor 4,8 kWh – cena 132 000 Kč – vypočtená simulovaná návratnost – **17,2 let**
- Solidsun akumulace – velikost 3,66 kWp, bojler – cena 101 000 Kč – vypočtená simulovaná návratnost – **11,6 let**
- Solidsun baterie – velikost 3,66 kWp, akumulátor 7,1 kWh – cena 222 000 Kč – vypočtená simulovaná návratnost – **28 let**
- Solární experti baterie – velikost 3,58 kWp, akumulátor 5,8 kWh – cena 130 000 Kč – vypočtená simulovaná návratnost – **16,9 let**
- BCE akumulace – velikost 3,66 kWp, bojler – cena 99 000 Kč – vypočtená simulovaná návratnost – **11,4 let**
- BCE baterie – velikost 3,66 kWp, akumulátor 4,8 kWh – cena 129 000 Kč – vypočtená simulovaná návratnost – **16,8 let**

Na následujících příkladech je možné konstatovat následující. Jediná výhodná varianta v souvislosti s návratností investice s ohledem na dobu životnosti hlavních komponent je varianta s využitím přebytků pro ohřev teplé vody.

Závěr

Diplomová práce zpracovává ve své první části problematiku rozdělení a popisu budov s velmi nízkou energetickou náročností. Je zde popsán legislativní rámec, definice a standardy budov. Dále jsem zpracoval přehled legislativního rámce pro provozování fotovoltaických systémů, jejich umístění, povolování a připojování do distribuční sítě. Také jsem provedl základní popis rozdělení fotovoltaických systémů. V rámci diplomové práce jsem zpracoval popis projektování ochrany fotovoltaických systémů před bleskem a přepětím. Poslední částí před zpracováním projektové dokumentace je rozbor dotačních příležitostí pro fotovoltaické systémy. Následuje samotný návrh a dimenzování fotovoltaického systému a zpracování projektové dokumentace.

Splnění cílů diplomové práce

Cílem diplomové práce bylo zpracovat projektovou dokumentaci budovy se zvýšenou energetickou nezávislostí. V první řadě jsem se musel seznámit s problematikou budov se zvýšenou energetickou nezávislostí a legislativou pro provozování fotovoltaických systémů. Dále bylo nutné provést rozbor dotačních příležitostí pro fotovoltaické systémy a zorientovat se v jejich problematice. Musel jsem si osvojit práci v simulačním programu PV*SOL a zorientovat se v problematice návrhu a montáže fotovoltaických systémů. Tento program a problematika je natolik komplexní, že bylo nutné absolvovat akreditované školení. Tímto školením jsem ze strany ČFA získal status „Fotovoltaický expert“. Dalším předpokladem pro zpracování projektové dokumentace je zpracování autorizovanou osobou. Autorizační zkoušky jsem absolvoval v průběhu roku 2018.

Hlavním cílem diplomové práce bylo zpracování projektové dokumentace. Projektovou dokumentaci jsem zpracoval pro referenční rodinný dům. Je zpracována jako variantní pro porovnávání varianty B až C. Proto jsem vyhotovil kompletní projektovou dokumentaci pro všechny varianty, kterou lze následně i využít pro podání žádosti o územní souhlas. Výstupem projektové dokumentace je i oceněný výkaz výměr a dokumentace splňuje minimální požadavky na dokumentaci stanovené v programu NZÚ.

Výsledky a přínos diplomové práce

Výsledkem diplomové práce je projektová dokumentace pro uvažované varianty řešení. S ohledem na směrnici Evropského parlamentu a Rady č. 2010/31/EU, která upravuje energetickou náročnost budov je nutné, aby po 1. lednu 2020 nově postavené domy splňovaly požadavky na budovy se zvýšenou energetickou nezávislostí. Tímto požadavkem bude nutné čím dál více uvažovat o zdroji obnovitelné primární energie. Za tento zdroj lze považovat fotovoltaické systémy.

V rámci projektové dokumentace jsem zpracoval variantní řešení A až D. S tím, že varianta A byla uvažována jako stávající stav. Cílem bylo zhodnotit, zda se za stávajících podmínek a cen elektrické energie vyplatí investice do malých střešních fotovoltaických systémů. Tím snížit jak celkový účet za elektrickou energii, tak zvýšit svoji energetickou soběstačnost. Dalším cílem je doporučit investorovi vhodné řešení.

Pro vhodný návrh fotovoltaického systému je v první řadě nutné stanovit spotřebu elektrické energie v rodinném domě. Tento krok jsem zpracoval po osobním jednání s investorem stavby a konzultaci o zvyklostech chodu rodiny. Bohužel se jedná o novostavbu, a tudíž není k dispozici rozsáhlejší měření průběhu spotřeby, tak ani roční účet za elektrickou energii. Zpracoval jsem tedy

kvalifikovaný odhad celkové roční spotřeby a jejího průběhu. Hlavním obsahem návrhu je stanovení vhodné velikosti fotovoltaického systému, tak aby nedocházelo ke zbytečným přetokům do distribuční sítě. Správnost řešení jsem také posléze ověřil v simulačním programu PV*SOL. Také tím, že systémy této velikosti nabízejí i prodejci a realizátoři fotovoltaických elektráren.

Dále jsem stanovil komponenty a provedení celého fotovoltaického systému i s ohledem na reference komponent, dobu jejich celkové životnosti, uživatelského komfortu, servisních a záručních podmínek. Výstupem dokumentace je i oceněný výkaz výměr. Ten byl použit pro finanční analýzu jednotlivých variant. Hlavní komponenty jsem zvolil od společnosti Fronius International GmbH. V rámci simulačního programu PV*SOL jsem provedl pro jednotlivé varianty návrh a samotnou simulaci. Je nutné najít kompromis mezi nerovnoměrnou výrobou systému v průběhu roku. V zimních měsících, kdy je vysoká spotřeba na vytápění je výroba systému nízká, a naopak v letních měsících, kdy spotřeba klesá je výroba energie nejvyšší. Tento problém lze okrajově řešit optimalizací spotřeby.

Pro navrhovaný systém byly také stanoveny právní povinnosti dle platné legislativy a provedena smlouva o připojení. Na základě výše uvedených skutečností jsem zpracoval projektovou dokumentaci, která je navržena dle podmínek a předepsaného členění vyhlášky č. 499/2006 Sb. a minimálních požadavků na projektovou dokumentaci stanovenou v dotačních podmínkách NZÚ. Tuto dokumentaci lze využít k administraci dotace a pro vydání územního souhlasu.

Pro určení doby návratnosti jsem vypočítal cash flow, diskontované a kumulované cash flow. Ve chvíli, kdy přejde cash flow do kladných hodnot, je investice splacena. Bohužel doba návratnosti nenastala u žádné z navrhovaných variant. Z hlediska návratnosti investice do uvažovaných systémů jsem doporučil investorovi systém, který využívá přebytky k ohřevu teplé vody. Tento systém je nejvíce rentabilní a využitelný. Z hlediska akumulace energií do baterie nelze považovat řešení za ekonomicky výhodné a dostupné. Cena bateriových systémů je v současné době stále vysoká. Nicméně je nutné zohlednit vzhledem k ceně vyšší podíl energetické soběstačnosti. Návratnost se také odvíjí od ceny instalace a sjednané sazby elektrické energie. Mé řešení je svoji finanční náročností na hranici rentability s ohledem na dobu návratnosti. Lze tedy konstatovat, že i přes vývoj, propagaci, zlevnění a zjednodušení legislativního rámce fotovoltaických systémů, nelze výstavbu z hlediska zisku stavbu malé fotovoltaické elektrárny na střeše rodinného domu doporučit.

Možnosti dalšího zaměření

Možností dalšího zaměření bych osobně viděl v návrhu komplexního systému pro rodinné domy. Tento systém by obsahoval fotovoltaický systém, který by byl v budoucnu připraven na připojení bateriového úložiště a využívání elektromobilu. Toto řešení bych volil s ohledem na klesající cenu bateriového úložiště. Dále by systém obsahoval inteligentní systém, který by řídil nejen elektroinstalaci v rodinném domě ale i optimalizaci spotřeby jednotlivých spotřebičů. Tím by byla docílena maximální míra vlastní spotřeby elektrické energie a systém by poskytoval uživatelům, jak komfort spojený s inteligentní domácností, tak automatické nastavení časových programů spotřebičů na základě predikce jejich spotřeby v závislosti na zvycích obyvatel domu. Tím by byl plně využit fotovoltaický systém i inteligentní elektroinstalace.

Seznam použité a studované literatury

- [1] 165/2012 Sb. *Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů*. [online]. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165>
- [2] 165/2012 Sb. *Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů*. [online]. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165>
- [3] 183/2006 Sb. *Stavební zákon*. [online]. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183>
- [4] 406/2000 Sb. *Zákon o hospodaření energií*. [online]. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406>
- [5] 458/2000 Sb. *Energetický zákon*. [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>
- [6] 501/2006 Sb. *Vyhláška o obecných požadavcích na využívání území*. [online]. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-501>
- [7] BRADSHAW, Vaughn. *Building control systems*. New York: Wiley, 1996, 601 s. ISBN 0-471-57378-7
- [8] ČSN EN 62305-1 ed. 2. *Ochrana před bleskem – Část 1: Obecné principy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 60 s. Třídící znak 341390
- [9] ČSN EN 62305-2 ed. 2. *Ochrana před bleskem – Část 2: Řízení rizika*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 84 s. Třídící znak 341390
- [10] ČSN EN 62305-3 ed. 2. *Ochrana před bleskem – Část 3: Hmotné škody na stavbách a nebezpečí života*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012, 138 s. Třídící znak 341390
- [11] ČSN EN 62305-4 ed. 2. *Ochrana před bleskem – Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 84 s. Třídící znak 341390
- [12] DAHLSVEEN, Trond a PETRÁŠ, Dušan. *Energetický audit budov*. Bratislava: Jaga, 1996, 323 s. ISBN 80-967095-9-3
- [13] DEHN + SÖHNE. *Lightning Protection Guide, 3rd updated edition as of December 2014*. 2014, 126 s. ISBN 978-3-9813770-1-9
- [14] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR SONNENEGIE. *Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects and engineers*. London, 2018, soubor tisků. ISBN 978-1-84407-442-6
- [15] *Energetické standardy budov – NZEB*. [online]. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie>
- [16] *FOTOVOLTAIKA metodická pomůcka Ministerstva pro místní rozvoj k umístování, povolování a užívání fotovoltaických staveb a zařízení*. [online]. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: https://www.mmr.cz/getattachment/5fea7bea-6918-422a-9ae8-4ca36019bf89/Metodika-fotovoltaika_srpen-2019.pdf.aspx?lang=cs-CZ&ext=.pdf

- [17] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6
- [18] HERZOG, Thomas. *Solar energy in architecture and urban planning*, Munich: Prestel, 1998, 215 s. ISBN 3-7913-1652-4
- [19] KISLINGEROVÁ, Eva. *Manažerské finance 2*. Praha: C. H. Beck, 2007, 745 s. ISBN 978-80-7179-903-0
- [20] KUTÁČ, Jiří. *Ochrana před bleskem a přepětím z pohledu soudních znalců*. Ostrava: SPBI, 2010, 186 s. ISBN 978-80-7385-081-4
- [21] *LEGISLATIVA fotovoltaiky - CNE Czech Nature Energy, a. s.* [online]. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/legislativa-fotovoltaiky/>
- [22] MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy pro bytové domy*. Profi a hobby, 2010, 136 s. ISBN 978-80-247-3503-0
- [23] MURTINGER, Karel. *Fotovoltaika elektrina ze slunce*. Praha: EkoWATT, 2007, 81 s. ISBN 978-80-7366-100-7
- [24] MURTINGER, Karel. *Úsporný rodinný dům*. Praha: Grada Publishing, 2013, 112 s. ISBN 978-80-247-4559-6
- [25] *Nová zelená úsporám – dotace pro úsporné bydlení*. [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/>
- [26] NOVÁKOVÁ, Helena. *Dokumentace ke správě obytné domu a provozu technických zařízení*. Praha: Polygon, 2006, 261 s. ISBN 80-7273-125-4
- [27] POČINKOVÁ, Marcela a ČUPROVÁ, Danuše. *Úsporný dům*. Brno: ERA, 2004, 183 s. ISBN 80-86517-96-9
- [28] *Pravidla provozování distribuční soustavy vč. platných příloh* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds/ppds-2019.html>
- [29] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada Publishing, 2010, 296 s. ISBN 978-80-247-3250-3
- [30] REMMERS, Karl-Heinz. *Velká solární zařízení: úvod k navrhování a provozu*. Brno: ERA, 2007, 315 s. ISBN 978-80-7366-110-6
- [31] THEMESSEL, Armin. *Solární systémy: návrhy a stavby svépomocí*. Praha: Grada Publishing, 2005, 116 s. ISBN 80-247-0589-3
- [32] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. Praha: Grada Publishing, 2012, 195 s. ISBN 978-80-247-3832-1
- [33] TYWONIAK, Jan.: *Nízkoenergetické domy: principy a příklady*. Praha: Grada Publishing, 2005, 193 s. ISBN 80-247-1101-X
- [34] VALEŠ, Miroslav. *Inteligentní dům*. Brno: ERA, 2006, 123 s. ISBN 80-7366-062-8
- [35] VAVERKA, Jiří. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. Nakladatelství VUTIUM, 2006, 648 s. ISBN 80-214-2910-0

Seznam příloh

Elektronická příloha na CD:

Příloha č. 1 – Kontrolní seznam pro výběr stanoviště	5× A4
Příloha č. 2 – Soubor aplikace Microsoft Exel s provedenými výpočty	
Příloha č. 3 – Protokol ze simulačního systému PVGIS	1× A4
Příloha č. 4 – Projektová dokumentace	
Novostavba rodinného domu v obci Sazovice – variantní návrh FVE elektrárny 3,66 kWp	
- Dílčí část A – průvodní zpráva	2× A4
- Dílčí část B – souhrnná technická zpráva	9× A4
- Dílčí část C – Výkresová část	
- Situační výkres širších vztahů	1× A4
- Katastrální situační výkres	1× A3
- Koordinační situační výkres	1× A3
- Celkový situační výkres	1× A3
- Dílčí část D – Textová část	
- Technická zpráva	39× A4
- Výpočty energetické bilance	57× A4
- Tabulky návratnosti variant	12× A4
- Technické listy zařízení	19× A4
- Grafická část	
- Situace rozmístění FVE na střeše objektu	1× A3
- Pozice jednotlivých panelů FVE	1× A3
- Rozmístění nosné konstrukce FVE	1× A3
- Řez umístěním panelů	1× A4
- Situace zapojení stringu	1× A3
- Umístění střídače, rozvody v objektu	1× A3
- Výkres hromosvodu	1× A3
- Přehledové schéma FVE	1× A2
- Dílčí část E – Dokladová část	
- Informace o parcelách dotčených stavbou	1× A4
- Soupis a požadavky majitelů nemovitostí dotčených stavbou	1× A4
- Jednotlivé souhlasy dotčených majitelů	2× A4
- Soupis a stanoviska vlastníků veřejné technické infrastruktury	1× A4
- Kopie vyjádření vlastníků technické infrastruktury	6× A4
- Dílčí část F – Rozpočtová část	
- Výkaz výměr	22× A4
Příloha č. 5 – Detail výpočtu platby za elektrickou energii	4× A4
Příloha č. 6 – Certifikát České fotovoltaické asociace	1× A4