

KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ
A HUMANITNÍCH VĚD

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V PRAZE



FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
OPTIMALIZACE VYUŽITÍ A NÁVRH
FOTOVOLTAICKÉHO ZDROJE
V MALÉM PRŮMYSLOVÉM
PODNIKU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2024

autor práce: Bc. MAREK ZEMAN

vedoucí práce: Ing. MARTIN BENEŠ, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Zeman Jméno: Marek Osobní číslo: 483874
Fakulta/ústav: Fakulta elektrotechnická
Zadávající katedra/ústav: Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd
Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Specializace: Management energetiky a elektrotechniky

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Optimalizace využití a návrh fotovoltaického zdroje v malém průmyslovém podniku

Název diplomové práce anglicky:

Optimization of PV Source Utilization in Small Industrial Enterprise

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište technologie FVE a jejich možnosti použití.
- 2) Proveďte rešerši legislativního rámce výstavby FVE.
- 3) Analyzujte provoz vybraného podniku a jeho energetiku.
- 4) Navrhněte varianty výstavby FVE a vytvořte výpočetní model.
- 5) Optimalizujte a vyhodnoťte uvažované varianty.

Seznam doporučené literatury:

Renberk Z.: Výpočet potřeby tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody. Tzbinfo [online] 2001.
Brealey R., Myers S., Allen F., Edmans A.: Principles of Corporate Finance, 14th edition, McGraw-Hill Education 2022, ISBN 1285074151.
Šubrt R.: Tepelné izolace v otázkách a odpovědích, Energy Consulting [online] 2004.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Martin Beneš, Ph.D. katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: 18.01.2024

Termín odevzdání diplomové práce: 24.05.2024

Platnost zadání diplomové práce: 21.09.2025

Ing. Martin Beneš, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem zadanou práci zpracoval samostatně s přispěním vedoucího práce. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citoval a uvádím je v příloženém seznamu použitých zdrojů.

V Praze dne

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu závěrečné práce Ing. Martinovi Benešovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a projevenou ochotu během konzultací prováděných za účelem vypracování této práce. Dále bych rád poděkoval vedení nejmenovaného podniku za spolupráci, projevenou vstřícnost a důvěru při poskytování požadovaných dat.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a vyhodnocením ekonomicky nejefektivnějšího systému fotovoltaického zdroje pro malý průmyslový podnik. Začátek práce je věnován technickému popisu technologií a jejich využití ve fotovoltaických systémech, načež navazuje kapitola s legislativním rámcem týkající se výstavby, provozu a připojení takového zdroje do distribuční sítě. V praktické části probíhá podrobná analýza vybraného podniku, a to hlavně z pohledu jeho energetiky. Následně jsou již navrženy potenciální varianty výstavby FV zdroje, konkrétně systém bez akumulace, s akumulací do bateriového uložení a s akumulací do otopné vody, pro které jsou dále vytvořeny technicko-ekonomické výpočetní modely. Na jejich základě se spolu s primárně zvolenými kritérii pro vyhodnocení ekonomické efektivity provádí optimalizační část, jejímž výsledkem jsou optimálně navržené FV systémy přinášející konkrétnímu podniku maximální ekonomický užitek. Na konci práce probíhá jejich porovnání a vyhodnocuje se celkově nejefektivnější varianta pro konečnou realizaci FV zdroje.

Klíčová slova:

akumulace energie, bateriové uložení, ekonomické vyhodnocení investic, energetické bilance, energetické úspory, fotovoltaika, fotovoltaický ohřev vody, fotovoltaický zdroj, povolenací řízení výstavby, tepelné ztráty, výroba elektrické energie

Abstract

This master's thesis focuses on designing and evaluating the most economically efficient photovoltaic system for a small industrial enterprise. The beginning of the work is devoted to the technical description of technologies and their use in photovoltaic systems, followed by a chapter on the legislative framework concerning the construction, operation, and connection of such a source to the distribution network. The practical part includes a detailed analysis of the selected enterprise, mainly from the perspective of its energy usage. Subsequently, potential variants of PV source are proposed, namely a system without storage, with accumulation into battery storage, and with accumulation into water heating, for which technical-economic computational models are created. Using these models and selected economic efficiency criteria, the optimization process is undertaken to design PV systems that maximize economic benefit for the specific enterprise. Finally, the systems are compared, and the most effective variant for the final implementation of the PV source is determined.

Keywords:

energy accumulation, battery storage, economic evaluation of investments, energy balances, energy savings, photovoltaics, photovoltaic water heating, photovoltaic source, construction permit procedure, heat losses, electricity generation

Obsah

1. ÚVOD	13
2. TECHNOLOGIE FV ZDROJE	14
2.1. FOTOVOLTAICKÉ PANELE.....	14
2.1.1. KONSTRUKCE FV PANEŮ	15
2.1.2. ROZDĚLENÍ DLE VÝROBNÍHO MATERIÁLU	16
2.2. STŘÍDAČE NAPĚTÍ.....	17
2.2.1. MAXIMUM POWER POINT TRACKER.....	17
2.2.2. PARAMETRY STŘÍDAČŮ	18
2.2.3. ROZDĚLENÍ STŘÍDAČŮ DLE POČTU FÁZÍ.....	20
2.2.4. SYMETRICKÉ A ASYMETRICKÉ STŘÍDAČE NAPĚTÍ	21
2.2.5. SOUČTOVÉ MĚŘENÍ A MĚŘENÍ PO FÁZÍCH	21
2.3. TOPOLOGIE ZAPOJENÍ	22
2.4. AKUMULACE ENERGIE.....	23
2.4.1. ELEKTRO-CHEMICKÉ AKUMULÁTORY	23
2.4.2. AKUMULACE DO VODY	26
2.5. FV SYSTÉMY	27
3. LEGISLATIVNÍ RÁMEC	30
3.1. NOVELA LEX OZE 1 A 2	30
3.2. POVOLOVACÍ ŘÍZENÍ PRO VÝSTAVBU.....	30
3.2.1. PŘECHODNÉ OBDOBÍ MEZI ZÁKONY	31
3.2.2. ŽÁDOST O POVOLENÍ PŘI VÝSTAVBĚ FV SYSTÉMŮ.....	32
3.3. UDĚLOVÁNÍ LICENCE A AUTORIZACE NA VÝROBU	33
3.3.1. AUTORIZACE.....	33
3.4. PŘIPOJENÍ FV SYSTÉMŮ DO DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY	34
3.5. PODPORA FOTOVOLTAICKÝCH ZDROJŮ PRO FIRMY	36
3.5.1. VÝZVY RES+	36
3.5.1. VÝZVA ÚSPORY ENERGIE.....	37
4. ANALÝZA VYBRANÉHO PODNIKU.....	39
4.1. DISPOZICE OBJEKTU.....	39
4.2. ELEKTRICKÁ ENERGIE	41
4.2.1. VYÚČTOVÁNÍ ZA ELEKTRICKOU ENERGIÍ	41
4.2.2. SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE	43
4.3. TEPELNÁ ENERGIE	45
4.3.1. SPOTŘEBA UHLÍ.....	46
4.3.2. TEPELNÉ ZTRÁTY A ROČNÍ POTŘEBA TEPELNÉ ENERGIE	46
4.3.3. CHARAKTERISTIKA OCHLAZOVANÝCH STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ.....	48
4.3.4. VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT	49
4.3.5. ROČNÍ POTŘEBA TEPELNÉ ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ.....	50
5. TECHNICKÁ ČÁST MODELU	52
5.1. BUDOUCÍ VÝVOJ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	52
5.1.1. ESKALACE SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	52
5.2. VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE	53
5.2.1. VSTUPNÍ DATA Z PVGIS.....	53
5.2.2. VÝPOČET VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE	53

5.3.	NÁVRH VARIANT VÝSTAVBY FV ZDROJE	54
5.3.1.	SYSTEM BEZ AKUMULACE ENERGIE	54
5.3.2.	SYSTEM S AKUMULACÍ DO BATERIE	54
5.3.3.	SYSTEM S AKUMULACÍ DO VODY	55
5.4.	VÝPOČET HODINOVÝCH POTŘEB TEPELNÉ ENERGIE	55
5.5.	VÝPOČETNÍ MODELY VARIANT	57
5.5.1.	SYSTEM BEZ AKUMULACE ENERGIE	57
5.5.2.	SYSTEM S AKUMULACÍ DO BATERIE	58
5.5.3.	SYSTEM S AKUMULACÍ DO VODY	60
5.6.	TECHNICKÉ PARAMETRY A CENY VYBRANÝCH KOMPONENT	63
5.6.1.	FOTOVOLTAICKÉ PANELE A KONSTRUKCE	63
5.6.2.	FOTOVOLTAICKÉ MĚNIČE	63
5.6.3.	BATERIE A BMS	64
5.6.4.	AKUMULAČNÍ NÁDRŽE A TOPNÉ JEDNOTKY	65
6.	EKONOMICKÁ ČÁST	66
6.1.	NACENĚNÍ INVESTIČNÍCH VÝDAJŮ	66
6.1.1.	MONTÁŽ	66
6.1.2.	OSTATNÍ INVESTIČNÍ VÝDAJE	66
6.2.	PROVOZNÍ VÝDAJE	67
6.2.1.	REVIZE	67
6.2.2.	ÚDRŽBA	67
6.2.3.	REINVESTICE	67
6.3.	DAŇOVÉ ODPISY	68
6.4.	DANĚ	68
6.5.	INFLAČNÍ MÍRA	69
6.6.	PREDIKCE CEN ENERGIÍ	70
6.6.1.	ELEKTRICKÁ ENERGIE	70
6.6.2.	TEPELNÁ ENERGIE	71
6.7.	STANOVENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVITY	72
6.7.1.	KRITÉRIA EKONOMICKÉ EFEKTIVITY	72
6.7.2.	DISKONTNÍ MÍRA	73
6.7.3.	PENĚŽNÍ TOKY	73
7.	VYHODNOCENÍ VARIANT	75
7.1.	VARIANTA BEZ AKUMULACE	75
7.1.1.	NALEZENÍ OPTIMÁLNÍCH PARAMETRŮ	75
7.1.2.	INVESTOVANÁ ČÁSTKA	76
7.1.3.	EKONOMICKÉ UKAZATELE INVESTICE	76
7.1.1.	UŽITKY PLYNOUCÍ Z NAVRŽENÉ VARIANTY	77
7.2.	VARIANTA S AKUMULACÍ DO BATERIE	78
7.2.1.	NALEZENÍ OPTIMÁLNÍCH PARAMETRŮ	78
7.2.2.	INVESTOVANÁ ČÁSTKA	79
7.2.3.	EKONOMICKÉ UKAZATELE INVESTICE	79
7.2.1.	UŽITKY PLYNOUCÍ Z NAVRŽENÉ VARIANTY	80
7.3.	VARIANTA S AKUMULACÍ DO VODY	81
7.3.1.	NALEZENÍ OPTIMÁLNÍCH PARAMETRŮ	81
7.3.2.	INVESTOVANÁ ČÁSTKA	82

7.3.3.	EKONOMICKÉ UKAZATELE INVESTICE	82
7.3.4.	UŽITKY PLYNOUCÍ Z NAVRŽENÉ VARIANTY	82
7.4.	CITLIVOSTNÍ ANALÝZY	84
7.4.1.	VÝŠE POČÁTEČNÍ INVESTICE	84
7.4.1.	ESKALACE VARIABILNÍ CENY ELEKTRINY	84
7.4.2.	POKLES VÝKUPNÍ CENY ELEKTRINY	85
7.4.3.	VÝŠE DISKONTNÍ MÍRY	86
7.4.1.	ZMĚNA SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE	87
7.4.2.	ESKALACE CENY UHLÍ	88
7.5.	CELKOVÉ VYHODNOCENÍ	88
7.5.1.	PŘEHLEDOVÁ TABULKA OPTIMÁLNĚ NAVRŽENÝCH VARIANT	89
7.5.1.	FINANCOVÁNÍ PROJEKTU	89
7.5.2.	VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	90
8.	ZÁVĚR	92
REFERENCE	94
SEZNAM OBRÁZKŮ	101
SEZNAM TABULEK	102
SEZNAM GRAFŮ	103

Seznam použitých zkratek

AC	střídavý
CA	citlivostní analýza
CF	peněžní tok (cash flow)
BMS	battery management system
DC	stejnoseměrný
DCF	diskontovaný peněžní tok (discounted cash flow)
DOD	hloubka vybití (depth of discharge)
DPH	daň z přidané hodnoty
ERÚ	Energetický regulační úřad
FV	fotovoltaický
FVE	fotovoltaická elektrárna
IRR	vnitřní výnosové procento (internal rate of return)
MPP	bod maximálního výkonu (maximum power point)
NN	nízké napětí
NPV	čistá současná hodnota (net present value)
NSZ	nový stavební zákon
OZE	obnovitelné zdroje energie
PI	index ziskovosti (profitability index)
PPDS	pravidla provozování distribuční soustavy
SOC	stav nabití (state of charge)
SSZ	starý stavební zákon
T_{DCF}	diskontovaná doba návratnosti
TDD	typové diagramy dodávek
TUV	teplá užitková voda
VN	vysoké napětí
VVN	velmi vysoké napětí
WACC	vážená cena kapitálu (weighted average cost of capital)

1. ÚVOD

V současném energetickém mixu se podíl energie z obnovitelných zdrojů čím dál více zvyšuje. Tento vývoj si lze vysvětlit především jako důsledek energetické politiky Evropské unie s cílem dosažení klimatické neutrality do roku 2050. K té by měla přispět také snaha o rozšíření decentralizovaných fotovoltaických zdrojů generujících elektrickou energii přímo v místě její spotřeby. Zároveň jsou současným technologickým pokrokem snižovány pořizovací výdaje těchto zdrojů, což spolu s nedávným růstem cen energií může představovat zvýšení ekonomické výhodnosti takové investice. Celková výhodnost instalace však závisí na mnoha faktorech charakterizujících objekt, kterému by měl FV zdroj sloužit, a dále také na případných vnějších vlivech. Právě to způsobuje mou motivaci k vytvoření této práce, jejímž cílem se stává návrh a vyhodnocení optimálního systému FV zdroje, který přinese vybranému podniku maximální ekonomický užitek.

V první části práce se budu zabývat popisem technologických částí fotovoltaického zdroje, jelikož považuji za vhodné se před návrhem seznámit s využívanými komponentami, jejichmi technickými parametry a také jejich výslednou rolí v celkově sestaveném systému. Takto získané znalosti představují jednu z klíčových podmínek pro adekvátní návrh variant, což může následně přispět ke zvýšené přesnosti dosažených výsledků.

S případnou instalací fotovoltaického zdroje se pojí také legislativní rámec stanovující právní předpisy, za kterých může být samotná výstavba realizována a provozována. V této části práce se zaměřím na povolovací řízení výstavby z pohledu nového Stavebního zákon č. 283/2021 Sb.. Ve stručnosti uvedu základní rozdíly oproti jeho starému znění, s čímž souvisí také aktuálně platné přechodné období mezi těmito zákony. Dále v legislativní části seznámím čtenáře s udělováním licencí, a to především v oblasti výroby elektrické energie, kdy se v nedávné době změnila výjimky z povinnosti o licenci požádat. Instalace elektrárny využívající sluneční záření vyžaduje také podání žádosti o připojení k distribuční soustavě. Této problematice a podpoře fotovoltaických zdrojů se budu zabývat v posledních dvou oddílech teoretické části.

Po nabytí teoretických znalostí se text závěrečné práce přesune k praktické aplikaci. Na jejím začátku provedu podrobnou analýzu vybraného podniku, a to jak z hlediska jeho energetiky, tak i celkového provozu. Díky ní mi bude umožněno provést vyhodnocení navržených variant FV zdroje na základě konkrétních vstupních dat, které udávají charakteristické vlastnosti objektu. Touto kapitolou si rovněž kladu za cíl představit podniku jeho energetickou náročnost, které se doposud podnik příliš nevěnoval.

V rámci další části práce již navrhu jednotlivé varianty fotovoltaických systémů, včetně vypracování a popsání jejich výpočetních modelů. Výsledkem těchto modelů budou dosažené energetické a ekonomické úspory v závislosti na parametrech, které ovlivňují jejich výši. Cíle této práce se dosáhne návrhem optimálních parametrů jednotlivých systémů, které budou mít za následek maximální ekonomický užitek příslušné investice. Na závěr proběhne porovnání optimálně navržených variant a vyhodnotí se nejefektivnější varianta pro konečnou realizaci FV zdroje pro vybraný podnik.

2. TECHNOLOGIE FV ZDROJE

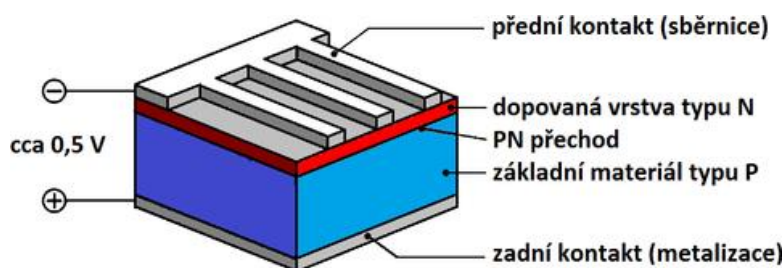
Před samotným návrhem výstavby FV zdroje pro konkrétní objekt se stává nutné seznámení se s využívanou technologií. Výběr součástek pro instalaci, na základě jejich technických vlastností, tvoří jeden z předpokladů správně fungujícího a navrženého systému, a proto by se výběru komponent měla věnovat patřičná pozornost. Pro tyto účely slouží následující kapitola zaměřující se na technický popis jednotlivých komponent a jejich využití pro návrh fotovoltaické elektrárny.

2.1. Fotovoltaické panely

Jednou z hlavních částí fotovoltaické elektrárny je fotovoltaický panel umožňující přeměnu energie ze slunečního záření na elektrickou energii s požadovanými hodnotami. Právě díky primárnímu zdroji energie, jímž je v tomto případě sluneční energie, se jedná o bezemisní zdroj s nevyčerpatelnou kapacitou.

K přeměně energie dochází ve fotovoltaických článcích, z nichž se skládá fotovoltaický panel a samotný princip takové přeměny je znám pod pojmem fotovoltaický jev. Jednotlivé články jsou tvořeny dvěma vrstvami polovodičového materiálu typu N a P, které se od sebe odlišují bilancí záporně nabitých elektronů. Ve vrstvě N jich je přebytečné množství oproti vrstvě P s jejich nedostatkem (vznik děr). Na předělu těchto dvou vrstev vzniká vyprázdňená oblast neboli potenciálová bariéra, která je důsledkem rekombinace volných elektronů a děr v určité šířce pásma. Tím je zapříčiněno, že tento přechod umožňuje průchod elektronů pouze z vrstvy typu P do vrstvy typu N. Když se fotony ze slunečního záření dostanou do kontaktu s vytvořenou strukturou a dodají elektronům dostatek energie k jejich uvolnění z krystalové mřížky materiálů a překonání potenciálové bariéry, začnou se takto uvolněné elektrony shromažďovat ve vrstvě typu N. To má za následek vznik stejnosměrného elektrického napětí na přechodu P-N.

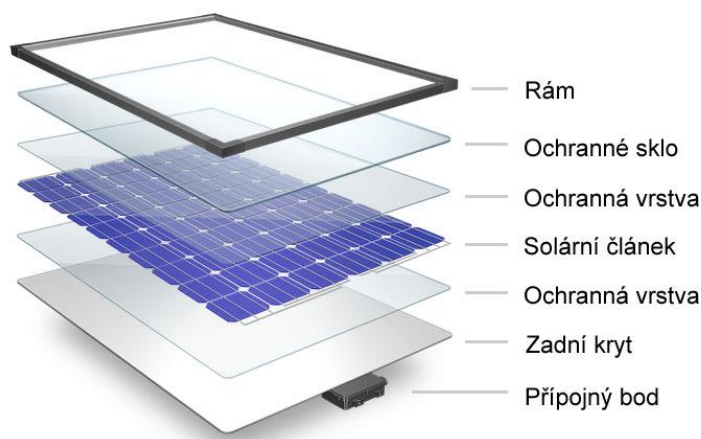
V současné době se valná většina fotovoltaických článků vyrábí z křemíku. Rozměry takového článku dosahují 12×12 cm nebo 10×10 cm a mohou generovat napětí okolo 0,5 až 0,6 V. Pro dosažení vyššího výstupního napětí z fotovoltaického panelu se jednotlivé články spojují sériově. K získání vyššího výstupního proudu je nutné články řadit paralelně. [1]



Obrázek č. 1: Fotovoltaický článek z křemíku [2]

2.1.1. Konstrukce FV panelů

Fotovoltaický článek plní hlavní funkci fotovoltaického panelu, avšak bez dalších konstrukčních prvků by nemohl být prakticky používán. K ochraně před vnějšími vlivy (např. krupobitím) jsou FV panely vybaveny **přední a zadní krycí vrstvou**. Na přední vrstvu se kladou vysoké nároky se co nejvyšší propustností světla k FV článkům a s tím spojené snížení odrazivosti. Z těchto důvodů je přední ochrana panelu vyráběna ve většině případů z temperovaného skla, ale lze se již setkat i s průhledným plastem. Pro zamezení odrazivosti může být tato ochranná vrstva vybavena antireflexní vrstvou nebo pro vytvoření drsnější struktury upravena procesem selektivního leptání. Zadní ochranná vrstva se vyrábí především z plastu typu polyvinylfluorid (PVF). Tento druh plastu je znám pod obchodním názvem Tedlar a vyznačuje se vysokou odolností vůči chemikáliím, UV záření a ostatním vnějším vlivům. Méně často se lze setkat se spodní ochranou vrstvou v podobě skla. Fotovoltaické články se neumísťují přímo mezi tyto dvě ochranné vrstvy, nýbrž se ještě po jejich vodivém pospojení obalí **laminační, průhlednou fólií** známou jako EVA (etylvinylacetát). Takto výše popsání vrstvy tvořící základní prvky FV panelu jsou kompaktně umístěny do většinou **hliníkového nebo duralového rámu** dodávající vzniklému modulu vyšší pevnost a odolnost. Na zadní straně panelu se dále nachází plastová krabička umožňující vzájemné pospojování FV panelů do jednotlivých stringů¹. Za účelem snížení ztrát výkonu panelu při jeho částečném zastínění nebo poruše FV článku se obvykle v krabičce nacházejí také **by-pass diody**. Každá z nich překlenuje určitou část sériově zapojených FV článků a v případě zastínění nebo poruchy umožňuje průchod proudu mimo tuto část. Tím nedochází k tak výraznému poklesu výkonu jako by tomu bylo bez přítomnosti diod. [2] [3]



Obrázek č. 2: Konstrukce FV panelu [4]

Výše napsaný text popisuje konstrukci fotovoltaického panelu využívaného v běžných FV systémech označovaných jako BAPV (Building Attached Photovoltaic). Tyto systémy svými vlastnostmi nikterak nezasahují do konstrukce či stavební části objektu a slouží pouze k výrobě elektrické energie. Dále existují FV systémy známé pod zkratkou BIPV (Building Integrated

¹ String neboli řetězec znamená část sériově propojených FV panelů, čímž dochází ke zvýšení napětí na vstupních svorkách střídače. Lze také použít pro nazvání sériově propojených FV článků.

Photovoltaic), které spolu s výrobou elektrické energie představují určitou část konstrukčního nebo stavebního řešení budovy (např. střešní krytinu nebo vnější vzhled budovy). Z toho důvodu musí být i konstrukce FV panelů pro systém BIPV odlišná než pro systém BAPV. [5]

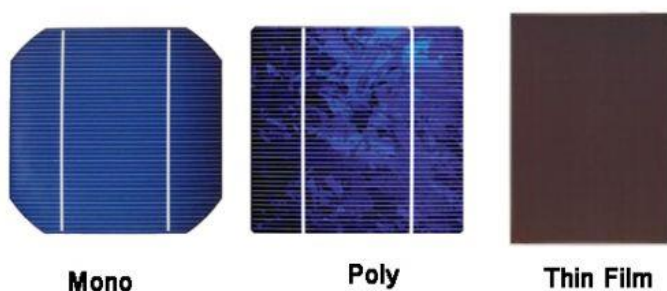
2.1.2. Rozdělení dle výrobního materiálu

Samotné fotovoltaické panely lze obecně rozdělit do celkem tří typů, a to dle materiálu fotovoltaických článků. Každý z nich má určité vlastnosti udávající výhody či nevýhody konkrétního typu panelu.

Křemíkové panely

V současné době se mezi nejpoužívanější typ řadí panely z **monokrystalického křemíku**, i přes to, že se jedná zpravidla o jeden z nejdražších typů panelů dostupných na trhu. Vyšší cena je dána energeticky a technologicky náročnou výrobou, v které se FV články získávají řezáním tenkých plátků z jednoho kusu křemíku. Při tomto procesu navíc vzniká nežádoucí množství odpadu křemíku způsobený jeho odřezky. Na druhou stranu se monokrystalické panely vyznačují vysokou účinností² pohybující se při optimálních podmínkách v rozmezí 16 až 24 %. [6]

Druhou možností jsou **polykrystalické panely**, jenž představují levnější typ oproti monokrystalickým panelům. To je způsobeno tím, že se polykrystalické články vyrábějí z více krystalů křemíku a pro jejich výrobu tak lze využít zbytky křemíku z výrobního procesu monokrystalických článků. Co se týče účinnosti, ta se u tohoto typu panelů pohybuje mezi 13 až 18 %. Dále díky své struktuře dokáží tyto panely lépe absorbovat i rozptýlené sluneční záření či sluneční záření dopadající z různých úhlů, což umožňuje rovnoměrnější využití jeho výkonu v průběhu celého dne. [6] [7]



Obrázek č. 3: Typy FV článků [8]

² Účinnost FV panelu se vypočte jako zlomek, kde se v čitateli nachází výstupní elektrický výkon z jednotky plochy a ve jmenovateli intenzita záření dopadající na tuto jednotku plochy. Účinnost FV článku bývá zpravidla o něco vyšší, jelikož se zde neuplatňují ztráty způsobené odrazem světla. [2]

Tenkovrstvé panely

Jak již název napovídá, tento typ FV panelů vzniká nanášením tenkých vrstev polovodivého materiálu na sklo, plast nebo kov, čímž je dána jejich výhoda spočívající v nízké hmotnosti a slabé tloušťce. Tenkou vrstvou může představovat slitina látek Kadmium-Telur (CdTe), Měď-Indium-Galium-Selen (CIGS) nebo nejvíce rozšířený amorfni křemík (amorfni FV panely). Nevýhoda tohoto typu spočívá v téměř poloviční účinnosti pohybující se kolem 11 %. Na druhou stranu tato účinnost vykazuje v porovnání s výše uvedenými typy panelů menší závislost na vzrůstající okolní teplotě a také dokáže absorbovat více světla z různých úhlu jeho dopadu. [7] [9]

Organické panely

Mezi poslední a zatím méně používaný typ fotovoltaických panelů se řadí moduly z organických FV článků. Pro jejich výrobu se od výše zmíněných typů nevyužívají atomy, ale malé molekuly např. ftalocyanin, pentacen nebo také polymery tvořící vrstvu typu P. Pro vrstvu typu N jsou typické deriváty perylenu nebo fullerenu, kde druhá zmíněná látka představuje molekuly uhlíku, jež zvyšují účinnost článků. Běžně používané organické moduly dosahují i přes to malé účinnosti, která se uvádí kolem 6 %. Nicméně do budoucna se počítá s jejich dalším vývojem slibující zvýšení účinnosti nad 10 %. Výhoda těchto modulu je v jejich relativně nízké ceně, flexibilitě, jež mohou dosahovat a také v možnosti použití výrobních látek, jimiž lze dosáhnout průhlednosti FV panelů. [10] [11]

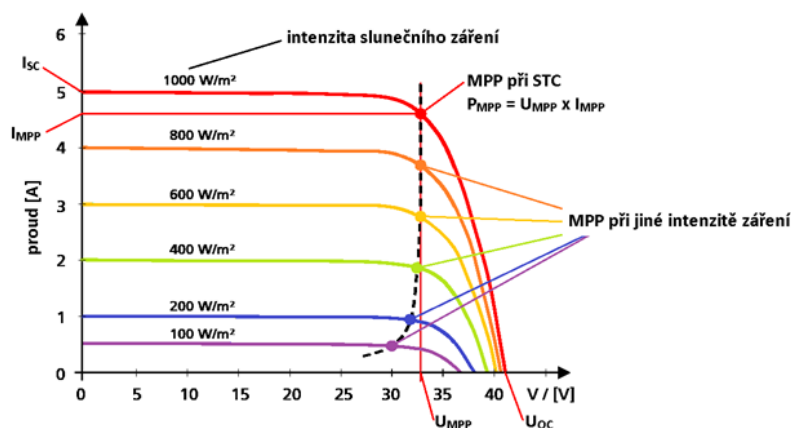
2.2. Střídače napětí

Po seznámení se s technologií fotovoltaických modulů přichází řada na druhou hlavní komponentu FV elektrárny, a to střídač neboli frekvenční měnič napětí či invertor. Ten je zodpovědný za transformaci stejnosměrné elektrické energie vyrobené ve FV panelech, resp. ve FV člancích na střídavý průběh, jehož formou je napájena většina domácích i jiných spotřebičů. Na starosti toho má však mnohem více než pouze transformaci napětí. Většina střídačů v současné době obsahuje systém obstarávající regulaci MPP (Maximum Power Point), která má na starosti maximalizaci dodávaného výkonu z FV modulů při změně intenzity slunečního záření. Dále mohou být střídače vybaveny kontrolou správného chodu celého systému, sběrem a dálkovým přenosem dat, či mnoha ochrannými prvky. V následující podkapitole budou tedy probrány nejdůležitější funkce a druhy fotovoltaických střídačů. [12]

2.2.1. Maximum Power Point tracker

Maximum Power Point tracker neboli MPP regulátor obstarává jednu z nejdůležitějších funkcí FV zdroje pro jeho maximální energetické využití. Tento regulátor udržuje optimální výkon zdroje prostřednictvím změny pracovního bodu dle okolních podmínek. V níže uvedeném grafu zobrazující AV charakteristiku FV článku v závislosti na světelných podmínkách se tyto pracovní body, v kterých je výkon maximální, nacházejí na čárkované křivce a nazývají se body MPP. Udržování pracovního bodu v oblasti MPP je zajišťováno změnou vstupního odporu zdroje, čímž se mění pracovní napětí a tím také požadovaná poloha pracovního bodu. Prvkem MPPT se tak

dosahuje zvýšené účinnosti celého systému, která nevykazuje výraznou závislost na intenzitě dopadajícího záření. [12]



Obrázek č. 4: AV charakteristika FV článku v závislosti na intenzitě slunečního záření [2]

Většina dnes dostupných napěťových střídačů již má tento MPP regulátor vestavěný, dokonce mohou disponovat větším počtem těchto regulátorů. Každý takový regulátor je poté určen dané skupině FV panelů připojených k tomuto střídači a tím probíhá změna pracovního bodu pro jednotlivé skupiny panelů zvlášť a dosahuje se ještě vyššího energetického využití. Některé střídače však MPP regulátorem nedisponují, a proto je nutné při výběru střídače zjistit, zdali jim daný typ disponuje či nikoliv, popřípadě v jakém rozsahu napětí lze tuto regulaci provádět. Na trhu se pak dají sehnat samotné MPP regulátory pro samostatné zapojení do systému.

2.2.2. Parametry střídačů

Spolu s počtem MPP regulátorů, kterými je měnič vybaven, se při jeho výběru měniče musí věnovat pozornost celé řadě dalších důležitých parametrů.

Účinnost

Jedním takovým parametrem se bezesporu stává účinnost měniče spojená s transformací stejnosměrného průběhu na vstupu na střídavý průběh na výstupu a případně přizpůsobením energie pro možnou akumulaci. V technické dokumentaci od výrobců se lze setkat s dvojitým označením účinnosti, a to maximální a EURO neboli evropskou účinností. Druhá zmíněná účinnost vykazuje nižší hodnotu, jelikož se získává jako průměrná hodnota účinností při různých stupních zatížení AC výkonem. [12]

Výkon, napětí a proud

Správný výběr střídače je podmíněn patřičným výkonovým dimenzováním. Pro stejnosměrnou část se udává nominální DC výkon, pro který je daný střídač navrhován. Tohoto výkonu by měl v běžném provozu dosahovat soubor vzájemně sérioparalelně pospojovaných FV panelů zapojených do střídače, přičemž by nemělo být převyšeno maximální dovolené DC napětí a proud. Se vstupní stranou střídače se následně pojí parametr maximálního povoleného DC

výkonu. Ten spolu s jmenovitým výkonem určuje možnou přetížitelnost měniče, které je možné dosáhnout bez toho, aniž by došlo k trvalému jeho poškození.

Podobné parametry, jako jmenovitý výkon, maximální výkon a maximální proud, se udávají i pro výstupní část z FV měniče. Na rozdíl od vstupních stejnosměrných parametrů se již jedná o střídavé veličiny označované jako AC. Dále se měniče rozlišují dle výstupní velikosti efektivní hodnoty napětí a frekvence.

Pro vyhovující návrh celého systému se může využít paralelního zapojení výstupních svorek stejných typů měničů, kdy do každého takového měniče vstupuje určitá část FV pole tvořeného FV panely. V některých technických listech se lze setkat s maximálním povoleným počtem paralelně zapojených měničů.

Počet ochran

Jednotlivé střídače napětí se od sebe mohou odlišovat množstvím zabudovaných ochran, pomocí kterých je samotný střídač spolu s ostatními prvky systému chráněn před různými elektrotechnickými jevy a stává se pro okolí více bezpečný.

Mezi nejčastější ochrany patří:

- Ochrana proti přepólování,
- Detekce izolačního odporu,
- Monitorování únikového proudu,
- Ochrana proti výstupnímu přetížení,
- Ochrana proti výstupním zkratům,
- Ochrana proti výstupnímu přepětí,
- Ochrana bateriového vstupu,
- Ochrana proti přehřátí,
- Anti – islanding ochrana³.

Speciální druh ochrany vykazují střídače s ochranným transformátorem. Ten slouží ke galvanickému oddělení stejnosměrné a střídavé části střídače, a to za cenu mírného snížení účinnosti. Pokud je v systému využíváno tenkovrstvých FV panelů, stává se dokonce nutné pořídit takovéto střídače s oddělovacím transformátorem.

Monitoring

Nespornou výhodou u FV měničů napětí může představovat možnost monitoringu týkající se informovanosti o aktuálním množství vyráběné elektrické energie a celkovém chodu fotovoltaického systému. Toto prostředí informuje obsluhu při vyskytnutí nepříznivých stavů způsobených některými z poruch ovlivňujících správnou funkci systému. Obsluha tak může začít řešit vyskytnutý stav neprodleně, oproti situaci, kdy by byla porucha zjištěna až po určitém čase

³ Anti – islanding ochrana slouží k zamezení zásobování elektrickou energií distribuční sítě při jejím výpadku.

při fyzické kontrole. K přenosu dat dochází buď kabelovým vedením v rámci objektu nebo bezdrátovým způsobem, v kterém se ve většině případů využívá možnosti připojení střídače k WIFI síti. Následně mohou být data zobrazována v mobilní či webové aplikaci. Při vyskytnutí poruch systému může být obsluha informována také pomocí SMS zprávy či emailu. [12]

Stupeň krytí a rozsah okolních teplot

Na základě zvolených prostorů pro umístění měniče by mělo být při výběru hleděno také na stupeň krytí, známý jako IP kód tvořený dvěma číslicemi. Ta představují odolnost krytu měniče vůči vniknutí pevných těles a vody do vnitřních částí.

V katalogových listech se uvádí také rozsah okolních teplot, v kterých by měl být střídač provozován. Obecně pro podobný typ zařízení platí doporučení instalovat je do chladnějšího prostředí, čímž nedochází k výraznému snížení účinnosti vlivem přehřívání. Umístěním zařízení do okolních teplot mimo stanovený rozsah může způsobit zvýšenou degradaci zařízení.

Hlučnost

Pokud se plánuje instalovat střídač do blízkosti míst, kde se běžně vyskytují osoby, neměla by být opomíjena ani hlučnost daného typu. Ta bývá dána právě chlazením střídače, které je důležité pro správný chod a udržení předepsané účinnosti. [13]

2.2.3. Rozdělení střídačů dle počtu fází

Počet fází při výběru střídače hraje klíčovou roli, jelikož na tom závisí celá funkce fotovoltaického zdroje. V tomto ohledu existují hlavní dva typy, a to jednofázové a třífázové střídače napětí.

Jednofázové střídače se využívají především v systémech, kde odběr elektrické energie probíhá v jedné fázi, nebo v systémech navržených tak, že je požadována dodávka vyrobené elektrické energie pouze do jedné fáze, přičemž celý elektrický rozvod je třífázový. Oproti očekávání mohou být jednofázové střídače využity i pro napájení celé třífázové soustavy, v které je ke každé fázi přidělen jeden takový invertor. I přes to, že jsou jednofázové střídače levnější oproti těm třífázovým, tak se většinou tento systém ze tří jednotlivých měničů nevyplácí. Navíc místo jednoho třífázového měniče se využijí tři jednotlivé komponenty, což může představovat další nevýhodu takto navrženého systému. [14]

Na trhu se lze také setkat se střídači pracující se dvěma fázemi, avšak tento typ střídače je spíše výjimkou, a proto se jimi tato práce nebude zabývat.

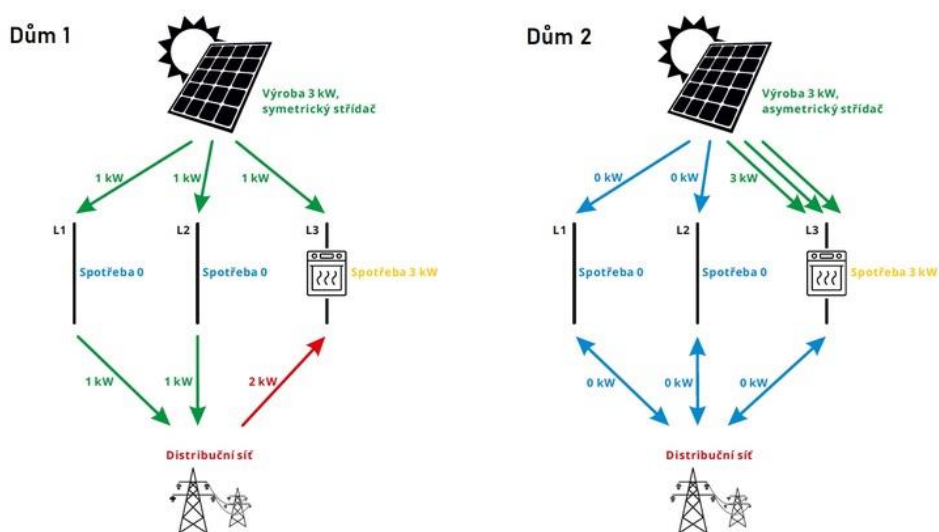
Jak již bylo zmíněno výše, nejvíce využívaných střídačů pracuje v třífázové soustavě rozvodů. Z toho důvodu jsou třífázové měniče napětí nejrozšířenějším typem, pomocí něhož lze dosahovat vyšších výkonů než u střídačů jednofázových. Rozšířením o další dvě fáze, s kterými střídač dokáže pracovat, nastává další rozdělení střídačů, a to na symetrické a nesymetrické.

2.2.4. Symetrické a asymetrické střídače napětí

Rozdíl mezi symetrickým a asymetrickým třífázovým střídačem spočívá v rozdělení vyrobené elektrické energie do jednotlivých fází, v kterých probíhá spotřeba energie. Symetrický měnič přiděluje každé fázi stejné množství vyrobené energie bez ohledu na výši spotřeby v dané fázi. Tedy pokud v určité fázi není zapojen žádný aktuálně využívaný spotřebič, vyrobená energie automaticky směřuje do distribuční sítě (platí pro systém bez akumulace energie), i přes to, že by se tato energie mohla uplatnit v jiné fázi, kde spotřeba převyšuje přidělenou vyrobenou elektrickou energii.

V případě asymetrického měniče lze hovořit, že s vyrobenou elektřinou nakládá „chytřeji“. Vyrobenou elektrickou energii totiž rozděluje s ohledem na aktuální spotřebu do jednotlivých fází soustavy, kdy může nastat situace přiřazení veškeré vyrobené elektřiny pouze do jedné fáze. To za podmínky, že ve zbývajících dvou fázích není spotřebovávána žádná energie a spotřeba ve zbylé fázi převyšuje celkovou výrobu. Kdyby celková vyráběná energie převyšovala spotřebovávanou energii v této jedné fázi a v ostatních fázích by nedocházelo k žádné spotřebě, tak by měnič plně pokrýval aktuální spotřebu a zbytek vyrobené energie by rozdělil do zbývajících fází, z kterých by přebytečná energie přetékala do sítě nebo do prvku sloužící k akumulaci energie.

Přerozdělení vyrobené elektrické energie do jednotlivých fází pomocí symetrického a asymetrického střídače zobrazuje následující obrázek.



Obrázek č. 5: Přerozdělení vyrobené elektrické energie symetrickým a asymetrických střídačem [15]

2.2.5. Součtové měření a měření po fázích

S problematikou výběru správného měniče napětí se pojí způsob měření elektrické energie pro vyúčtování za spotřebu v daném období. Princip součtového měření spotřeby objektu je v zásadě jednoduchý, jelikož se spotřeba objektu s FV výrobou vypočte jako rozdíl celkové spotřebované a vyrobené elektrické energie. Následně probíhá vyúčtování za takto zjištěnou spotřebu elektrické energie.

Pro konkrétní případ zjištění spotřeby pomocí součtového měření může být využit obrázek č. 5 s 3kW spotřebičem v jedné fázi a celkovou výrobou 3 kW. Se symetrickým měničem dochází v hodinovém intervalu k přetoku do sítě z dvou fází v celkové výši 2 kWh a z třetí fáze se odebírají 2 kWh pro možný chod spotřebiče. Celková zjištěná spotřeba objektu pro vyúčtování je tak nulová. S asymetrickým střídačem nedochází k žádnému přetoku energie do sítě ani odběru energie ze sítě, a tedy celková spotřeba objektu pro vyúčtování je též nulová. Z pohledu finančních toků tak vyplývá, že při součtovém měření nezáleží na tom, zdali se využije symetrický či asymetrický střídač napětí, ačkoliv z fyzického hlediska dochází k odlišnému zatěžování distribuční sítě. [15]

Měření spotřeby po fázích je založeno na zjišťování spotřeby pro vyúčtování v každé fázi zvlášť a záleží tedy na tom, kolik energie se spotřebovává v jednotlivých fázích rozvodu a do jakých fází se přivádí vyrobená elektrická energie. V tomto způsobu měření spotřeby elektrické energie pro vyúčtování již záleží, jaký typ střídače je v objektu použit. Vliv rozdílu při použití asymetrického a symetrického měniče napětí na celkově zjištěné spotřebě objektu pro vyúčtování bude pro jednoduchost popsáno na základě situace plynoucí z obrázku č. 5.

Připomeňme, že spotřeba 3 kWh se odehrává na třetí fázi a celkově se vyrábějí také 3 kWh. V případě použití asymetrického střídače je situace jednodušší, jelikož veškerá vyrobená elektrická energie se dodá do fáze se spotřebou a z pohledu sítě a měření nedochází k žádnému odběru nebo přetoku. Podobně jako v případě součtového měření je bilance spotřeby pro vyúčtování takového systému nulová a subjekt neplatí za dodávku elektrické energie.

Rozdíl nastává při použití symetrického střídače, jenž vyrobenou elektrickou energii rozděluje rovnoměrně do všech třech fází. Při tom dochází z prvních dvou fází k přetokům do sítě ve výši 2 kWh, za něž probíhá vyúčtování zvlášť a subjekt tak prodává tuto energii za výkupní cenu. Avšak ve stejném časovém intervalu musejí být do objektu dodány 2 kWh pro spotřebu odehrávající se ve třetí fázi. Za tuto dodanou energii musí subjekt zaplatit tržní cenu elektriny, která zpravidla převyšuje výkupní cenu. Z toho vyplývá, že do sítě dodal množství energie, jakou mohl sám spotřebovat, avšak ji dodal za nižší cenu, než za kterou ji musí následně koupit. Úspora je v tomto případě nižší než při použití asymetrického střídače, což může způsobit výrazné zhoršení ekonomické návratnosti projektu, a to i přes nižší cenu symetrických střídačů napětí. [15] [16]

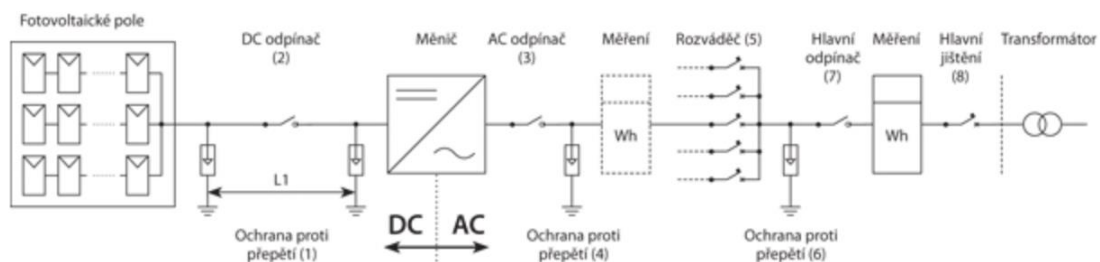
2.3. Topologie zapojení

Po uvedení dvou hlavních komponent, které jsou součástí každého fotovoltaického zdroje, je užitečné se alespoň okrajově seznámit s topologií elektrického zapojení těchto komponent s příslušnými ochrannými přístroji. Pro názornost zde bude popsán systém FV elektrárny zapojené do distribuční sítě.

Do části rozvodu od měniče napětí k poli FV modulů se umísťuje stejnosměrný odpínač proudu, podobně jako na výstupní část měniče, kam se instaluje odpínač na střídavý průběh. Odpínače se využívají v okamžicích údržby určité části systému. Místo stejnosměrného odpínače lze použít

pouze odpojovač, avšak za podmínky technického zajištění předřadného vypnutí odpínače ve střídavé části obvodu. Tím se zajistí, že odpínaná stejnosměrná strana rozvodu bude vždy bez připojené zátěže, tedy bez procházejícího proudu. Hlavní odpínač FV zdroje se instaluje mezi rozvaděč a hlavní měření elektrické energie, za kterým se nachází již hlavní jištění celého rozvodu.

Celý FV systém je následně vybaven větším počtem ochran proti případnému přepětí. Tyto ochrany se umísťují paralelně se zemí do částech rozvodu mezi rozvaděčem a hlavním odpínačem, rozvaděčem a střídavým odpínačem a následně mezi měnič a FV pole. Posledně zmíněná část může být vybavena i dvěma ochranami proti přepětí, a to v situaci dlouhého kabelového propojení.



Obrázek č. 6: Topologie zapojení fotovoltaického zdroje [17]

Odpojovačem, jištěním a pojistkami mohou být vybaveny i jednotlivé řetězce FV panelů tvořících FV pole. To za účelem ochrany před poruchovým stavem, při kterém by mohly následkem zkratového proudu vzniknout zpětné proudy ohrožující FV panely. Navíc by zkratový proud mohl vlivem tepelného přetížení poškodit příslušné kabely. Způsob ochrany popsané v tomto odstavci by se měl používat při zapojení třech a více řetězců. [17]

2.4. Akumulace energie

2.4.1. Elektro-chemické akumulátory

V současné době představuje akumulace elektrické energie do elektro-chemických akumulátorů nejvyužívanější způsob, jakým dochází k ukládání přebytečné vyrobené energie z FV zdrojů. Tuto elektrickou energii lze následně spotřebovat v dobách převyšující spotřeby objektu nad výrobou a nemusí být tak nedostatečné množství nakupováno za tržní ceny ze sítě. Přímé uchování elektrické energie může představovat výhodu v podobě zvýšené soběstačnosti a snížení závislosti na externích zdrojích, což zvyšuje bezpečnost dodávky tak klíčové komodity, jakou je elektrická energie. Na druhou stranu se z důvodu vysokých pořizovacích nákladů nemusí zařízení bateriového uložení vždy ekonomicky vyplatit. Záleží tak na konkrétních vlastnostech objektu, pro něž se zařízení tohoto uložení zvažuje.

Na trhu se objevuje nepřeberné množství různých akumulátorů, čímž se může výběr optimální varianty jevit jako komplikovanější. Z toho důvodu se budou následující řádky práce věnovat popisu dvou nejdůležitějších parametrů, a to kapacitě a životnosti.

Kapacita

Kapacita udává, kolik elektrické energie v sobě dokáže baterie naakumulovat. Kapacita baterií se vyjadřuje buď v jednotkách watthodin (Wh) nebo ampérhodin (Ah), přičemž je důležité si uvědomit, že tyto jednotky si nejsou ve velikosti rovny, a tedy 1 Wh se nerovná 1 Ah. Kapacitu v jednotkách Ah lze chápat jako hodnotu proudu, kterou by bylo možné z baterie odebírat či do ní dodávat po dobu jedné hodiny. Při kapacitě baterie 10 Ah je tak teoreticky možné odebírat 10 A po dobu jedné hodiny nebo 5 A po dobu dvou hodin. Kapacita v jednotkách Wh se vztahuje k možnému dodávanému výkonu po určitou dobu. Ze známého vztahu pro výkon, rovnému součinu proudu a napětí, tak vyplývá, že oproti jednotce Ah se zohledňuje i napětí, při kterém k vybíjení či nabíjení dochází.

Životnost

Za konec životnosti se ve většině případů považuje stav baterie, kdy její celková kapacita klesne pod 80 %. Na trhu se lze setkat s dvojitým typem udávání životnosti baterií. V první možnosti se jedná o délku životnosti udávanou v jednotkách let, přičemž je tato doba garantována při splnění stanovených podmínek a dodržování optimálních provozních hodnot. Při reálném, každodenním vybíjení a nabíjení baterií je velmi obtížné zajistit takové podmínky, a proto se musí stanovená životnost v letech, nazývána kalendářní, chápat spíše jako orientační, s velkou mírou možné tolerance dosahující jednotek let. Kalendářní životnost se používá především u baterií sloužících jako záložní zdroje, kdy se parametry udržují v předepsaných mezích snadněji. [18] [19]

Oproti klasicky vyjadřované životnosti v letech se velmi často v technických listech baterií uvádí životnost v počtech cyklů nazývaná cyklická životnost. Ta již respektuje míru každodenního využívání typickému provozu baterie v kombinaci s FV zdrojem.

U cyklické životnosti se také uvádí hloubka vybití známá pod zkratkou DoD (Depth of Discharge). Tento parametr určuje, jaké procentuální množství elektrické energie se odebralo z plně nabitě baterie. Ve spojitosti s životností stanovuje, do jaké míry je možné kapacitu baterie využívat, aby dosáhla uvedené životnosti v cyklech. V tomto případě se za jeden cyklus chápe jedno vybití elektrické energie o velikosti DoD. Například výrobce ve svém katalogu udává životnost 6000 cyklů při DoD 80 %. Z toho lze očekávat, že pokud bude využíváno nejvýše 80 % energie z celkové kapacity a nebude probíhat hluboké vybíjení akumulátoru, tak by životnost měla činit přibližně 6000 takovýchto cyklů. Při využívání větší části kapacity, než je doporučená hodnota DoD, se životnost rapidně snižuje. [20]

Pro úplnost uvedeme i často používanou zkratku SoC, jenž se vztahuje k aktuálnímu stavu nabití baterie. Obecný vztah mezi SoC a DoD je tak následující: $SoC + DoD = 100 \%$. [20]

Kromě hloubky vybití, kterého je při provozu baterie dosahováno má na její životnost vliv provozní a okolní teplota. Ačkoliv vyšší pracovní teplota napomáhá efektivnějšímu využívání kapacity, tak se doporučuje udržovat baterií při teplotách v rozmezí od 15 °C do 35 °C. Při jiné provozní teplotě dochází ke zvýšené míře její degradace a zvýšení samovybíjení. Ke zvýšení pracovní teploty přispívají i vysoké hodnoty nabíjecích a vybíjecích proudů. Odhaduje se,

že zvýšením teploty o 10 °C dochází ke dvojnásobnému zvýšení rychlosti samovybíjení, vyjma vysokoteplotních typů baterií. Jejich pracovní teplota se může pohybovat i kolem 300 °C. [18]

TYP BATERIE	ODHADOVANÉ SAMOVYBÍJENÍ
Primární lithium-kov baterie	10 % za 5 let
Alkalická baterie	2-3 % každý rok
Olověná baterie	10-15 % za 24h, poté 10-15% každý měsíc
Lithium-iontová baterie	5 % za 24h, poté 1-2% každý měsíc (+ 3% s BMS)

Tabulka č. 1: Očekávané samovybíjení různých bateriových systému [21]

Battery Management System

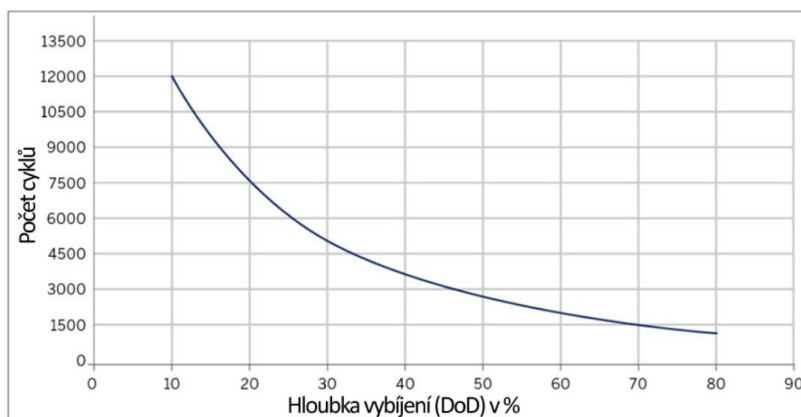
Správnou funkci baterií zajišťuje prvek nazývaný Battery Management System (BMS), kterým by mělo být vybaveno každé bateriové uložení. BMS se buď nachází v rámci modulu poskytujícího akumulaci elektrické energie nebo ho lze pořídit k bateriovému systému samostatně. Proto by se při výběru baterie mělo vždy hledět, zdali daný bateriový systém disponuje vestavěným BMS či je nutné ho pořídit zvlášť.

Zkráceně BMS obstarává následující:

- Sledování a řízení elektrických parametrů (napětí, proudy, energie v jednotlivých článcích baterie, vnitřní impedanci článků),
- Ochranu akumulátoru,
- Monitorování pracovní teploty,
- Monitorování SoC, DoD a kondice baterie,
- Komunikace s ostatními prvky systému. [22]

Technologie akumulátorů

Olověné akumulátory: Instalace olověných akumulátorů pro skladování elektrické energie z fotovoltaických elektráren byla typická především na počátku rozvoje fotovoltaiky. Jejich využívání pokračuje i v dnešních dobách, a to především díky jejich nízké ceně, odolnosti proti přebíjení a snadné recyklaci. V porovnání s ostatními typy baterií vykazují poměrně nízkou cyklickou životnost, a to s nízkou hloubkou vybití. Obecně se při jejich používání nedoporučuje překračovat 50% hloubku vybití, s čímž se pojí fakt, že je možné využívat jen polovinu nominální kapacity. Další nevýhodou je jejich vysoká hmotnost a nutnost zajištění větrání prostorů, v kterých se nacházejí, jelikož při své funkci produkují výbušnou směs vodík-kyslík. [19] [24]



Obrázek č. 7: Závislost cyklické životnosti olověné baterie na hloubce vybití [24]

Lithiové akumulátory: V současnosti se baterie na bázi lithia staly pravděpodobně nejrozšířenějším typem baterií pro FV zdroje, a to i přes jejich vyšší cenu. Svými vlastnostmi odstraňují nevýhody olověných baterií, tedy vykazují poměrně vyšší cyklickou životnost a umožňují hlubší hloubku vybití, z čimž se pojí vyšší využití jmenovité kapacity.

Další výhody spočívají v následujících bodech:

- nižší hmotnost,
- absence nutnosti větrání prostorů,
- vyšší energetická hustota,
- vyšší vybíjecí a nabíjecí proudy,
- odolnost vůči kolísání teplot.

V oblasti FV zdrojů se nejčastěji využívají baterie na bázi Lithium-Železo-Fosfát (zkratka: LiFePO_4). Dále se na trhu nachází celá řada baterií na bázi lithia vhodných pro fotovoltaiku. Nejčastěji se jedná o baterie s chemickým složením Lithium-Mangan oxid (LMO), Lithium-Nikl-Mangan-Kobalt oxid (NMC), Lithium-Nikl-Kobalt-Hliník oxid (NCA), Lithium-Titanát (Li_2TiO_3). [19] [23]

2.4.2. Akumulace do vody

Další možnost pro uchování přebytečné energie vyrobené fotovoltaickými systémy je akumulace energie do teplé vody. Oproti elektro-chemickým akumulátorům, v kterých je možné uchovávat přímo elektrickou energii pro její pozdější spotřebu, se v tomto způsobu akumulace jedná spíše o nepřímé uchování energie. To z důvodu, že se pro budoucí spotřebu neuchovává samotná vyrobená elektrická energie, nýbrž se tento druh energie nevratně transformuje na energii tepelnou. Z pohledu pořizovací ceny systému s akumulací se jedná o levnější variantu než v případě pořízení bateriového uložistě. I přes levnější způsob akumulace energie je vždy nutné zvážit, zdali v objektu existuje možnost efektivně využívat dané množství získané tepelné energie vedoucí k energetickým či ekonomickým úsporám.

Pro akumulaci tepelné energie ve formě ohřáté vody se využívají akumulární nádrže. Ty mohou být k dostání bez možnosti přípravy teplé užitkové vody (zkratka TUV) a slouží tak k uchování pouze teplé vody pro otopný systém. Přední český výrobce Družstevní závody Dražice-strojírna s.r.o., dále jen Dražice, tento typ zásobníků nabízí v mnoha variantách, jejichž objemy se pohybují od 50 do 2000 litrů. [25]

Druhý typ akumulárních nádrží umožňuje ohřev TUV, případně teplé vody, a to buď pomocí průtokového výměníku nebo odděleného vnitřního zásobníku. Podobně jako u předešlého druhu firma Dražice nabízí mnoho variant akumulárních nádob s ohřevem TUV, a to s celkovým objemem nádrží od 320 do 1000 litrů a možností přípravy TUV v zásobníku o objemu 140 l, případně teplé vody o objemu od 20 do 37 litrů. [26]

Topné jednotky

Za účelem uložení přebytečné energie se k ohřátí vody v akumulárních nádržích využívají elektrické topné jednotky, v kterých probíhá výše zmíněná přeměna vyrobené elektrické energie na energii tepelnou. Při jejím výběru se především hledí na její příkon a také na kompatibilitu s pořízenou akumulární nádobou. Firma Dražice ve svém sortimentu nabízí topné jednotky od 2 kW až do 15 kW.

Regulační jednotka

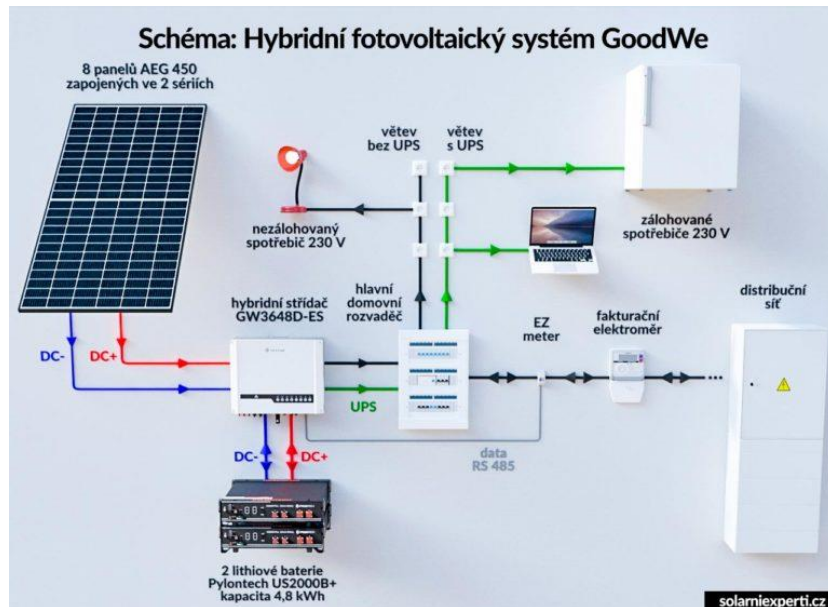
K tomu, aby pro ohřev vody byla využívána pouze přebytečná elektrická energie z fotovoltaického zdroje je nutné instalovat další prvek, a to regulační jednotku. Bez ní by v případě nedostatečné výroby z FV zdroje docházelo k napájení topných jednotek z distribuční sítě. S ohledem na účel využití ohřevu spočívající v akumulaci přebytečné energie by se tak jednalo o velmi nežádoucí efekt.

Dále regulační jednotka umožňuje sledování provozních stavů systému, ovládání spotřebiče, resp. jeho sepnutí a vypnutí v daných časech. Při nedostatku vyrobené energie je možné přepnout i na odběr ze sítě. S tím se pojí také funkce měření spotřebované energie řízeným spotřebičem z vlastního zdroje a ze sítě, případně měření přetoků elektrické energie do sítě. [27]

2.5. FV systémy

Po seznámení se s jednotlivými hlavními komponentami FV zdrojů se práce zaměří na popis základních FV systémů, které se od sebe liší uspořádáním komponent a možností připojení k distribuční síti. Nebudou zde tedy popisovány systémy lišící se od sebe napětíovou hladinou či počtem fází rozvodu. Výběr mezi uvažovanými systémy může záležet na preferencích investora, jenž se rozhodl pro výstavbu zdroje nebo může být volba systému podmíněna okolním stavem. Například objekt pro instalaci nedisponuje elektrickou přípojkou k distribuční síti a není tak možné zvolit jiný systém než ostrovní.

k přetokům do sítě. Uložená energie následně slouží k pokrytí spotřeby v čase nedostatečné výroby, což přináší vyšší energetické úspory než v situaci prodeje veškerých přebytků do sítě. Hybridní systém tak zvyšuje soběstačnost a nezávislost na dodávkách elektrické energie ze sítě, a zároveň není plně závislí pouze na své výrobě. [31]



Obrázek č. 9: Příklad uspořádání hybridního systému [32]

3. LEGISLATIVNÍ RÁMEC

Součástí práce zabývající se výstavbou nového fotovoltaického zdroje, se mimo vypracování technicko-ekonomické části respektující charakter a vlastnosti objektu, stává nutné seznámení se s právním rámcem výstavby. Splnění veškerých právních předpisů totiž tvoří nedílnou podmínku vedoucí ke zdárné realizaci navrženého projektu. Cílem této kapitoly je poskytnout přehled daného legislativního prostředí, které se týká výstavby a provozu fotovoltaického zdroje, připojení ho do distribuční sítě a aktuálně vypsányými dotačními tituly.

3.1. Novela LEX OZE 1 a 2

Vzhledem k požadavkům na rozvoj energetiky, především v oblasti obnovitelných zdrojů, vyšly v platnost dvě klíčové novely zákonů, známé jako LEX OZE 1 a LEX OZE 2. První zmíněná novela vyšla v platnost dne 24.1.2023, a to jako zákon č.19/2023 Sb., který svým zněním upravil mimo jiné *Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích* (dále jen Energetický zákon). Novela měla také dopad na *Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (Stavební zákon)*, později nahrazen zákonem č. 283/2021 Sb. Stavební zákon účinným od 01.01.2024. S LEX OZE 1 se pojí především zjednodušení a zrychlení procesů při výstavbě obnovitelných zdrojů. Mimo jiné tím, že se hranice pro nutné udělení licence pro výrobu posunula z tehdejších 10 kW na 50 kW instalovaného výkonu. Dále tato novela zařadila obnovitelné a nízkouhlíkové zdroje elektrické energie s výkonem nad 1 MW do tzv. veřejného zájmu a při jejich schvalování tak nejsou upřednostňovány jiné veřejné zájmy. [33] [34]

Novela LEX OZE 2, pod číslem zákona 469/2023 Sb., vyšla v účinnost dne 01.01.2024 a svým zněním představuje výrazný posun v oblasti energetických komunit. Do Energetického zákona zavádí či upravuje pojmy týkající se sdílení elektrické energie prostřednictvím energetických společenství v rámci celé distribuční sítě. Vymezuje práva a povinnosti nově vznikajícího Energetického datového centra a novelizuje řadu dalších zákonů o klíčové náležitosti spojené s příchodem komunit do oblasti energetiky. [35] [36]

Obě tyto novely mají zásadní dopad na budoucí rozvoj energetiky, s kterým se pojí také výstavba fotovoltaických zdrojů. S ohledem na cíle této práce nebude probíhat podrobnější analýza těchto novel. Následující část práce se bude spíše zabývat celým legislativním prostředím spojeným s podmínkami výstavby, provozu a připojením fotovoltaického zdroje.

3.2. Povolovací řízení pro výstavbu

Výstavba nových fotovoltaických elektráren se řídí aktuálně platnými stavebními předpisy. V tomto období je situace mírně komplikovanější, jelikož platí přechodná ustanovení mezi novým stavebním zákonem č. 283/2021 Sb. (dále NSZ) a doposud platným starým stavebním zákonem č. 183/2006 Sb., Zákon o územním plánování a stavebním řádu (dále SSZ). V této práci

bude snaha o porozumění výkladu nového stavebního zákona, jelikož realizace navrhované výstavby bude probíhat v období jeho úplné účinnosti a stavba tak nebude nikterak ovlivňována starým stavebním zákonem. Pro úplnost a pochopení celé problematiky zde budou popsány také základní změny související s příchodem NSZ.

Jednu z výraznějších změn představuje povolení výstavby na základě pouze jednoho stavebního řízení nazývaného povolení záměru. Oproti tomu v SSZ bylo nutné pro získání stavebního povolení prvně podstoupit územní řízení ohledně umístění stavby, a až po jeho schválení řízení stavební. Dále jsou v obou zákonech přítomny podmínky, při jejichž splnění může dojít buď ke zjednodušení celého procesu získání stavebního povolení (v NSZ povolení záměru) nebo možnosti výstavby bez povolení. I přes toto zjednodušení musí být i nadále nová stavba zřízena v souladu s celou řadou požadavků a předpisů. [37]

3.2.1. Přejídné období mezi zákony

Před uvedením dat, od kterých bude NSZ závazný, je nezbytné seznámit se s jeho další odlišností představující dělení staveb dle §5 (NSZ) do 4 kategorií:

1. drobné stavby,
2. jednoduché stavby,
3. vyhrazené stavby,
4. ostatní stavby.

Dle NSZ č. 283/20223 Sb. se mezi **drobné stavby** řadí fotovoltaické systémy s instalovaným výkonem nižším než 50 kW, a to za podmínky, že jejich stavba není realizována na kulturní památce, v chráněném území, památkové rezervaci, památkové zóně nebo v oblasti vymezené příslušným ministerstvem. Dále jejich instalaci musejí být splněny následující podmínky:

- nenarušení nosných konstrukcí,
- zachování způsobu užívané stavby,
- absence nutnosti vyhodnocení vlivu na životní prostředí,
- splnění požární bezpečnosti (vyhláška č. 114/2023 Sb., o požadavcích na bezpečnou instalaci výroby elektrické energie využívající OZE s instalovaným výkonem do 50 kW).

Za **jednoduchou stavbu** se považují FV systémy s instalovaným výkonem do 100 kW, jejichž instalace je podmíněna podobnými, výše napsanými podmínkami. Dále se instalaci nesmí výrazně změnit její vzhled stavby.

Vyhrazenou stavbou se rozumí FV systém a jiná výrobní využívající sluneční záření s instalovaným výkonem nad 5 MW. [38]

Do kategorie **ostatní stavby** spadají stavby, které nejsou ve zbývajících třech kategoriích a v zákoně nejsou explicitně vyjmenovány. Rozřazení staveb a stavebních úprav do třech kategorií se uvádí v přílohách Stavebního zákon č. 283/2021 Sb..[40]

Nyní, když už je zřejmé, jaké stavby FV systémů spadají do příslušných kategorií, je možné uvést data, od kterých bude NSZ nabývat účinnost a skončí tak přechodné ustanovení. Pro drobné, jednoduché a ostatní stavby se zákon stane účinným od 01.07.2024. Zahájené procesy před tímto dnem se dokončí dle právních předpisů SSZ, avšak jednotlivá řízení se toho dne přesunou do správy příslušných úřadů stanovených NSZ. Pro FV systémy s instalovaným výkonem do 5 MW se tím stane krajský úřad místo dosavadního městského úřadu.

Při realizaci vyhrazených staveb, tedy FV systémů nad 5 MW, se musejí žadatelé řídit NSZ již od data 01.01.2024. Úřadem odpovědným za povolení řízení těchto staveb je nově zřízený orgán s názvem Dopravní a energetický stavební úřad.

S přechodným obdobím souvisí také možnost při podání žádosti do 30.6.2027 předložit vypracovanou projektovou dokumentaci podle požadavků SSZ. [39]

3.2.2. Žádost o povolení při výstavbě FV systémů

Při výstavbě **FV systému nad 5 MW** se musí žádat o povolení záměru, s čímž se váže potřeba vyhotovení projektové dokumentace. Dle §230 Stavebního zákona č. 283/2021 Sb., je možné tuto stavbu začít užívat až po žádosti a vydání kolaudačního souhlasu, a to pouze za účelem stanoveným kolaudačním rozhodnutím.

Díky přijaté novele LEX OZE 1 se výrobní z OZE nad 1 MW řadí do tzv. veřejné infrastruktury, což může urychlit výstavbu takových zdrojů v nezastavěném území. Obecně k povolení záměru výstavby musí na tomto území dojít ke změně územního plánu. Nicméně dle §122 (NSZ) k této změně v případě veřejné technické infrastruktury docházet nemusí, a je možné záměr povolit přímo na nezastavěném území. To za podmínky, že výstavba nenaruší charakter území a není jednoznačně a jasně zakázána v plánovací dokumentaci. [38] [41]

Pro výstavbu **FV systémů do 100 kW**, které spadají do kategorie jednoduchých staveb, se také musí žádat o povolení záměru k jejich výstavbě, ale dle §230 (NSZ) se pro jejich začátek užívání nepožaduje kolaudační souhlas a dle §157 (NSZ) zřizovat projektová dokumentace. Úřad je povinný rozhodnout o žádosti týkající se jednoduchých staveb do 30 dnů od začátku řízení. [38] [42]

V současné době se mezi nejrozšířenější instalaci FV systémů řadí **zdroje s nižším instalovaným výkonem než 50 kW**. Jak již bylo napsáno výše, při splnění určitých podmínek, se tyto zdroje řadí podle NSZ do kategorie s názvem drobné stavby. Co se týče povolení k jejich výstavbě, nový stavební zákon uvádí § 171, který zní:

„Záměr vyžaduje povolení s výjimkou drobných staveb a změn využití území, u kterých tak stanoví tento zákon.“ [38]

Z toho tedy vyplývá, že pro jejich výstavbu není požadováno povolení od stavebního úřadu. V případě, že výstavba nesplňuje jednu či více výše napsaných podmínek, je potřeba požádat o povolení i pro FV zdroje do 50 kW. [38]

Nadále se před výstavbou doporučuje zjistit, zdali se nenachází v některém z ochranných pásem, kdy je pro výstavbu nutné získat stanovisko od orgánu památkové péče. [41]

U ostatních staveb se podobně jako u staveb vyhrazených požaduje povolení, kolaudace a projektová dokumentace. [42]

3.3. Udělování licence a autorizace na výrobu

Energetický regulační úřad (dále ERÚ) nikterak nezasahuje do stavebního či technického hlediska výstavby, ani do oblasti připojení výroby k distribuční síti. Nicméně pro provoz energetických zařízení se od ERÚ vyžaduje udělení licence, kromě některých výjimek. V rámci elektroenergetiky se zmíněná licence pro podnikání vyžaduje pro:

- výrobu elektrické energie,
- přenos a distribuci elektrické energie,
- obchod s elektrickou energií,
- činnost operátora trhu,
- činnost datového centra. [43]

S ohledem na téma práce bude dále podrobněji rozebírána licence na výrobu elektrické energie, jenž se uděluje na dobu 25 let. Pro udělení licence musejí být splněny podmínky uvedené v Energetickém zákoně č. 458/200 Sb. v § 5. Ty se týkají svéprávnosti, bezúhonnosti a odborné způsobilosti. [44]

Výjimku v povinnosti udělení licence mají výroby bez připojení k distribuční či přenosové síti a výroby připojené k distribuční či přenosové síti s instalovaným výkonem do 50 kW při splnění dvou podmínek:

1. vyrobená energie slouží zejména pro vlastní spotřebu,
2. v daném odběrném místě není připojena další výroba elektřiny s přidělenou licenci.

Pro výroby do 50 kW je potřeba zřídit licenci na výrobu, jestliže v ní vyrobená elektrická energie slouží za účelem podnikání a je tak prodávána jiným účastníkům trhu. V tomto případě se však nemusí prokazovat odborná způsobilost a nemusí se mimo licence na výrobu žádat i o licenci na obchod.

Na druhou stranu se licence vždy požaduje u výroben s výkonem převyšující 50 kW, a to bez ohledu na účel využití vyrobené energie. Tedy nezáleží, zdali se výstavba zdroje realizuje primárně pro vlastní spotřebu nebo za účelem podnikání. [44] [45]

3.3.1. Autorizace

U větších výroben elektrické energie, konkrétně se součtem výkonů nad 1 MW, se pro jejich výstavbu dle § 30a Energetického zákona vyžaduje autorizace. O její vydání již nerozhoduje ERÚ, ale Ministerstvo průmyslu a obchodu, které zohledňuje soulad výstavby se Státní

energetickou koncepcí, Národním akčním plánem, územní dokumentací, surovinovou politikou a technickými požadavky. [44]

Pro realizaci projektu vyhodnocovaného v této práci se nepředpokládá povinnost žádat o povolení záměru výstavby ani o licenci na výrobu. Předběžně se totiž očekává, že instalovaný výkon zdroje nebude převyšovat 50 kW_p a vyrobená elektrická energie bude sloužit primárně pro vlastní spotřebu. Nicméně to neznamena, že pro projekt nebude potřeba zažádat o připojení k distribuční síti. Proto se následující podkapitola bude věnovat jednotlivým typům připojení FV zdrojů k síti z pohledu distributora a s tím souvisejících náležitostí.

3.4. Připojení FV systémů do distribuční soustavy

Možnost připojit a provozovat fotovoltaický systém v dané lokalitě posuzuje příslušný distributor sítě, jímž v závislosti na oblasti instalace může být ČEZ Distribuce, EG.D nebo PREDistribuce. Žádost o připojení zdroje a sehnání požadovaných informací pro tuto žádost by mělo předcházet jakýmkoliv jiným procesům spojeným s budováním zdroje, jako například zaplacení fotovoltaických komponent, zaplacení instalace, vyřízení povolení záměru či udělení licence. V ojedinělých situacích může totiž nastat situace, kdy distributor žádost oprávněně zamítne, či bude požadovat změny v projektu. Tím by se mohlo stát, že by předešlé úsilí, spojené s realizací zdroje bylo z části zbytečné, nebo by došlo k finančním ztrátám vlivem nevyužitých nakoupených komponent. [46]

Objekt, kterému bude tato práce věnována se nachází na území středních Čech, kde působí distributor ČEZ Distribuce. Tudíž veškeré procesy a informace spojené s připojením zdrojů k síti budou platné pro tohoto distributora. Podmínky pro připojení výroby k síti se mohou u distributorů lišit, jelikož každý distributor je ze zákona povinen vypracovávat Pravidla provozování distribuční soustavy (PPDS), jejichž součástí jsou Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulčních zařízení. Na základě těchto pravidel jsou stanoveny požadavky pro možné připojení výroby k síti daného distributora. V podávaných žádostech se nepředpokládá výrazná odlišnost, jelikož tyto žádosti musí být v souladu s Vyhláškou č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě. [47]

ČEZ Distribuce v rámci připojení výroby k síti rozlišuje mezi následujícími sedmi možnostmi:

- a) Mikrozdroj⁴ zjednodušeně připojený do 10 kW (bez přetoků),
- b) Mikrozdroj standardně připojený do 10 kW (s přetoky do sítě),
- c) Výrobná do 50 kW pro vlastní spotřebu (s přetoky do sítě),
- d) Výrobná na napěťové hladině NN s licencí od ERÚ do 100 kW,
- e) Výrobná na napěťové hladině NN s licencí od ERÚ nad 100 kW,
- f) Výrobná na napěťové hladině VN a VVN do 100 kW,

⁴ Dle Vyhlášky č. 16/2016 Sb. se mikrozdrojem rozumí taková výrobná, která je připojena k distribuční síti na hladině NN, její jmenovitý proud na fázi nepřevyšuje 16 A a jmenovitý výkon nepřevyšuje 10 kW. [48]

g) Výrobna na napěťové hladině VN a VVN nad 100 kW.

Připojení výroby z bodu a):

Připojení k síti lze provést v tzv. zjednodušeném procesu. Ten začíná vybudováním dané výroby splňující podmínky mikrozdroje a následně žádostí o uzavření smlouvy. Ke smlouvě musí být přiložena revizní zpráva, projektová dokumentace a požadované naměřené hodnoty (viz § 16 Vyhlášky č. 16/2016 Sb.). Při kladném vyhodnocení žádosti zašle distributor žadateli návrh na smlouvu, provede nezbytná opatření v místě výroby (do 20 dnů). Po podepsání smlouvy a proběhnuté kontrole může být mikrozdroj uveden do provozu. Pokud je žádost zamítnuta, distributor informuje žadatele o následném průběhu. [49]

Připojení výroby z bodu b) nebo c):

Začátek procesu začíná žádostí o připojení k síti, která je následně vyhodnocována distributorem. V situaci, že je pro schválení žádosti nutné další šetření, může distributor požádat žadatele o dodání doplňujících údajů nebo sám provede nezbytné úkony k možnému posouzení žádosti (např. osazení kontrolního měření). Při kladném posouzení, bez nutnosti zásahu do sítě, zašle distributor návrh smlouvy. Dále může zaslat smlouvu o smlouvě budoucí, jestliže se rozhodne zvýšit kapacitu sítě pro možné připojení zdroje. Poslední možností může být zamítnutí žádosti.

Distributor ČEZ Distribuce nepožaduje projektovou dokumentaci, ale pouze ohlášení, jaké typové schéma, jím navržené, bylo pro instalaci využito. Při použití jiného než navrženého schématu, je projektová dokumentace požadována. Ta se přikládá až v průběhu procesu schvalování trvalého provozu.

Následuje samotná výstavba zdroje, a to dle podmínek přijatých ve smlouvě. Poslední částí procesu připojení zdroje k síti představuje zaslání žádosti o trvalý provoz. Ta musí být doplněna o vyplněný instalační dokument, způsob opětovného připojení a v případě nevyužití typového schématu o revizní zprávu, projektovou dokumentaci (její náležitosti jsou uvedeny v Pravidlech provozování distribuční soustavy v příloze č.4) a dokumentaci o nastavení ochran. Při instalaci dle typového schématu stačí vyplnit pouze jednu žádost na místo dokládání výše napsaných třech dokumentů. Celý proces končí úspěšnou fyzickou kontrolou pracovníka ČEZ Distribuce. [49]

Připojení výroby z bodů d), e), f) a g):

U těchto výroben není možná instalace podle doporučených typových schémat, a tedy je nutné oproti předešlým bodům předložit k odsouhlasení projektovou dokumentaci s požadovanými přílohami. Souhlas distributora může být také uplatněn při žádosti o povolení záměru výstavby.

Výraznější změny, oproti zdrojům do 50 kW, lze shledat ve zvýšeném počtu požadovaných dokumentů pro možné uvedení zdroje do provozu. V závislosti na připojovací hladině napětí (NN nebo VN a VVN) a na instalovaném celkovém výkonu (do 100 kW nebo nad 100 kW) se mohou požadovat mimo jiné dokumenty týkající se místních provozních předpisů, měřících transformátorů proudů a napětí, harmonogramů a rozsahů zkoušek a simulací, geodetického zaměření, revizních zpráv transformátorových stanic a přípojek a jednopólového schématu

(pokud není součástí projektové dokumentace). Samozřejmostí je samotná projektová dokumentace, revizní zpráva výroby a dokumentace o nastavení ochrany. U výroben nad 100 kW je dále potřeba zažádat o vydání SIM karty, a to za účelem komunikace mezi výrobnou a dispečinkem provozovatele distribuční soustavy. [49]

Proces připojování FV systémů v oblasti spravované ČEZ Distribuce a s tím spojené podávání žádostí a dokládání požadovaných dokumentů je možné vyřídit online přes Distribuční portál [50]. Toto webové rozhraní přináší výrazné zjednodušení a urychlení uvedení výroby do provozu.

3.5. Podpora fotovoltaických zdrojů pro firmy

S ohledem na stanovené cíle Evropské unie vedoucích k rozvoji obnovitelných zdrojů se pro výstavbu FV zdrojů poskytují různé dotační tituly. Využití této formy podpory může vést k výraznému zlepšení ekonomiky celého projektu. Proto zde budou stručně představeny aktuálně vypsané nebo v blízké době plánované dotační výzvy, které firmy mohou využít.

3.5.1. Výzvy RES+

Z Modernizačního fondu se v současné době financuje program s názvem RES+. Ten se dělí na celkem čtyři výzvy umožňující čerpání dotací z tohoto programu. Níže budou uvedeny pouze dvě, jelikož zbývající dvě jsou určeny pouze pro veřejnou sféru (např. obce, kraje, církve atd.).

RES+ č. 1/2024:

Výzva č.1 podporuje výstavbu FV zdrojů s vlastní spotřebou a výkonem od 50 kW_p do 5 MW_p. Při umístění zdroje na území Prahy nebo při realizaci projektu veřejnou správou (např. obcí, krajem, církví, státním podnikem, školou atd.) se minimální výkon pro uznání podpory snižuje na 10 kW_p.

Žádost o tuto podporu je možné podat do 31.10.2024. [51]

RES+ č. 2/2024:

Druhá výzva slouží pro podporu výstavby FV zdrojů s instalovaným výkonem vyšším než 1 MW_p. Může se jednat o výrobu s jednou přípojkou do sítě nebo více výroben připojených do sítě na více místech, kdy se pro posouzení podmínek k uznání podpory jejich výkon sčítá. V této výzvě, se oproti předešlé, přiznávají dotace projektům soutěžním způsobem, a to na základě počtu získaných bodů. Ty jsou jednotlivým projektům přiřazovány podle předem známého postupu.

Žádost o tuto podporu je možné podat do 10. 9.2024. [52]

Výpočet maximální výše podpory, kterou je teoreticky možné dotací dosáhnout, se v obou výzvěch řídí obdobným vzorcem:

$$Dotace_{FVMAX} = 0,3 \cdot (-1,283 \cdot \ln P_{inst} + 32\,182) \cdot P_{inst} \quad (1)$$

kde $Dotace_{FVMAX}$ maximální výše dotace na fotovoltaiku [Kč],

P_{inst} instalovaný výkon FV panelů (při standardních testovacích podmínkách) [kW_p].

Zmíněné výzvy poskytují podporu i pro bateriové uložení nebo elektrolyzéry vody, jestliže jsou součástí budovaného FV zdroje. Maximální výše podpory na instalaci baterií se řídí následujícím vzorcem:

$$Dotace_{AKMAX} = 0,3 \cdot (-1,230 \cdot \ln C_{bat} + 25\,460) \cdot C_{bat} \quad (2)$$

kde $Dotace_{AKMAX}$ maximální podpora pro bateriové uložení [Kč],

C_{bat} prokázaná využitelná kapacita baterie [kWh].

I přes uvedené vzorce není možné na výstavbu FV zdroje získat vyšší dotaci než 50 % z celkově uznatelných výdajů. [51] [52]

3.5.1. Výzva Úspory energie

Ministerstvo průmyslu a obchodu v rámci Národního plánu obnovy poskytuje podpory z Operačního programu technologie a aplikace konkurenceschopnosti. Pro fotovoltaické systémy bylo možné využít výzvu s názvem Úspory energie - výzva I. do 31. 8. 2023. Z vydaného harmonogramu výzev pro rok 2024 se předpokládá opětovné otevření žádostí pro tuto výzvu v druhém kvartálu roku 2024 pod označením Úspory energie - výzva II. Dokument pro ni nebyl doposud vydán, nicméně z důvodu změn legislativy o veřejných podporách se očekávají úpravy od předešlé výzvy. Proto zde bude popsána alespoň Úspora energií – výzva I., a to za předpokladu, že se nová výzva nebude významně lišit ve všech částech, ale pouze v problematice veřejných podpor. [53] [54]

Žádosti o podporu z výzvy Úspory energií mohou být podány na FV zdroje s instalovaným výkonem do 1 MW_p , které jsou instalovány na budovách malých, středních nebo velkých podniků. Výše podpory se určuje na základě procentuální části z uznatelných výdajů, přičemž tato procentní míra závisí na velikosti podniku a jeho umístění (celkem se rozlišují 2 oblasti). Stanovená maximální výše podpory činí 200 mil. Kč a určená minimální výše podpory se rovná 500 tis. Kč.

REGION PODNIKU	VELIKOST PODNIKU	PROCENTUÁLNÍ MÍRA PODPORY
Karlovarský, Ústecký, Liberecký, Královehradecký, Pardubický, Olomoucký, Zlínský nebo Moravskoslezský kraj	Malý podnik	65 %
	Střední podnik	55 %
	Velký podnik	45 %
Středočeský, Jihočeský, Plzeňský, Jihomoravský kraj nebo kraj Vysočina	Malý podnik	55 %
	Střední podnik	45 %
	Velký podnik	35 %

Tabulka č. 2: Výše podpory z výzvy Úspory energie [53]

Z výzvy Úspory energie je možné čerpat podporu také na bateriové uložení, jestliže se stává součástí fotovoltaického systému. Kapacita uložení nesmí přesáhnout 1 MWh, a zároveň nesmí být instalována více než 1 kWh na 1 kW_p instalovaného výkonu. [53]

Podání a případné schválení žádostí probíhá ještě před zahájením stavebních prací nebo objednávkou systému od dodavatelské firmy a po schválení musí být stavba dokončena do stanoveného data. Podpora ze zmíněných výzev se vyplácí až po splnění přijatých podmínek při schválení žádosti, a je tedy vyplácena až po finální realizaci. Než bude žadateli připsána podpora, musí disponovat dostatečnými finančními prostředky pro kompletní výstavbu.

4. ANALÝZA VYBRANÉHO PODNIKU

Výpočetní část práce se zaměřuje na konkrétní vybraný podnik sídlící ve středních Čechách v malé obci Tuřice. Založení společnosti se datuje do roku 1999 a v současné době se zaměřuje především na zakázkovou výrobu nových středofrekvenčních zdrojů pro indukční ohřev a pro tavbu materiálů v průmyslovém sektoru. Podle účelů použití se výkon vyráběných zdrojů pohybuje od jednotek až po stovky kW a jednotlivé zařízení lze rozdělit do dvou podkategorií.

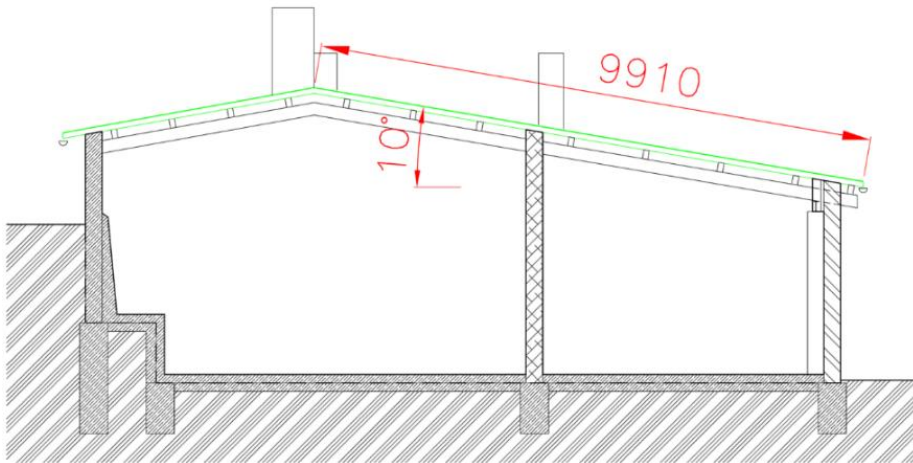
První z nich jsou tranzistorové měniče pro ohřev specifických dílů o různých rozměrech a tvarech na předem požadovanou teplotu za předem stanovený čas. Podobnými tranzistorovými měniči se napájí také malé pece určené pro tavbu magnetických, barevných, ale i drahých kovů. Podnik vyrábí i samotné induktry přenášející energii do ohříváných těles.

Druhou kategorií produkovaného sortimentu jsou tyristorové měniče napájející tavící pece pro tavbu materiálu o hmotnosti 100, 250, 500 až 1000 kg. Kromě výroby se podnikové působení zaměřuje na poskytování servisních činností v oblasti indukčních ohřevů, repasí starých zdrojů a výrobu či opravu elektrotechnických a mechanických komponent využívaných v daném oboru. [55]

Na výše popsané činnosti podnikání se podílí celkem devět pracovníků, z toho dva z nich pracují pouze v administrativě. Co se týče pracovní doby, a s tím spojený začátek a konec odběru elektrické energie, podnik funguje v jednosměnném režimu s pracovní dobou začínající v čase 8:00 až 8:30 a končící kolem 16:30. Nicméně vzhledem k charakteru podniku a jeho fungování se toto časové rozmezí může v některých dnech lišit a nelze jej pevně stanovit.

4.1. Dispozice objektu

K naplnění cíle této práce, jež se pojí s návrhem fotovoltaického zdroje a případně i s úpravou způsobu vytápění, je nutné se podrobněji seznámit s konstrukčním řešením objektu. Za tímto účelem byl od vedení podniku získán aktuální technický výkres objektu spolu s dalšími potřebnými daty týkající se stavební konstrukce. Výkres s podrobným umístěním místností nebude v této práci znázorněn, jelikož se z pohledu firmy může jednat o citlivé údaje. Proto zde bude pro představu znázorněn pouze bokorys objektu s vyznačenými rozměry charakterizující plochu a sklon povrchu pro umístění FV panelů (viz obrázek č. 10). Celková délka střešní krytiny činí 60 metrů. V průběhu vypracování práce se s výkresy podrobněji pracuje v programu ProgeCad, a to především k zjištění rozměrů místností pro vyhodnocení tepelných ztrát a také ke stanovení volných oblastí na střeše pro možné umístění FV panelů.



Obrázek č. 10: Bokorys vybraného objektu

Střecha objektu

Celková zjištěná plocha střechy s astronomickým azimutem $-11^{\circ 5}$ a sklonem 10° se rovná 595 m^2 . Po odečtení nevhodných ploch pro instalaci FV panelů, z důvodu stínu od komínu a prosvětlených částí, se využitelná plocha sníží na 525 m^2 . Pomocí takto zjištěné plochy se může dále ve spojitosti se sklonem střechy a sklonem instalovaných panelů určit jejich maximální počet, který je možné na střechu umístit.

Před eventuální výstavbou fotovoltaického zdroje pro daný objekt je třeba přihlídnout také na nosnost konstrukce budovy, aby vlivem instalace nedošlo k přetížení a nebyla narušena statická stabilita celého objektu. To představuje jeden z předpokladů, bez jehož splnění by vypracované výsledky práce nebyly v reálném případě uskutečnitelné. Ze získaných údajů od vedení podniku a následném kontaktování náležité osoby bylo sděleno, že nosnost konstrukce umožňuje instalaci.

Popis prostorového uspořádání

Na základě charakteru využití místností a jejich konstrukčních vlastností se celý objekt dělí do dvou základních částí. Do první části objektu se zařazují vytápěné prostory, kterými jsou kancelář, sociální zařízení a tři dílny pro výrobu s celkovou podlahovou plochou místností $157,6 \text{ m}^2$. Tyto místnosti se nacházejí vedle sebe v obdélníkovém půdorysu o vnějších rozměrech $5,6 \times 33$ metrů (včetně tloušťky stěn). Polovina obvodu této části sousedí s venkovním prostředím a druhá polovina obvodu je obklopena nevytápěnými prostory, které tvoří uvažovanou druhou část objektu s celkovou plochou 577 m^2 . V té se nacházejí dva sklady a jedna hala sloužící částečně pro výrobu i jako sklad.

⁵ Při orientaci na jih má astronomický azimut 0° a jeho úhel se zvyšuje po směru hodinových ručiček. Pro západní orientaci platí 90° a pro východní 270° neboli -90° .

Podrobnému popisu vlastností použitých stavebních konstrukcí vytápěného prostoru se za účelem stanovení tepelných ztrát věnuje kapitola 4.3.3. Charakteristika ochlazovaných stavebních konstrukcí.

4.2. Elektrická energie

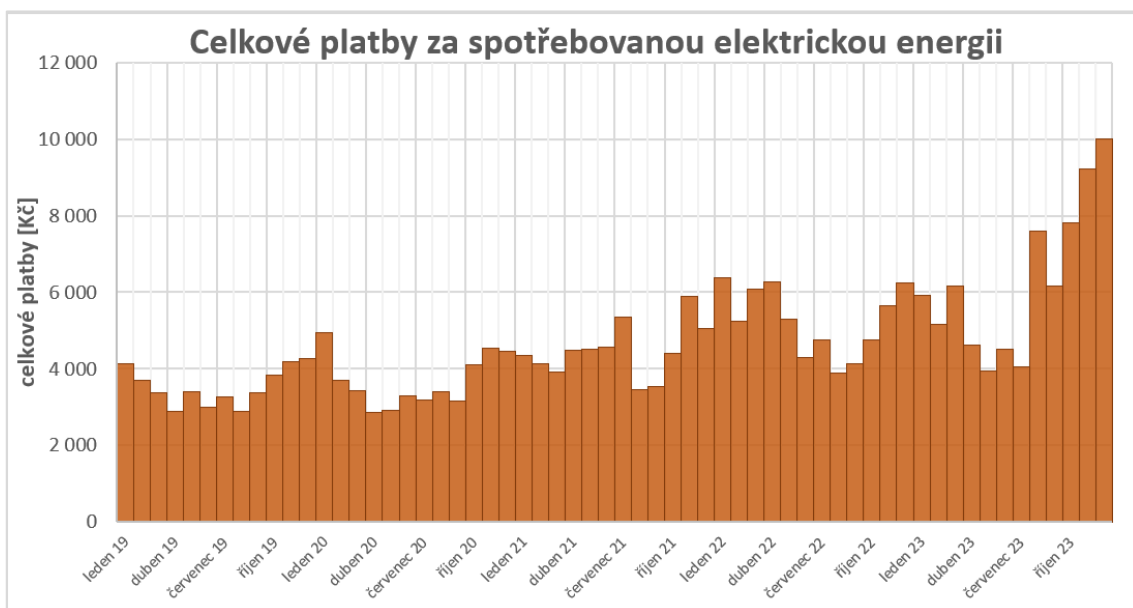
Nedílnou součástí pro stanovení optimální varianty využití navrhovaného fotovoltaického zdroje se bezesporu stává podrobnější analýza historických spotřeb elektrické energie. Dostupnost reálných hodnot spotřeb tvoří jeden z nejdůležitějších předpokladů pro možné a úspěšné vypracování této práce, jelikož tyto veličiny charakterizují povahu konkrétního zvoleného subjektu.

4.2.1. Vyúčtování za elektrickou energii

První informace o spotřebě elektrické energie byly získány z poskytnutých vyúčtování, a to od roku 2018 do současnosti. Z dostupných dokumentů byla zjištěna využívaná jednotarifní distribuční sazba C01D, rezervovaný příkon $3 \times 125 \text{ A}$, a také přiřazený obchodní produkt s názvem Standard spadající pod produktovou řadu Optimal.

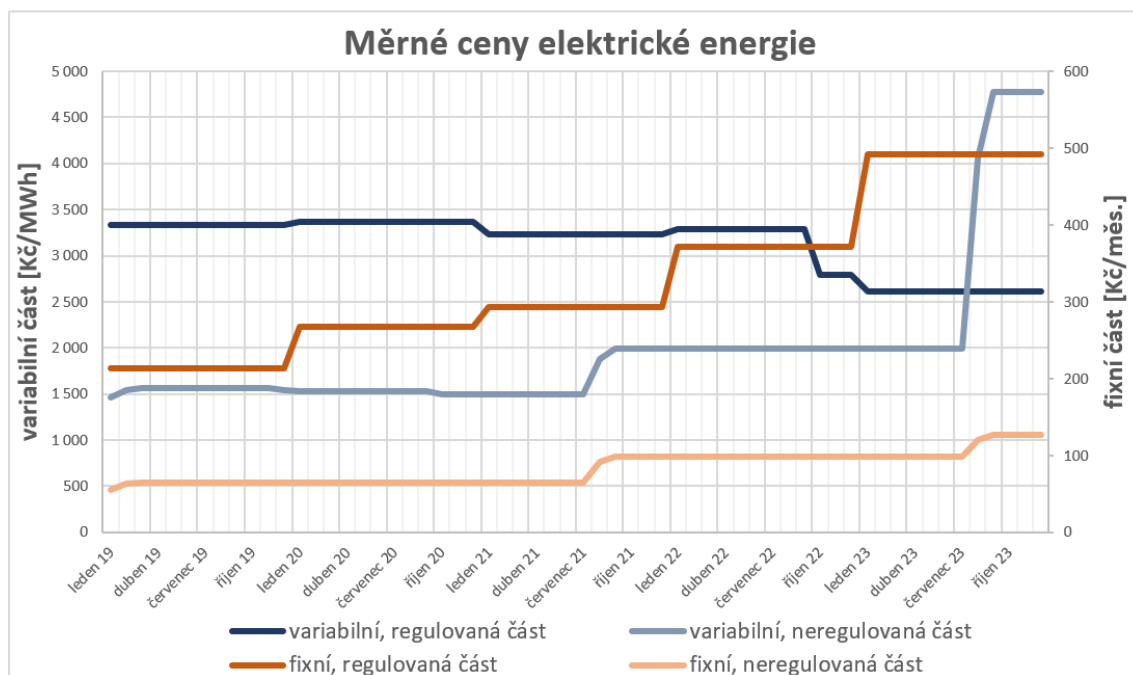
Typ obchodního produktu se sjednává mezi odběratelem a dodavatelem v době uzavření smlouvy a na jeho základě se pro příslušné období stanovují fixované ceny poskytované obchodníkem. Ze zjištěných parametrů konkrétní uzavřené smlouvy na dobu neurčitou vyplývá, že aktuální období garantované neboli fixované ceny elektřiny je platné od 9. 8. 2023 do 9. 8. 2025, a následná změna cen od dodavatele tak nastane 10. 8. 2025.

U příslušné tarifní sazby probíhá vyúčtování každý měsíc, z čehož je možné určit celkové měsíční výdaje plynoucí ze spotřeby elektrické energie daným podnikem.



Graf č. 1: Historické platby za elektrickou energii

Zobrazený přehled, resp. hodnoty z grafu, mohou být podnikem využity pro určení poměru, jak velkou část z celkových provozních výdajů tvoří výdaje na spotřebovanou elektrickou energii. To může představovat jeden z podkladů vedoucí k rozhodnutí o investici do vlastního zdroje této formy energie. Nicméně zobrazené celkové platby jsou zásadně ovlivněny výší spotřeby a subjekt není přímo informován o vývoji cen za poskytovanou komoditu a dalších složek, z kterých se celková cena elektřiny skládá. K náhledu vývoje měrných cen a jejich rozdělení na regulovanou a neregulovanou část slouží následující graf.



Graf č. 2: Rozdělení celkové ceny elektřiny na jednotlivé složky

V srpnu roku 2023 lze zpozorovat více než dvojnásobný nárůst ceny silové elektřiny od dodavatele, a to v okamžiku začátku platnosti nových fixovaných cen. K výraznému nárůstu silové elektřiny pravděpodobně přispěla nedávná energetická krize. U fixní neregulované ceny takový nárůst zpozorován nebyl a došlo u ní k podobnému navýšení jako v srpnu roku 2021.

U regulovaných měrných cen, jejichž výši stanovuje ERÚ, se fixní část zvyšovala pravidelně každý rok. Oproti tomu se variabilní část až do října roku 2022 udržovala přibližně na konstantních hodnotách. V té době došlo za účelem snížení dopadu již zmíněné energetické krize k dočasnému zrušení plateb na podporované zdroje energie, a proto lze toto snížení považovat za dočasné. Začátkem roku 2023 byl zaznamenán další mírný pokles této regulované složky ceny elektřiny.

Souhrn informací týkající se odběrného místa a uzavřené smlouvy s dodavatelem je přehledně uveden v následující tabulce:

Distribuční území	ČEZ Distribuce a.s.
Distribuční sazba/rezervovaný příkon	C01D/3 × 125 A
Dodavatel elektřiny	Innogy
Produktová řada	elektřina Optimal
Obchodní produkt	Standard
Aktuální období fixovaných cen	09.08.2023 – 09.08.2025

Tabulka č. 3: Základní informace o odběrném místě

4.2.2. Spotřeba elektrické energie

Jak již bylo zmíněno výše, vyúčtování a s tím spojené zjištěné spotřeby v daném období se odehrávají na měsíční bázi. Pro náš cíl návrhu jsou však takto agregovaná data nedostačující. Přesto je pro počáteční seznámení se spotřebou objektu níže uvedena tabulka s ročními spotřebami elektrické energie.

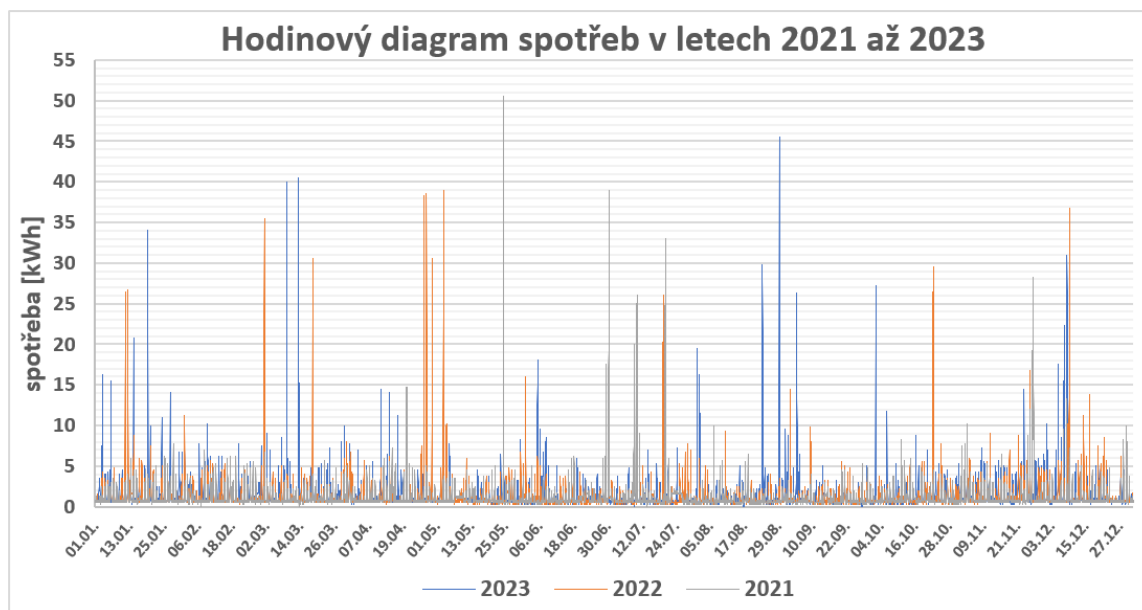
rok	spotřeba elektrické energie
2021	10 015 kWh
2022	11 149 kWh
2023	11 783 kWh

Tabulka č. 4: Roční spotřeby objektu (2021-2023)

Vzhledem ke znalostem, že se pro odečet spotřeby v sazbě C01D využívá měření typu B s průběhovým měřením a dálkovým odečtem, byl kontaktován obchodník a distributor za účelem možnosti získání těchto dat. Distributor požadavku vyhověl a zároveň popsal postup pomocí něhož lze takové hodnoty získat. Jelikož se jedná o chráněné osobní data, na které se vztahuje GDPR, bylo nutné kontaktovat vedení podniku pro udělení jejich souhlasu, čemuž bylo vyhověno. Následně byla provedena registrace na stránkách dip.cezdistribuce.cz. [50] a prostřednictvím distribučního portálu byla zaslána žádost o přístup do portálů naměřených hodnot z průběhového měření. Výše popsaným způsobem byly získány podrobnější údaje o spotřebě od roku 2021, kdy bylo odběrné místo osazeno elektroměrem umožňující měření typu B.

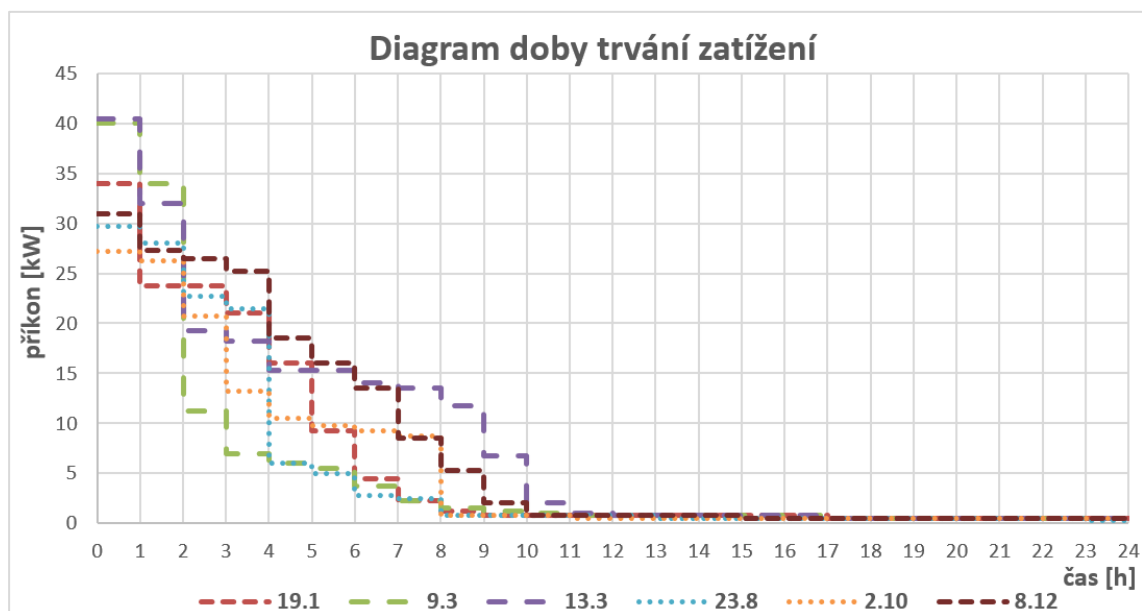
Dosažená data spotřeby značně přispívají k přesnějšímu vypracování diplomové práce, než by tomu bylo pouze z měsíčních spotřeb udávaných ve vyúčtování a z analýzy spotřeby na základě využívaných spotřebičů. Využití typových diagramů dodávek (TDD) by taktéž bylo pro náš případ nevhodné. To z důvodu, že spotřeba vybraného podniku vykazuje v určitých časech značné výkyvy ve spotřebě, přičemž hodnoty z TDD jsou získávány z velkého počtu odběrných míst a spíše se jedná o průměrné hodnoty spotřeb. Svým způsobem se v těchto diagramech projevuje vliv statistiky a tento průběh je předpokládán pro velký počet spotřebitelů.

S ohledem na přesnost získaných čtvrt hodinových spotřeb a následnou práci s daty byly tyto hodnoty upraveny a přepočteny na hodinové spotřeby.



Graf č. 3: Hodinový diagram spotřeb vybraného objektu (2021-2023)

V hodinovém diagramu spotřeb si nelze nevšimnout vysokých špičkových hodnot, kterým musí být věnována patřičná pozornost. Mohlo by se totiž jednat o chybná měření, jejichž zahrnutí do modelu by mělo za následek zkreslení výsledků. Po podrobnějším rozboru bylo zjištěno, že jsou tyto vysoké odběry způsobeny občasným využíváním odporové pece a také probíhajícími zkouškami středofrekvenčních zdrojů. K tomu, že se nejedná o chybná měření může přispívat zobrazený diagram doby trvání zatížení ve dnech s pozorovanou vyšší hodinovou spotřebou než 25 kWh. Z něho vyplývá, že jsou špičkové hodnoty sledovány ve dnech, v kterých probíhá celkově vyšší zatížení i v dalších hodinách.



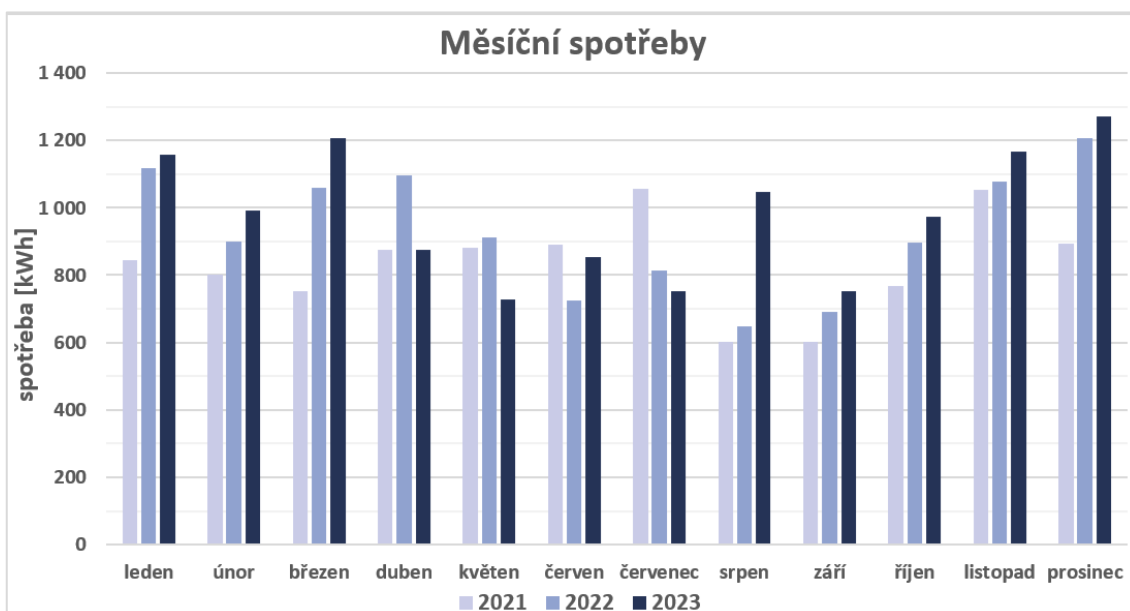
Graf č. 4: Diagram doby trvání zatížení pro dny s vysokou hodinovou spotřebou

Často se také v hodinovém diagramu spotřeb vyskytují špičkové hodnoty nedosahující tak vysokých hodnot (5 až 25 kWh). Tyto špičky mohou být způsobeny krátkou dobou zapnutí

zařízení s vysokým příkonem nebo také zkouškami ohřevů pro potenciální zákazníky. Pro ty se používají zejména zkušební zdroje s nižším příkonem a delší dobou použití.

Doba, kdy k těmto špičkovým odběrům dochází, závisí především na aktuálních a potenciálních zakázkách a jejich povaze. Proto interval mezi těmito hodnotami nevykazuje pravidelnost a není předem možné určit ani jejich velikost. To má za následek obtížnou, ne-li nemožnou predikci hodinových spotřeb pro budoucí období.

Četnost zakázek vybraného podniku a jejich charakter nikterak nesouvisí s ročním obdobím. Pokud tedy přisuzujeme výši spotřeby především intenzitě výroby, tak ani měsíční spotřeba elektrické energie nevykazuje významnou sezonní závislost. Nepatrná spojitost spotřeby s ročním obdobím může být způsobena spouštěním klimatizací v letních obdobích nebo častějším využíváním světel v zimních obdobích. Každopádně takové spotřebiče nedosahují znatelných změn v celkové spotřebě objektu.



Graf č. 5: Měsíční spotřeby elektrické energie v objektu (2021-2023)

4.3. Tepelná energie

Pro návrh optimálního instalovaného výkonu fotovoltaického zdroje s možností akumulace energie do ohřevu vody pro vytápění se stává potřebné rozšířit tuto práci také o analýzu tepelné energie. V současné době se pro vytápění v podniku využívá automatický kotel na hnědé uhlí nacházející se v samostatné místnosti objektu. Do této technické místnosti by se následně mohla umístit akumulární nádrž pro ohřátou vodu z přebytečné vyrobené elektrické energie. Tím by se zamezilo delšímu teplovodnímu rozvodu mezi zmíněnou nádrží a kotlem, což by vedlo k nižším tepelným ztrátám v rozvodu.

První část této kapitoly se věnuje spotřebě uhlí pro vytápění a jeho nákladovosti v minulých letech. Pro vyhodnocení přidání topného zdroje k současnemu zařízení se určí potřebná tepelná energie pro vytápění objektu, přičemž se k jejímu stanovení vyžaduje znalost tepelných ztrát.

Ty jsou dány použitým stavebním materiálem, celkovou konstrukcí ochlazované obálky a dalšími vlastnostmi objektu.

4.3.1. Spotřeba uhlí

Zásobování podniku uhlím probíhá vždy jednou ročně a k vypracování této práce byly poskytnuty informace o dodávaném množství uhlí spolu s jeho cenou během let 2020 až 2023 (viz tabulka č. 5). Znatelnou změnu v dodávaném množství vykazuje rok 2022, což je dle firmy způsobeno velikostí skladu pro palivo. Přibližně jednou za tři roky totiž dochází k jeho úplnému vyprázdnění a v daném roce se objednává zvýšené množství, aby bylo docíleno kompletního naplnění.

rok	množství [t]	cena za jednotku [Kč/t]	cena celkem [Kč]
2020	5,79	2 719	15 743
2021	5,73	2 967	17 001
2022	10,00	3 711	37 107
2023	6,83	5 099	34 827

Tabulka č. 5: Dodávky paliva pro vytápění objektu

V jednotlivých letech tak nedochází k závozu množství uhlí, které bylo spotřebováno v předešlém roce. Proto se pro výpočet průměrné roční spotřeby uhlí použil následující vztah. Z jeho výsledku vyplývá, že roční spotřeba uhlí činí přibližně 7,41 tuny.

$$s_{\text{roční}} = \frac{s_{2022} - \frac{s_{2020} + s_{2021} + s_{2023}}{3}}{3} + \frac{s_{2020} + s_{2021} + s_{2023}}{3} \quad (3)$$

$$= \frac{10,00 - \frac{5,79 + 5,73 + 6,83}{3}}{3} + \frac{5,79 + 5,73 + 6,83}{3} = 7,41 \frac{t}{\text{rok}}$$

kde $s_{\text{roční}}$ průměrná roční spotřeba uhlí [t/rok]

s_i spotřeba uhlí v i -tém roce [t/rok].

4.3.2. Tepelné ztráty a roční potřeba tepelné energie

Následující část textu slouží ke stručnému seznámení s problematikou tepelných ztrát, potřeb tepelné energie a jejich výpočty. Vzhledem k povaze této práce bude popis zjednodušen pouze na základní principy a vztahy.

Hodnota tepelných ztrát charakterizuje každý objekt, a to z pohledu množství unikajícího tepelného výkonu do okolního prostředí. Základními příčinami tepelných ztrát jsou úniky tepla způsobené prostupem stavebních konstrukcí, vyzářovanou energií a výměnou vzduchu.

Ztráty prostupem tepla vycházejí ze specifické tepelné vodivosti λ udávající schopnost materiálu vést tepelný tok. Čím vyšší hodnotu materiál vykazuje, tím se tepelný tok skrz něj snadněji dostane, přičemž každý stavební prvek je definován mimo materiál i svou tloušťkou. Pro tepelný odpor stavebního prvku tak platí následující vztah.

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \quad (4)$$

kde R_j tepelný odpor stavebního prvku z materiálu j [$m^2 \cdot K/W$],
 λ_j tepelná vodivost materiálu j [$W/m \cdot K$],
 d_j tloušťka stavebního prvku z materiálu j [m]. [56]

Pokud jednotlivé stavební prvky na sebe přiléhají a tepelný tok je k nim kolmý, odpory se sčítají. Přiléhající vrstvu mohou představovat také tenké vrstvy vzduchu na každé straně složené konstrukce, která je tvořena skladbou více stavebních prvků. Hodnota součinitele tepelné vodivosti takového vzduchu závisí na rychlosti jeho proudění.

$$R_i = \sum R_j \quad (5)$$

kde R_i tepelný odpor stavební konstrukce i [$m^2 \cdot K/W$],
 R_j tepelný odpor stavebního prvku z materiálu j [$m^2 \cdot K/W$]. [56]

Ze zjištěného tepelného odporu konstrukce lze následně vypočítat součinitel prostupu tepla U_i v jednotkách $W/m^2 \cdot K$. Z jednotky součinitele prostupu tepla plyne, že tato veličina udává unikající výkon z $1 m^2$ konstrukce, jestliže rozdíl teplot na vnitřní a vnější straně činí $1^\circ C$.

$$U_i = \frac{1}{R_i} \quad (6)$$

kde U_i součinitel prostupu tepla stavební konstrukce i [$W/m^2 \cdot K$],
 R_i tepelný odpor stavební konstrukce i [$m^2 \cdot K/W$]. [56]

Pro výpočet tepelné ztráty prostupem tepla konstrukcí platí následující vztah:

$$H_i = U_i \cdot A_i \cdot b_i \cdot (\theta_i - \theta_o) \quad (7)$$

kde H_i tepelná ztráta vedením konstrukcí i [W],
 A_i plocha konstrukce i [m^2],
 b_i činitel teplotní redukce respektující vliv venkovního prostředí[-],
 θ_i teplota uvnitř objektu [$^\circ C$],
 θ_o teplota venkovního prostředí [$^\circ C$] (tabulková venkovní výpočtová teplota z [57]). [56]

Celkové tepelné ztráty prostupem tepla jsou dány součtem tepelných ztrát veškerých konstrukcí, tvořící obálku objektu. Při výpočtu těchto ztrát se musejí zohlednit také tepelné mosty, pro jejichž stanovení lze využít více postupů. Tepelné mosty vznikají vlivem zvýšené propustnosti tepelného toku v lokálních místech, například mezi oknem a k němu přilehlou stěnou. Po přičtení ztrát větráním se získají celkové tepelné ztráty objektu. Ty mohou být sníženy o vnitřní tepelné zisky, například ze spotřebičů, a dále o teplo získané slunečním zářením.

Hodnota roční potřeby tepelné energie na vytápění udává množství tepelné energie, kterou je nutné do objektu dodat během jednoho roku, resp. během jedné topné sezóny, a to za účelem udržení průměrné požadované vnitřní teploty uvnitř prostoru. Tato potřeba se v základu dělí na potřebu tepelné energie na pokrytí ztrát prostupem tepla a na pokrytí ztrát větráním. Základní vzorce jejich výpočtů jsou následující:

$$Q_{pr} = \frac{H_{pr} \cdot T \cdot (\theta_{ai} - \theta_{ao})}{\theta_{ai} - \theta_o} \quad (8)$$

$$Q_v = \frac{H_v \cdot T \cdot (\theta_{ai} - \theta_{ao})}{\theta_{ai} - \theta_o} \quad (9)$$

$$Q_c = Q_{pr} + Q_v + Q_o \quad (10)$$

- kde
- Q_{pr} roční potřeba tepelné energie na pokrytí ztrát prostupem tepla [Wh],
 - Q_v roční potřeba tepelné energie na pokrytí ztrát větráním [Wh],
 - Q_c celková roční potřeba tepelné energie na vytápění [Wh],
 - Q_o roční tepelná energie z tepelných zisků [Wh],
 - H_{pr} ztráty prostupem tepla [W],
 - H_v ztráty způsobené větráním [W],
 - T počet topných hodin v roce [h],
 - θ_{ai} průměrná teplota uvnitř objektu v topném období [°C],
 - θ_{ao} průměrná teplota venkovního prostředí v otopném období [°C]

(tabulková hodnota z [64] odlišná od θ_o),

θ_o teplota venkovního prostředí [°C] (tabulková venkovní výpočtová teplota z [57]). [56]

4.3.3. Charakteristika ochlazovaných stavebních konstrukcí

Výpočtu tepelných ztrát a následnému zjištění potřeby tepelné energie pro vytápění předchází podrobnější charakterizace stavebních konstrukcí. Informace o orientaci budovy, základní vlastnosti střechy a vnitřní uspořádání objektu již byly uvedeny v kapitole 4.1. Dispozice objektu a zde budou doplněny technické parametry použitých stavebních konstrukcí. Pro připomenutí, vytápěný prostor objektu vymezuje ochlazovanou obálku, jenž je z jedné poloviny obvodu stěn ochlazována vnějším prostředím a zbytek nevytápěnými prostory sloužící jako sklady, případně ke zkouškám ohřevů.

Z pohledu určení tepelných ztrát se v této práci považují vytápěné místnosti jako jeden prostor, jelikož se teplota uvnitř místností od sebe neliší. Zároveň jsou po většinu času místnosti vzájemně propojeny otevřenými dveřmi. Vnitřní podlahová plocha tohoto prostoru je 164 m² (32,8 m x 5 m), výška stěny na jižní straně 3,1 m a na severní straně 3,9 m.

Zed' oddělující vytápěný prostor od venkovního prostředí tvoří betonové části z keramzitu o tloušťce 300 mm s polystyrenovým zateplením 150 mm. Druhá část stěn vytápěného prostoru, sousedící s nevytápěným prostorem, je ze stejného materiálu, avšak bez zateplení. Pro určení součinitele prostupu tepla U_i se vychází ze součinitele tepelné vodivosti λ [W/m.K]. Ten se pro beton z keramzitu získal ze seznamu [58], a z důvodu neznalosti přesné hustoty použitého typu se předpokládá střední hodnota 0,48 W/m.K. Dle výpočtu vychází součinitel prostupu tepla pro tento typ materiálu 1,6 W/m².K. Součinitel tepelné vodivosti se u polystyrenu uvažuje 0,04 W/m.K a při zmíněné tloušťce 150 mm se jeho součinitel prostupu tepla rovná 0,26 W/m².K.

Do venkovní části ochlazované obálky vytápěného prostoru jsou usazena plastová okna s dvojsklem, jejichž přesný typ není znám. Pro výpočet tepelných ztrát se pro podobný typ oken uvádí hodnota kolem 1,5 W/m².K. Obdobná komplikace nastává u vchodových dveří s předpokládaným součinitelem prostupu tepla 2,3 W/m².K. [56] Na venkovní straně ochlazované obálky se také nacházejí garážová vrata s U_i rovnému 1,6 W/m².K (hodnota získána z protokolu o zkoušce od Technického a zkušebního ústavu stavebního Praha).

Mezi nevytápěnou a vytápěnou částí se nalézají dvoje velké dveře z tvrdého dřeva o celkové ploše 12,5 m². Stanovení jejich součinitele prostupu tepla vychází ze součinitele tepelné vodivosti dřevem s kolmým tokem tepla vůči vláknům s $\lambda = 0,49$ W/m.K [58]. Tloušťka těchto dveří činí 150 mm a součinitel prostupu tepla tímto materiálem je 3,3 W/m².K.

K izolaci podlahy se při rekonstrukci využilo extrudovaného polystyrénu o tloušťce 80 mm se součinitelem prostupu tepla rovnému $U_i = 0,43$ W/m².K.

Střešní krytinu objektu tvoří sendvičové panely Kingspan s tloušťkou 100 mm a součinitelem prostupu tepla $U_i = 0,22$ W/m².K. [59]

název	součinitel prostupu tepla U_i [W/m ² .K]	plocha [m ²]
venkovní stěna	1,6	88
zateplení venkovní stěny	0,26	88
stěna s nevytápěným prostorem	1,6	133
okna	1,5	17,5
vchodové dveře	2,3	4,3
garážová vrata	1,6	9,5
dřevěné dveře	3,3	12,5
podlaha	0,43	164
střecha	0,22	166

Tabulka č. 6: Vlastnosti ochlazované konstrukce

4.3.4. Výpočet tepelných ztrát

Pro určení tepelných ztrát se v této práci využilo online kalkulačky dostupné na internetových stránkách stavba.tzb-info.cz [60]. Důvodem její aplikace se stává, že by podrobnější stanovení tepelných ztrát, například přímo z postupů technických norem, přesahovalo rámec této práce. Výpočet potřeby tepelné energie na základě zjištěných tepelných ztrát prostřednictvím tohoto nástroje se proto následně porovná s vypočtenou hodnotou potřeby ze spotřebovaného množství

uhlí, jeho výhřevnosti a účinnosti kotle. Tím se docílí ověření správnosti přibližné vypočtené tepelné potřeby objektu.

Pro výpočet tepelných ztrát je nutné uvést následující charakteristické vlastnosti objektu. Pro vnitřní teplotu vytápěného prostoru se volí průměrná hodnota 18 °C. Neboť v čase 8:00 – 16:00 se vytápí na 20 °C a po zbytek času dne na 17 °C.

lokality	Mladá Boleslav
vnitřní teplota v otopném období	18 °C
objem prostoru (vnější)	725 m ³
celková podlahová plocha	164 m ²
trvalý tepelný⁶	630 W

Tabulka č. 7: Charakteristika prostoru pro výpočet tepelných ztrát

Ke vstupním parametrům výpočtu se dále řadí bezrozměrné činitele teplotních redukcí, které se vztahují k ochlazovaným konstrukcím.

činitel teplotní redukce [-]	konstrukce
0,49	stěna sousedící s nevytápěným prostředím podlaha umístěné na zemině
1,00	stěny sousedící s venkovním prostředím
1,15	okna a jiný druh výplně stěny z vytápěného do venkovního prostředí
1,25	lehké střechy s menším sklonem než 45 °

Tabulka č. 8: Činitele teplotní redukce respektující vliv prostředí [61]

Zadáním veškerých vstupních parametrů charakterizujících vybraný podnik jsem zjistil **předpokládané tepelné ztráty v celkové výši 16,4 kW.**

4.3.5. Roční potřeba tepelné energie na vytápění

Nyní, při znalosti tepelných ztrát, je umožněn výpočet roční potřeby tepla k vytápění výše definovaného prostoru. K tomu se využilo podobně jako u stanovení tepelných ztrát internetového nástroje vytapani.tzb-info.cz [62]. Při zachování uvedených vstupních parametrů výpočtu, doplněnými o umístění objektu, jeho tepelné ztráty, průměrnou vnitřní teplotu 18 °C a venkovní výpočtovou teplotu -12 °C, se uváděná roční potřeba tepelné energie pro vytápění rovná 117,1 GJ.

Kontrolní výpočet

Pro ověření správnosti výše aplikovaného postupu, který závisí na stanovených součinitelů prostupů tepla, použité metodice výpočtu a jiných předpokládaných veličinách, se provede orientační kontrola. Pomocí ní se prokáže, zdali lze takto vypočtenou roční potřebu energie na vytápění z celkových tepelných ztrát považovat za reálnou. Kontrolní výpočet vychází

⁶ Uvažován trvalý tepelný zisk od osob rovnajícímu se 70 W/os.

ze znalosti výhřevnosti uhlí, konkrétněji typu Ořech 2 s výhřevností 17,6 GJ/t [63], průměrné roční spotřeby uhlí 7,41 tuny a účinnosti kotle okolo 83 % [64].

Z výhřevnosti uhlí a spotřebovaného množství se vypočte roční energie v palivu.

$$M_{pal} = s_{roční} \cdot H_{pal} = 7,41 \cdot 17,6 = \mathbf{130,4 \frac{GJ}{rok}} \quad (11)$$

kde M_{pal} roční energie v palivu [GJ/rok],

$s_{roční}$ průměrná roční spotřeba uhlí [t/rok],

H_{pal} výhřevnost paliva [GJ/t].

Z roční energie v palivu a účinnosti systému se určí přibližná roční potřeba energie na vytápění.

$$Q_r = M_{pal} \cdot \eta_t = 130,4 \cdot 0,83 = \mathbf{108,2 \frac{GJ}{rok}} \quad (12)$$

kde Q_r roční potřeba tepelné energie na vytápění [GJ/rok],

M_{pal} roční energie v palivu [GJ/rok],

η_t účinnost topného systému [-].

Porovnáním hodnot udávající roční potřebu tepelné energie z internetové kalkulačky a výpočtu z výhřevnosti paliva, jeho spotřeby a účinnosti kotle je možné prohlásit, že reálná potřeba se může pohybovat kolem takto spočtených hodnot.

V této práci dále budu předpokládat průměrnou hodnotu z dvou zjištěných potřeb tepelné energie na vytápění, tedy 112,7 GJ/rok.

5. TECHNICKÁ ČÁST MODELU

K dosažení cíle práce, který spočívá ve stanovení optimálních parametrů uvažovaných fotovoltaických systémů, na základě ekonomické efektivity, předchází nutnost vypracování technické části modelu. Před vytvořením modelu s energetickými bilancemi je nezbytné se vypořádat s predikcí budoucí spotřeby elektrické energie, a to s ohledem na provoz podniku.

Další součástí modelu již představuje výpočetní část věnující se potenciální výrobě elektrické energie FV zdrojem. Množství této energie závisí kromě technických vlastností použitých komponent na celkovém instalovaném výkonu, orientaci panelů na jih a na jejich svislém náklonu. Vzhledem ke stavebním atributům objektu bude v práci uvažován jihovýchodní azimut -11° . Primárními optimalizovanými parametry každé varianty výstavby bude tedy mimo jiné instalovaný výkon a svislý náklon panelů.

5.1. Budoucí vývoj spotřeby elektrické energie

Odhad budoucího vývoje spotřeby vychází z výše provedené analýzy historické spotřeby objektu. Z té vyplývá, že i v dalších letech lze očekávat výskyt špičkových hodnot. Při snaze předpovědět jejich velikosti a časy výskytů, které závisejí na vlastnostech budoucích neznámých zakázek, by se do výpočtu mohla zanázt větší chyba než při předpokladu jejich zachování z roku 2023. S tím se pojí rozhodnutí, že pro určení spotřeby v nadcházejících letech nebudou použity průměrné hodnoty spotřeb z let 2021 až 2023. Následkem toho by došlo ke zkruslení spotřebního diagramu v podobě jeho vyhlazení a průběh by neodpovídal značným sledovaným výkyvům.

5.1.1. Eskalace spotřeby elektrické energie

Zvážena byla také možnost opatřit predikci meziročním nárůstem či poklesem ze sledovaných změn mezi minulými lety. Nicméně s ohledem na pandemickou krizi v roce 2020 není možné brát její nárůst mezi lety 2020 a 2021 za relevantní. Meziroční nárůst 11,3 % mezi lety 2021 a 2022 byl ovlivněn dalším jednorázovým vlivem, kdy firma na začátku roku 2022 přijala nového zaměstnance. Při porovnání spotřeb v roce 2022 a 2023 byl zjištěn nárůst 5,7 %, ale ani u něho nelze prohlásit, že by se jednalo o pravidelnou predikovanou eskalaci pro další roky.

Za účelem odhadnutí budoucího vývoje spotřeby bylo dále osloveno vedení podniku. To očekává její navýšení začátkem příštího roku, a to v důsledku plánu přijmout nového zaměstnance. Současně bylo sděleno, že nelze předpokládat další změnu v počtu zaměstnanců ani nárůst či pokles produkce vyráběných zařízení. Získané informace jsou tak zohledněny 5% nárůstem spotřeby v roce 2025. Dosažená míra navýšení spotřeby 11,3 %, která byla zpozorována při příchodu zaměstnance v roce 2022 nebyla použita z důvodu, že k takto vysokému nárůstu mohly přispět i jiné ojedinělé vlivy.

5.2. Výroba elektrické energie

Výrobní část modelu se zaměřuje na výpočet množství vyráběné elektrické energie v každé hodině v roce. Celý model vychází z hodinových intenzit slunečního záření, které dopadá na jednotku plochy, přičemž velikost a časový průběh intenzity souvisí s jejím sklonem a orientací na jih. Při jejich znalosti, spolu s účinností přeměny sluneční energie na elektrickou, již lze dosáhnout predikce vyráběné elektrické energie. Pro její výpočet dále není nutné zohledňovat zastínění panelů, jelikož na střechu objektu po celý den nedopadá žádný stín. Zároveň se předpokládá, že rozmístění panelů nezpůsobí jejich vzájemné zastínění a ojedinele napadnutý sníh bude pravidelně odklizen.

5.2.1. Vstupní data z PVGIS

Pro vypracování modelu byly hodnoty dopadajícího záření na jednotku plochy získány z online nástroje vyvinutého Evropskou komisí s názvem PVGIS. Jeho databáze umožňuje získat intenzity ozáření pro různě nakloněné a orientované plochy v odlišných lokacích. Vzhledem k záměru optimalizovat sklon panelů s azimutem -11° byly z databáze PVGIS-SARAH2 získána data ozáření v místě vybraného podniku pro nakloněné plochy od 10° do 70° . Dolní hranice náklonu odpovídá sklonu střešní krytiny, a tudíž k instalaci takto nakloněných panelů není potřeba pořizovat žádné doplňující konstrukce pro zvýšení jejich sklonu.

5.2.2. Výpočet výroby elektrické energie

Výpočet celkově vyráběné elektrické energie vychází z měrné výroby v jednotkách kWh/kW_p. Ta je dána účinností FV panelu, která udává množství generované energie z jednotky dopadající intenzity záření na aktivní plochu panelu A [m²]. Aktivní plochou se myslí plocha umožňující přímou přeměnu energie a nespadá do ní například rám panelu či vodivé obvody pro pospojování FV článků. Z generované energie je nutné dále odečíst ztráty způsobené FV měničem. Ztráty vedením elektrického proudu se ve výpočtu zanedbávají.

$$v_{n,s,měr} = \frac{I_{n,s} \cdot A \cdot \eta_p}{P_p} \cdot \eta_m \cdot t \quad (13)$$

<i>kde</i>	<i>v_{n,s,měr}</i>	<i>měrná výroba elektrické energie v hodině n při sklonu panelu s [kWh/kW_p],</i>
	<i>I_{n,s}</i>	<i>intenzita záření dopadající na plochu se sklonem s v hodině n [kW/m²],</i>
	<i>A</i>	<i>aktivní plocha panelu [m²],</i>
	<i>η_p</i>	<i>účinnost FV panelu [-],</i>
	<i>P_p</i>	<i>výkon FV panelu [kW_p],</i>
	<i>η_m</i>	<i>účinnost FV měniče [-],</i>
	<i>t</i>	<i>časový interval [h] (pro hodinové bilance roven 1).</i>

Z měrné výroby lze vypočítat celkovou hodinovou výrobu elektrické energie závislé na instalovaném výkonu a uvažovaném sklonu panelů.

$$v_{n,s,i} = v_{n,s,měr} \cdot P_{inst} \quad (14)$$

kde $v_{n,s,i}$ vyrobená elektrická energie v hodině n , při sklonu panelů s a instalovaném výkonu i [kWh],

$v_{n,s,měr}$ měrná výroba elektrické energie v hodině n při sklonu panelu s [kWh/kWp],

P_{inst} celkový instalovaný výkon FV zdroje [kWp].

Ve vypracovaném modelu se uvedený výpočet výroby provádí pouze v 1. roce provozování. V dalších letech se zohledňuje degradace FV panelů, která způsobuje postupné snižování vyráběného množství elektrické energie. Procentuální degradaci uvádějí výrobci v technických listech produktů, kde se rozlišuje míra degradace v prvním a v ostatních letech provozu.

5.3. Návrh variant výstavby FV zdroje

Při úvaze o investici do výstavby jednoho z navrhovaných FV systémů je vhodné uvést také tzv. nultou variantu, oproti které se budou hodnotit potencionální investice. V případě této práce se za ni považuje stav, v kterém by podnik nerealizoval žádnou investici a pokračoval v současném stavu bez zvýšených úspor energií. Jinými slovy, při zkoumání navrhovaných variant budou sledovány rozdíly oproti stávající situaci, jako jsou například vzniklé úspory či zvýšené provozní výdaje a náklady ve formě odpisů.

5.3.1. Systém bez akumulace energie

První posuzovanou možností výstavby s hledáním optimálním instalovaným výkonem a sklonem panelů je systém bez akumulace energie. Funkce systému spočívá v částečném či úplném pokrytí aktuální spotřeby objektu. Při takovém využití 1 kWh vyrobené energie dochází k úspoře ve výši měrné variabilní ceny z vyúčtování (regulované i neregulované části).

Ve vztahu s distribuční sítí mohou nastat v zásadě dvě situace. Pokud vyrobená energie převyšuje spotřebu, vzniklá přebytečná energie se dodá do sítě ve formě přetoků. Za tuto dodávku je následně subjekt odměněn částkou, jejíž výše se odvozuje od smluvené výkupní ceny. V opačné situaci subjekt odebírá ze sítě potřebné množství energie rovnající se rozdílu mezi spotřebovanou a vyrobenou energií, a to za standardní cenu uvedenou ve vyúčtování. Výhodu výstavby systému bez akumulace lze pozorovat především v relativně nízké pořizovací ceně v porovnání se systémy doplněnými o prvky umožňující akumulaci.

5.3.2. Systém s akumulací do baterie

Ve většině případů nedosahuje výkupní cena za dodanou přebytečnou jednotku elektrické energie do sítě stejného ekonomického užítka jako by mohla činit vzniklá úspora plynoucí ze spotřeby takové jednotky. Zvýšeného užítka může být docíleno akumulací této energie do baterií

a její využití v okamžiku, kdy aktuální výroba zdroje nepokrývá aktuální spotřebu objektu. Tím se dosáhne vyšší ekonomické úspory, než by činil příjem za dodávku stejného množství energie do sítě. To za podmínky, že variabilní cena elektřiny převyšuje výkupní cenu.

Výše popsany princip zvýšení ekonomického užítu je doprovázen nárústem ceny počáteční investice, jelikož s možností uchování energie se pojí povinnost pořízení bateriového uložiště, jehož cena narůstá se zvyšující se jeho kapacitou. Tudíž se u systému s akumulací do baterie stává vhodné stanovit spolu s optimálním instalovaným výkonem a sklonem panelů také optimální instalovanou kapacitu uložiště. Následně může být porovnána ekonomická efektivita optimálně navrženého systému s akumulací do baterie s optimálně navrženým systémem bez akumulace.

5.3.3. Systém s akumulací do vody

Třetí a zároveň poslední navrhovaná varianta je založena na transformaci přebytečně vyrobené elektrické energie na energii tepelnou ve formě teplé vody a její akumulaci v příslušné nádrži. Uchovaná energie slouží k částečnému pokrytí tepelné spotřeby objektu, kdy ohřátá voda plní funkci přehřevu otopné vody vstupující do hlavního zdroje vytápění. Přehřevem se docílí úspor ve formě ušetřeného paliva na vytápění. V této variantě se tak neuvažuje ohřev TUV, které by mohlo přinést další zvýšení úspor. Na druhou stranu by se pro možnost kombinace ohřevu otopné vody s ohřevem TUV vyžadovalo pořízení dražší akumulací nádrže disponující tepelným výměníkem.

V dalších částech textu bude tepelnou potřebou objektu myšlena pouze potřeba na vytápění, bez potřeby na přípravu TUV.

Podobně jako u předešlého systému s akumulací se i v tomto systému nachází určité akumulací zařízení s omezenou kapacitou. Na rozdíl od bateriového uložiště se však nejedná o elektrickou kapacitu udávající potenciální množství uchované elektrické energie, ale o kapacitu tepelnou. Ta vyjadřuje maximální tepelnou energii, kterou lze pro pozdější pokrytí tepelných potřeb uchovat v akumulací nádobě. Její hodnota je přímo úměrná objemu akumulací nádoby a pro tento systém tak nebude hledána optimální kapacita uložiště energie, nýbrž optimální objem akumulací nádrže.

5.4. Výpočet hodinových potřeb tepelné energie

Navržený model udává energetické bilance a z toho plynoucí úspory v hodinových intervalech. Jelikož jsou ve variantě s akumulací do vody uvažovány úspory vzniklé částečným pokrytím potřeb tepelnou energií z přebytečně vyrobené elektrické energie, je nutné znát také tepelné potřeby v hodinových intervalech. Následně budou tyto potřeby z části uspokojovány dostupnou tepelnou energií získanou z přebytků, čímž vzniknou úspory oproti 0. variantě. V té by se tepelné potřeby pokrývaly pouze teplem z kotle na uhlí.

Hodinové potřeby tepla vycházejí z předpokládané roční potřeby z kapitoly 4.3.5. Roční potřeba tepelné energie na vytápění. Z důvodu nemožné predikce budoucího počasí, ovlivňující výši potřeb, jsou výpočty prováděny s využitím průměrných denních venkovních teplot. Celý postup

odhadu tepelných potřeb v hodinových intervalech lze rozčlenit do následujících, na sebe navazujících, bodů. Ve zmíněném postupu bylo zároveň přijato zjednodušení spočívající v zanedbání tepelné setrvačnosti.

1. Začátek a konec období vytápění

Za účelem vymezení dnů v roce, v kterých dochází k potřebě vytápět objekt, se vychází z vyhlášky č. 194/2007. Ta definuje začátek a konec dodávky energie pro vytápění následovně.

„Dodávka tepelné energie se zahájí v otopném období, když průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušném místě nebo lokalitě poklesne pod +13 °C ve 2 dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad +13 °C pro následující den.“ [65]

K takovému určení je potřeba znát aktuální teploty venkovního prostředí či jejich blízkou předpověď. Tu nelze nikterak přesně odhadnout, a proto budou předpokládány průměrné denní venkovní teploty získané z dat Operátora trhu o normálových teplotách v dané oblasti. Z analýzy dat vyplývá, že vytápění objektu lze očekávat v období 19. 9. až 9. 5. Do tohoto období tak bude rozdělena celá roční potřeba energie na vytápění.

2. Denní potřeby tepelné energie v otopném období

S respektováním faktu, že během období vytápění není velikost potřeby tepelné energie konstantní, se jednotlivým dnům přiřazuje potřeba na základě rozdílu průměrné vnější a průměrné vnitřní teploty. Čím vyšší diference obou teplot je, tím větší část roční potřeby energie připadá danému dnu. Výpočet lze vyjádřit následujícím vztahem.

$$Q_d = Q_r \cdot \frac{\theta_{di} - \theta_{do}}{\sum_1^D (\theta_{di} - \theta_{do})} \quad (15)$$

kde Q_d *denní potřeba tepelné energie na vytápění ve dne d [MJ/den],*

Q_r *celková roční potřeba energie na vytápění [MJ/rok],*

θ_{di} *průměrná vnitřní teplota ve dne d [°C],*

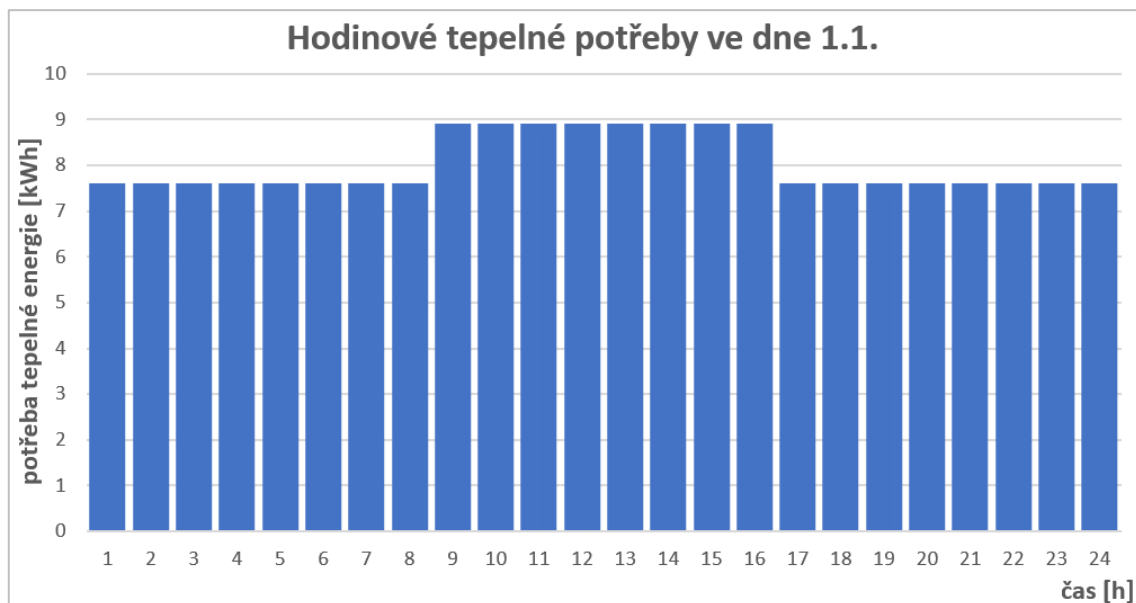
θ_{do} *průměrná vnější teplota ve dne d [°C],*

D *počet dnů v otopném období [-].*

3. Hodinové potřeby tepelné energie

Z dosažených hodnot denních potřeb mohou být v posledním kroku stanoveny požadované tepelné potřeby v hodinových intervalech. Pokud by v objektu bylo vytápěno konstantně na 18 °C, bylo by možné hodinovou potřebu získat podílem denní potřeby a délky dne v hodinách. Ve vybraném podniku tento postup nelze uplatnit, poněvadž se během dne mění požadovaná vnitřní teplota nastavená od 8 do 16 hodin na 20 °C a po zbytek dne na 17 °C. Tím se zachovává průměrná vnitřní teplota 18 °C využitá u výpočtu denní potřeby, nicméně dochází k rozdílné tepelné potřebě v průběhu dne. Předpokládá se tak, že v odpoledních hodinách je hodinová tepelná potřeba vyšší a po zbytek dne nižší, než v případě vytápění na konstantních 18 °C. Proto jsou hodinové potřeby tepelné energie počítány zvlášť pro oba režimy vytápění.

Výsledek takové úvahy je znázorněn v následujícím grafu hodinových potřeb prvního den v roce. V něm celková potřeba činí 674 MJ neboli 187 kWh.



Graf č. 6: Znáznornění hodinových potřeb tepelné energie ve dne 1.1.

5.5. Výpočetní modely variant

Pro každou variantu je vytvořen model se záměrem stanovit energetické bilance. Ty se vypočítávají pro každou hodinu v roce, po celou dobu ekonomické životnosti 25 let. Pomocí energetických bilancí se zjišťují vzniklé energetické úspory a celkové přetoky energie do distribuční sítě. Pro následné vyhodnocení systémů jsou bilance v každém roce sečteny.

Výpočty modelů vycházejí především z předpokládané spotřeby a výroby závislé na instalovaném výkonu a sklonu panelů. Energetické bilance systémů s akumulací závisí také na technických vlastnostech použitých uložišť a jejich dimenzi.

5.5.1. Systém bez akumulace energie

Energetická bilance varianty bez akumulace závisí pouze na vyhodnocování aktuální spotřeby a výroby. Z toho plynou úspory elektrické energie, které jsou označovány v technickém modelu jako spotřeba z FVE a jejich výpočet se řídí podmíněným vztahem.

$$\text{Pokud platí: } v_{n,s,i} \geq s_n \rightarrow SFVE_n = s_n \quad (16)$$

$$v_{n,s,i} < s_n \rightarrow SFVE_n = v_{n,s,i}$$

kde $SFVE_n$ spotřeba z FVE v hodině n [kWh],

$v_{n,s,i}$ vyrobená elektrická energie v hodině n , při sklonu panelů s a instalovaném výkonu i [kWh],

s_n spotřebovaná elektrická energie v hodině n [kWh].

Dále se v hodinových intervalech určují toky elektrickou přípojkou objektu, tedy kolik energie ze sítě odebírá či kolik energie se do ní dodává. V modelu se tyto toky nacházejí pod pojmem bilance toků z/do sítě a platí pro ně následující vzorec.

$$BS_n = v_{n,s,i} - s_n \quad (17)$$

kde BS_n *bilance toků z/do sítě v hodině n [kWh],*

$v_{n,s,i}$ *vyrobená elektrická energie v hodině n, při sklonu panelů s a instalovaném výkonu i [kWh],*

s_n *spotřebovaná elektrická energie v hodině n [kWh].*

Tato veličina nabývá záporných hodnot, pokud se jedná o spotřebu ze sítě. V opačné situaci, kdy se energie do sítě dodává, je hodnota kladná. Za účelem navazujícího zjištění celkových příjmů, se tak pro každý rok sčítají pouze kladné hodnoty a není prováděn součet všech bilančních toků z/do sítě.

5.5.2. Systém s akumulací do baterie

Jak již bylo uvedeno výše, výpočet energetických bilancí systému s akumulací do baterie vyžaduje zohlednění parametrů bateriového uložení. V modelu se uvažují následující:

- jmenovitá kapacita akumulátoru,
- životnost akumulátoru v cyklech,
- doporučená hloubka vybití,
- účinnost nabíjení a vybíjení,
- výměna baterie.

Respektování životnosti je založeno na přepočtu jmenovité kapacity na využitelnou kapacitu pomocí doporučené hloubky vybití. Při užívání takto sníženého potenciálu lze předpokládat dobu životnosti uváděnou u výrobců kolem 6 000 cyklů při doporučené hloubce vybití 90 %. Konec životnosti baterie spojený s jejím vyřazením a nemožností energii nadále akumulovat, se v modelu vyhodnocuje na základě pomocného výpočtu, pomocí kterého se v každé hodině určuje aktuálně dosažený počet cyklů. Pokud konec životnosti bateriového uložení nastane před koncem životnosti projektu, uživatel může zvolit, zda předpokládá jeho výměnu či nikoliv. Z porovnání výsledků obou možností může být vyhodnoceno, jestli se výměna ekonomicky vyplatí.

Přítomnost bateriového uložení je doprovázena také ztrátami ukládané elektrické energie. První část energie se ztrácí již v hybridním měniči, a to vlivem jeho účinnosti při vybíjení a nabíjení připojené baterie. Další ztráty vznikají v důsledku účinnosti samotného akumulátoru. Celková účinnost při nabíjení a vybíjení je dána součinem obou zmíněných účinností.

Energetická bilance systému

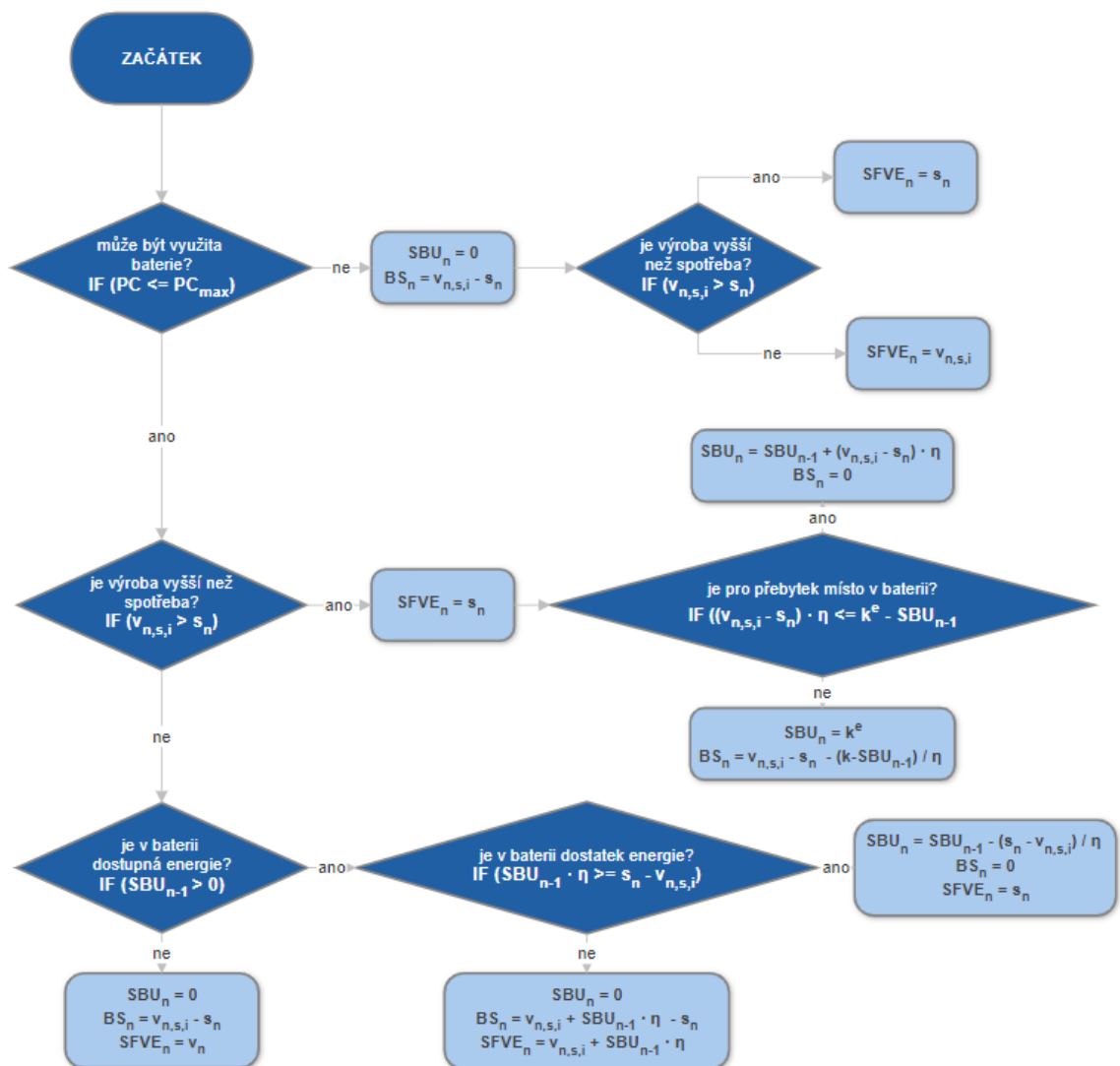
Volba výše popsaných parametrů charakterizující bateriové uložení, spolu s parametry výroby a spotřeby elektrické energie, mají celkový dopad na energetickou bilanci systému. Kromě

spotřeby z FVE a bilance toků z/do sítě model umožňuje sledovat aktuální množství uložené energie v baterii.

Priority využití vyrobené energie

Ve výpočetním modelu se primárně vyráběnou elektřinou pokrývá aktuální spotřeba. V případě, že je spotřeba plně uspokojena, přebytečná energie se začne ukládat do bateriového úložiště. Pokud již energii do baterie nelze dodávat, z důvodu dosažení maxima její využitelné kapacity, vznikají přetoky do sítě. V opačném případě, kdy aktuální výroba nepokrývá aktuální spotřebu, se využívá dostupné energie z baterie. Při stavu úplného vybití se potřebné množství energie odebere ze sítě.

Pro přehledné znázornění rozhodovacího procesu slouží vývojový diagram s uvedenými podmínkami a vztahy pro výpočet spotřeby z FVE, bilance toků z/do sítě a stavu nabití baterie.



Graf č. 7: Rozhodovací proces při výpočtu energetických bilancí v systému s baterií

Význam použitých zkratk (pozn.: index n značí n -tou hodinu):

PC_n	počet dosažených cyklů [-],
PC_{max}	životnost bateriového uložení v cyklech [-],
k^e	využitelná kapacita bateriového uložení [kWh],
η	účinnost nabíjení a vybíjení [%],
SBU_n	stav nabití bateriového uložení [kWh],
BS_n	bilance toků z/do sítě [kWh],
$SFVE_n$	spotřebovaná elektrická energie z FVE [kWh],
$v_{n,s,i}$	vyrobená elektrická energie při sklonu panelů s a instalovaném výkonu i [kWh],
s_n	spotřebovaná elektrická energie [kWh].

5.5.3. Systém s akumulací do vody

Podobně jako u předešlého způsobu akumulace je vhodné uvést na začátku popisu modelu příslušné parametry akumulčních nádrží, které ovlivňují energetickou bilanci tohoto systému. Těmito parametry jsou:

- objem akumulční nádrže,
- maximální teplota vody v nádobě,
- tepelné ztráty,
- životnost akumulčního zařízení.

Maximální tepelná kapacita vody v nádrži neboli maximální množství tepelné energie, kterou lze uchovat pro pozdější pokrytí tepelných potřeb v akumulční nádrži, se stanoví z celkového objemu, maximální povolené teploty vody v nádobě a z teploty vratné vody. Při určení poslední jmenované teploty bylo přijato zjednodušení v její konstantní hodnotě 20 °C. Maximálně povolená teplota vody se pro většinu akumulčních nádob udává 90 °C.

$$k^t = \frac{V}{1000} \cdot \rho_{H2O} \cdot c_{H2O} \cdot (\theta_{max} - \theta) \quad (18)$$

kde k_t maximální tepelná kapacita vody v nádrži [J],

V objem vody v nádržích [l],

ρ_{H2O} měrná hustota vody [kg/m³],

c_{H2O} měrná tepelná kapacita vody [J/(kg.K)],

θ_{max} maximální povolená teplota vody v nádrži [°C],

θ teplota vratné vody do nádrží [°C].

Z předpokládané 100% účinnosti topných jednotek vyplývá, že k získání 1 kWh tepelné energie ve formě ohřáté vody se spotřebuje 1 kWh přebytečně vyrobené elektrické energie. Maximální tepelná kapacita vody v nádrži tudíž vyjadřuje také maximální množství elektrické energie, kterou

je možné v nádobě uchovat ve formě tepelné energie. Z toho důvodu je v práci počítáno s tepelnou energií v jednotkách wathodin, stejně jako u energie elektrické.

Ve výpočetním modelu se dále uvažují tepelné ztráty způsobené tepelným únikem stěnami nádoby. Jejich velikost vychází z uváděných statických ztrát v technických listech konkrétních nádob. Při tom bylo přijato zjednodušení spočívající v konstantní hodnotě těchto ztrát, bez závislosti aktuální teploty vody v nádrži.

Energetická bilance systému

V navrženém systému s ohřevem vody vznikají i energetické úspory ve formě pokrytých tepelných potřeb vyrobenou energií. Takto vzniklé úspory se v modelu nacházejí pod bilancí s názvem spotřeba tepelné energie z FVE. Model dále disponuje bilancí s názvem stav AKU, která znázorňuje aktuální množství uchované tepelné energie v akumulární nádrži. Ostatní veličiny energetické bilance (spotřeba z FVE a bilance toků z/do sítě) mají stejný význam jako u předešlých systémů. Pouze pro jednoznačné odlišení mezi spotřebou tepelné a elektrické energie se spotřeba z FVE nazývá spotřeba elektrické energie z FVE.

Priority využití vyrobené elektrické energie

Primární účel systému s akumulací do teplé vody zůstává v pokrytí aktuální spotřeby elektrické energie a k pokrytí tepelných potřeb slouží až přebytečně vyrobená elektřina. Pokud se touto energií pokryje i aktuální tepelná potřeba objektu, dochází k její akumulaci do nádob. Přetoky do sítě vznikají až při dosažení maximální možné teploty vody uvnitř nádoby.

V případě, že přebytečně vyrobená elektrická energie nestačí k pokrytí aktuální tepelné potřeby, začne se odebírat energie z akumulárních nádrží. Pokud ani tato není dostatečná, dochází k uspokojování tepelných potřeb z kotle na uhlí. Takto popsáný postup platí pouze v období vytápění a po zbytek roční doby je funkce systému totožná se systémem bez akumulace.

Význam použitých zkratk (pozn.: index n značí n-tou hodinu):

T_z	<i>doba životnosti akumulárních nádrží [let],</i>
T	<i>aktuální doba provozu akumulárních nádrží [let],</i>
k^t	<i>maximální tepelná kapacita vody v nádrži [kWh],</i>
$SAKU_n$	<i>množství uchované tepelné energie v nádrži [kWh],</i>
$SAKU_{n-1}$	<i>množství uchované tepelné energie v nádrži po odečtení ztrát [kWh],</i>
BS_n	<i>bilance toku z/do sítě [kWh],</i>
$SFVE^n$	<i>spotřebovaná elektrická energie z FVE [kWh],</i>
$SFVE_n^t$	<i>spotřebovaná tepelná energie z FVE [kWh],</i>
s_n^e	<i>spotřebovaná elektrická energie [kWh],</i>
s_n^t	<i>potřeba tepelné energie [kWh],</i>
$v_{n,s,i}$	<i>vyrobená elektrická energie při sklonu panelů s a instalovaném výkonu i [kWh].</i>



Graf č. 8: Rozhodovací proces při výpočtu energetických bilancí v systému s ohřevem vody

5.6. Technické parametry a ceny vybraných komponent

Po obecném popisu technických modelů navrhovaných variant se tato kapitola zaměří na předvýběr komponent, z kterých by se mohly jednotlivé systémy skládat. Zároveň se uvedou jejich technické vlastnosti představující vstupní parametry modelů. Za účelem následného nacenění budou zmíněny i jejich ceny.

5.6.1. Fotovoltaické panely a konstrukce

Na trhu se v současné době nachází nepřehledné množství různých FV panelů a pro výběr konkrétního panelu se muselo zohlednit hned několik faktorů. Po rozhodnutí o použití monokrystalického typu se přihlíželo především na cenu, účinnost a poskytnutou délku záruky. Nejlépe se tak jevil panel značky Longi se špičkovým výkonem 410 W_p , účinností 21,0 %, cenou 1 931 Kč/kus [66] a poskytnutou zárukou na výkon 25 let a na materiál 12 let. Záruka výkonu zaručuje maximálně 2% degradaci v prvním roce provozu a 0,55% degradaci v letech následujících.

Konstrukce pro uchycení panelů přímo na střešní krytinu byla naceněna z hliníkových profilů a spojovacího materiálu. Výsledná cena se u této konstrukce předpokládá ve výši 580 Kč/panel. Cena konstrukce umožňující vyšší náklon panelů vychází z průměrné měrné ceny nabízených konstrukcí na internetových stránkách. Její výše byla stanovena na 1 620 Kč/panel.

5.6.2. Fotovoltaické měniče

Fotovoltaický měnič byl vybírán z kategorie symetrických třífázových měničů, přičemž ještě do nedávna by byl kladen požadavek na asymetrický typ střídače. To se změnilo v důsledku schválené novely LEX OZE 2, v které bylo přijato rozhodnutí o způsobu vyúčtování na principu součtového měření.

Pro variantu bez akumulace a s akumulací do ohřevu vody se měnič v modelu vybírá automaticky z předdefinovaného seznamu, a to v závislosti na požadované hodnotě jeho vstupního a výstupního výkonu. Například pro systém s instalovaným výkonem 10 kW_p , a s tím spojený maximálně dosažený výstupní výkon 8 kW, resp. kVA, se ze seznamu vybere měnič splňující obě podmínky. V tomto případě by to byl měnič Solax X3-MIC-8K-G2 s cenou 21 045 Kč [66].

Obdobně probíhá výběr konkrétního měniče pro systém s akumulací do baterie, avšak ze seznamu hybridních měničů. Oba seznamy obsahují pouze střídače s menším maximálním vstupním výkonem než 40 kW_p , jelikož se vyšší instalovaný výkon neočekává.

	Název	$P_{\max-in}$ [kWp]	$P_{\max-out}$ [kVA]	EURO účinnost [%]	Účinnost nabíjení/vybíjení baterie [%]	Cena [Kč/kus]
síťové	Solax X3-3K-G2	6,0	3,3	97,7 %	-	17 925 Kč
	Solax X3-5K-G2	10,0	5,5			18 900 Kč
	Solax X3-6K-G2	12,0	6,6			19 485 Kč
	Solax X3-8K-G2	16,0	8,8			21 045 Kč
	Solax 10K-G2	20,0	11,0			23 386 Kč
	Goodwe 15KT	22,5	16,5			27 872 Kč
	Goodwe 17KT	25,5	19,0			29 237 Kč
	Goodwe 20KT	30,0	22,0			31 188 Kč
	Goodwe 25KT	37,5	27,5			35 479 Kč
hybridní	Solax X3-hybrid-5.0	8,0	5,5	97,75 %	97,75 %	36 863 Kč
	Solax X3-hybrid-6.0	10,0	6,6			37 819 Kč
	Solax X3-hybrid-8.0	12,0	8,8			41 525 Kč
	Solax X3-hybrid-10.0	15,0	11,0			44 664 Kč
	Solax X3-hybrid-15.0	18,0	15,0			47 376 Kč
	Goodwe 20K-ET	30,0	22,0			67 270 Kč
	Goodwe 25K-ET	37,5	27,5			85 799 Kč

Tabulka č. 9: Uvažované měniče systému [66]

Euro účinnosti u zmíněných typů střídačů se výrazně neliší, a proto se u nich předpokládá průměrná hodnota 97,7 %. U hybridních měničů se určila účinnost nabíjení a vybíjení baterie také z jejich průměrné hodnoty rovnající se 97,75 %.

S ohledem na standardně udávanou záruku na střídače 10 let se předpokládá delší doba jejich fungování, a to 15 let.

5.6.3. Baterie a BMS

Baterie a k nim příslušné BMS jsou vybírány od výrobců Solax, Pylontech, Goodwe a Growatt. Jedná se o vysokonapěťové baterie typu LiFePO₄, které jsou kompatibilní se všemi hybridními měniči. Rozdíl v bateriových uložích, sestavených od jednotlivých výrobců, se liší minimální kapacitou, kapacitou jednotlivých bateriových modulů a cenou. Minimální kapacita je dána minimálním počtem připojených modulů k jedné BMS, kdy se kromě výrobce Solax vyžaduje připojení dvou modulů místo jednoho.

výrobce	Kapacita modulu [kWh]	Doporučené DOD [%]	Účinnost [%]	Min. počet modulů [-]	Cena modulu [Kč/kus]	Cena BMS [Kč/kus]
Solax	3,10	90 %	95 %	1	25 160 Kč	12 854 Kč
Pylontech	3,55			2	26 355 Kč	15 584 Kč
Goodwe	3,30			2	31 012 Kč	21 436 Kč
Growatt	2,56			2	22 251 Kč	18 019 Kč

Tabulka č. 10: Uvažované baterie systému [66]

Výběr konkrétního bateriového uložště od daného výrobce vychází z požadavku na minimální cenu za instalovanou kapacitu. Všichni výrobci udávají životnost větší než 6 000 cyklů

při využívání kapacity danou doporučenou hloubkou vybití. V práci se tak předpokládá životnost bateriového uložení 6 000 cyklů. Vynásobení účinnosti vybíjení/nabíjení u hybridního měniče s účinností akumulátoru se získá celková účinnost 93 %, a to jak pro nabíjení, tak i vybíjení.

5.6.4. Akumulační nádrže a topné jednotky

Pro výstavbu systému s akumulací do vody se uvažují akumulční nádrže a topné jednotky od tuzemského výrobce DZD. Za účelem ohřevu pouze otopné vody se celkový objem akumulční kaskády skládá z jednotlivých nádrží typového označení NAD v2 o objemech 500, 750 a 1 000 litrů.

Celkový objem [l]	Uspořádání [-]	Statické ztráty [kW]	Cena [Kč]
500	1 × 500	0,083	20 653 Kč
750	1 × 750	0,122	24 041 Kč
1 000	1 × 1 000	0,135	29 083 Kč
1 250	1 × 500 + 1 × 750	0,205	44 694 Kč
1 500	2 × 750	0,244	48 083 Kč
1 750	1 × 1000 + 1 × 750	0,257	53 124 Kč
2 000	2 × 1 000	0,270	58 165 Kč
2 250	1 × 1 000 + 1 × 750 + 1 × 500	0,340	73 777 Kč
2 500	1 × 1000 + 2 × 750	0,379	77 165 Kč

Tabulka č. 11: Uvažované objemy pro akumulaci otopné vody [25]

S těmito nádržemi jsou kompatibilní topné jednotky s označením TJ 6/4, přičemž tento typ disponuje bezpečnostním termostatem proti přehřátí vody v nádrži. Celková předpokládaná cena topných jednotek vychází ze součinu potřebného topného výkonu a průměrné měrné ceny, která činí 1 308 Kč/kW.

Délka životnosti akumulčních nádrží a topných jednotek se uvažuje stejná, jako je délka životnosti celého projektu 25 let.

Při pořízení akumulčních nádrží s ohřevem vody nelze opomenout nutnost pořízení regulátoru a modulu pro měření toků energie. Ty svou funkcí zajišťují napájení topných jednotek pouze z přebytečně vyrobené elektřiny. Bez jejich přítomnosti by v okamžiku nulových přebytků docházelo k nežádoucímu napájení topných jednotek z distribuční sítě. Cena vybraného regulátoru, včetně měřicího modulu Wattrouter ECO, byla získána z internetových stránek [66] v celkové výši 5 546 Kč.

6. EKONOMICKÁ ČÁST

Technická část práce se zabývala výpočetními modely stanovující energetické bilance systémů. Nyní se práce přesune k popisu ekonomických faktorů, které ovlivňují výsledné vyhodnocení uvažovaných variant. Na začátku kapitoly je nutné zmínit, že se realizace výstavby očekává tento rok s následným uvedením do provozu dne 1. 1. 2025. Životnost hodnoceného projektu již byla zmíněna v podkapitole 5.5. Výpočetní modely variant jako 25 let.

6.1. Nacenení investičních výdajů

Ceny základních komponent systémů byly spolu s jejich technickými vlastnostmi uvedeny v rámci předchozí podkapitoly 5.6. Technické parametry a ceny vybraných komponent, a proto se již jim v této kapitole nebude věnovat pozornost. Při celkovém nacenení je však nutné zohlednit i další druhy výdajů spojených s výstavbou.

6.1.1. Montáž

Nezanedbatelnou část z investice do FV zdroje tvoří cena lidské práce za instalaci celého systému. Pro vyčíslení celkového výdaje za montáž se vychází z ceny vztažené na jeden panel, přičemž se rozlišuje mezi instalací panelu přímo na střešní krytinu a instalací panelu pod vyšším sklonem než 10°. Vyšší sklon totiž vyžaduje použití složitější konstrukce, s čímž se pojí také vyšší předpokládaná cena její montáže. Po analýze nabízených služeb na internetových stránkách se cena za montáž jednoho panelu zvolila v následující výši:

- cena za montáž přímo na střešní krytinu: 3 000 Kč/panel
- cena za montáž se složitější konstrukcí: 4 000 Kč/panel

U varianty s akumulací do vody je nutné započítat také cenu montáže akumulačních nádob. I zde se využilo ceníku firmy poskytující tyto služby.

- cena za montáž jedné nádrže: 12 500 Kč
- cena za montáž každé další nádrže: 3 000 Kč

6.1.2. Ostatní investiční výdaje

K výstavbě FV systémů s výkonem vyšším než 50 kW_p se požaduje projektová dokumentace. Nicméně její vypracování se doporučuje pro veškeré systémy, a to bez ohledu na jejich celkový instalovaný výkon. Cena za její vyhotovení se předpokládá ve výši 15 000 Kč. Pro úplnost se do investičních výdajů řadí také pořízení ochrany proti přepětí na stejnosměrné a střídavé straně rozvodu. Tyto ochrany vychází v celkové částce 7 300 Kč.

Zahrnutí veškerých položek, pro odhadnutí konečných investičních výdajů, je téměř nemožné. To zohledňuje položka s názvem ostatně vyvolané výdaje, jejíž velikost je dána procentem ze součtu výše předpokládaných výdajů. Pod takto vynaloženou částkou si lze představit

například cenu pořízených jističů, pojistek, rozvaděče, protipožární ochrany, kabeláže a jiných instalačních materiálů. Tato procentuální míra se předpokládá ve výši 15 %.

6.2. Provozní výdaje

Investice, kromě vynaložení peněžních prostředků na její pořízení, vede také k celkovému zvýšení výdajů během životnosti projektu. Přesné vyčíslení provozních výdajů není prakticky možné, jelikož nastávají až v následujících letech a jsou tak závislé na neznámých budoucích faktorech. Cílem této podkapitoly bude snaha o co nejlepší odhad reálně vzniklých provozních výdajů v následujících letech.

6.2.1. Revize

S instalací elektrického zařízení souvisí povinnost pravidelné revizní kontroly. Povinná lhůta mezi kontrolami FV systému vyplývá z platných norem a její délka se odvíjí od konkrétního typu instalace mezi 1 až 4 lety. S ohledem na požadavek zachování co nejvyšší bezpečnosti zařízení se v práci předpokládá, že k revizní kontrole bude docházet každý rok provozu. Cena za vypracovanou revizní zprávu byla odhadnuta pro rok 2024 na 4 500 Kč a každý rok dochází k její eskalaci inflační mírou.

6.2.2. Údržba

V současné době lze na našem území zpozorovat nadměrný výskyt zaneseného písku z Afrických zemí. Obdobně jako u prachových částic se v důsledku jeho dopadu na FV panely snižuje jejich celkový výkon. Odstranění této nežádoucí vrstvy může být docíleno splachem dešťovými srážkami, ale při dlouhodobě trvajícím suchu se doporučuje přímý oplach patřičnou osobou.

Z toho vyplývá, že do provozních výdajů je nutné započíst cenu času, který se tráví případnou údržbou systému. Ta nemusí být dána pouze oplachem, ale také například odklizením ojediněle napadlého sněhu. Pro celkové nacenění takto vzniklých výdajů se využilo časového ceníku firmy. Ta si svůj čas cení ve výši 700 Kč/h a předpokládá se, že se údržbou 10 panelů stráví dvě hodiny ročně. V nadcházejících letech se uvažuje celkové navyšování této částky o inflační míru.

Pro údržbu systému není znám jiný potřebný materiál, než je voda pro oplach, a proto je možné cenu materiálu pro údržbu zanedbat.

6.2.3. Reinvestice

Během životnosti projektu dochází také k nutným reinvesticím spojenými s výměnou komponent. Vynaložení peněžních prostředků se předpokládá v patnáctém roku provozu, kdy dochází k výměně měniče.

U varianty s akumulací do baterie přichází v úvahu výměna celého bateriového uložení, a to v době, kdy celkový počet jeho cyklů dosáhne předpokládané doby životnosti 6 000 cyklů.

V ekonomickém modelu se tento výdaj nezapočítává automaticky, ale je podmíněn volbou uživatele, zdali si výměnu po skončení životnosti uložiště přeje či nikoliv.

Budoucí cena těchto komponent vychází z jejich pořizovací ceny z roku 2024, která je následně zvýšena o vliv inflace.

Nutné výdaje na výměnu komponent se nepojí pouze s očekávanou reinvesticí do měniče a bateriového uložiště. Během životnosti projektu pravděpodobně nastanou i situace doprovázené neočekávaným poškozením komponent a jejich následnou náhradou či opravou (například rozbití FV panelů, selhání topných jednotek apod.). Pro respektování těchto výdajů se v modelu uvažují neočekávané provozní výdaje. Jejich výše se obdobně jako u ostatních investičních výdajů vyjadřuje procentem z počáteční investice. Během prvních 10 let provozu se vzhledem k poskytnutým zárukám očekávají pouze ve výši 0,5 % z celkové investované částky. Po této době se pravděpodobnost selhání zvyšuje a spolu s nemožným uplatněním záruky se předpokládá zvýšená procentuální míra 1,5 %.

6.3. Daňové odpisy

Investici do FV zdroje, splňující podmínky hmotného majetku, lze ve formě odpisů rozložit na daňově uznatelné náklady. Jejich odpisování se řídí § 30b Zákona o daních z příjmu, kterým se stanovuje povinnost rovnoměrného odpisování po dobu 20 let, bez možnosti jeho přerušení. Při technickém zhodnocení zdroje se pokračuje v odpisování ze zvýšené vstupní ceny po zbývající dobu, avšak minimálně po dobu 10 let.

Výše popsané odpisování je platné pouze pro technologickou část investované částky neboli pro část sloužící přímo k výrobě elektrické energie (FV panely, rozvaděče, měniče, baterie apod.). Ostatní prvky FV zdroje, jako například konstrukce pro uchycení panelů, se řadí do tzv. stavební části. Ta se bere jako technické zhodnocení budovy a patří do 5. odpisové skupiny s volbou mezi zrychleným a rovnoměrným odpisováním. [67]

V ekonomickém modelu se zjištěné poznatky zohledňují a celkové investiční výdaje jsou rozděleny na technologickou a stavební část. Pokud druhá zmíněná část splňuje podmínky technického zhodnocení, odpisuje se zrychleně po dobu 30 let. Obdobná podmínka platí také u výměny měniče a bateriového uložiště, které se však případně odpisují v rámci technologické části.

6.4. Daně

Jelikož je eventuálním investorem do projektu právnická osoba, stává se důležité zohlednit příslušné daně. Za prvé je nutné uvést, že vybraný podnik spadá do kategorie plátců DPH a veškeré ceny v práci jsou uváděny po odečtení daně z přidané hodnoty.

Dále má podnik povinnost odvádět daň z příjmů, která ve spojitosti z FV zdrojem vzniká z příjmů z prodaných přetoků elektrické energie do distribuční sítě. Její sazba činila pro právnické osoby

ještě minulý rok, tj. 2023, 19 %, ale v této práci se již po celou dobu živostnosti projektu předpokládá její zvýšená sazba 21 %.

Kromě vzniklých finančních výdajů, se touto daní dosahuje také nepřímé finanční úspory. Ta vzniká v důsledku snížení daňového základů o daňově uznatelné náklady, které přímo souvisejí s pořízením a provozem dané investice. Celkový dopad daně na výsledný peněžní tok lze pro tuto konkrétní práci vyjádřit následujícím vztahem, kde se provozní výdaje řadí mezi daňově uznatelné náklady.

$$DPPO = (-p_{dod.} + v_{revize} + v_{údržba} + v_{reinvestice} + o_{daň.}) \cdot S_{DPPO} \quad (19)$$

<i>kde</i>	<i>DPPO</i>	<i>dopad daně z příjmu na výsledný peněžní tok [Kč],</i>
	<i>p_{dod.}</i>	<i>příjmy za dodávku elektrické energie do sítě [Kč],</i>
	<i>v_{revize}</i>	<i>provozní výdaje na revizi [Kč],</i>
	<i>v_{údržba}</i>	<i>provozní výdaje na údržbu [Kč],</i>
	<i>v_{reinvestice}</i>	<i>provozní výdaje z reinvestic⁷ [Kč],</i>
	<i>o_{daň}</i>	<i>daňové odpisy [Kč],</i>
	<i>S_{DPPO}</i>	<i>sazba daně z příjmů pro právnické osoby [%].</i>

Kladná hodnota vypočtené veličiny DPPO znamená, že celkový dopad daně má pozitivní vliv na výsledný peněžní tok. Jinak řečeno, že finanční úspory plynoucí z daně z příjmů převyšují celkové výdaje daňových odvodů z prodané elektřiny.

6.5. Inflační míra

Jedním ze vstupních parametrů ekonomického modelu je inflační míra představující makroekonomický ukazatel vypovídající o změně cenové hladiny. V předchozích letech byl na území České republiky sledován její prudký nárůst způsobený energetickou krizí. V současné době se již celková meziroční inflace pohybuje kolem obvyklých hodnot, a tudíž může být zanedbán vliv zvýšení pořizovací ceny systémů mezi obdobím psaní této práce a datem jeho pořízení.

Predikci inflační míry nelze bez znalosti budoucího vývoje ekonomiky přesně odhadnout. Z toho důvodu nezbyvá jiná možnost než se spolehnout na prognózu vývoje inflace od České národní banky. Ta uvádí, že by se celková inflační míra měla během tohoto roku přiblížit k cílové hodnotě 2 % a v roce 2025 na ni setrvat. V následujících letech se tak bude předpokládat její udržení na úrovni 2 %. [68]

⁷ Pokud tyto výdaje splní podmínky technického zhodnocení, tak se do výpočtu dostanou v rámci vzniklých daňových odpisů.

6.6. Predikce cen energií

V technické části modelu proběhl výpočet energetických bilancí systémů udávající celkové energetické úspory a případné přetoky elektrické energie do sítě. Takto získané veličiny v jednotkách kWh je potřeba pro ekonomické vyhodnocení variant vyjádřit z ekonomického hlediska. To vyžaduje konverzi vzniklých energetických úspor na úspory ekonomické a převod přetoků do sítě na finanční příjmy. K tomu je nezbytné se vypořádat s budoucími cenami energií, které ovlivňují celou ekonomiku projektu.

6.6.1. Elektrická energie

Výpočet potenciálních ekonomických úspor vychází pouze z variabilní ceny elektřiny, jelikož u navržených systémů nedochází ke snižování rezervovaného příkonu. Celkovou variabilní cenou elektřiny se rozumí součet její regulované a neregulované části, jejichž predikována výše bude popsána odděleně. Dále bude popsána výkupní cena elektřiny, která udává celkové budoucí příjmy plynoucí z dodávek energie do sítě.

Neregulovaná složka variabilní ceny

Jak již bylo zmíněno výše, vybraný podnik má do 9. 8. 2025 zafixovanou cenu silové elektřiny za 4,750 Kč/kWh, a proto je nutné se vypořádat s následným vývojem ceny této složky. Jako nejvhodnější a nejvíce směřodratný způsob odhadu se jeví vycházet z cen elektřiny, která už byla zobchodována pro následující tři roky. Tyto ceny se uvádějí na Evropské energetické burze v sekci uzavřených futures kontraktů na elektrickou energii. Pro odstranění odchylek mezi uzavřenými cenami v různých dnech, se výsledná cena pro jednotlivé roky vypočetla jako průměr uzavřených cen ve špičkovém a základním pásu zatížení z vícero dnů. Pro přepočtení z cizí měny EUR na CZK se využilo průměrného směnného kurzu 25,07 EUR/CZK z let 2021 až 2023. Předpokládané výsledné ceny silové elektřiny pro zbývající část roku 2025, kdy již nebude platná fixovaná cena od obchodníka, a pro roky 2026 a 2027 jsou přehledně zobrazeny v následující tabulce.

Rok	2025	2026	2027
Cena silové elektřiny [Kč/kWh]	2,19	1,98	1,84

Tabulka č. 12: Cena silové elektřiny v letech 2025 až 2027

Cenu silové elektřiny po roce 2027 nelze kvůli její silné závislosti na světovém či vnitrostátním dění přesně predikovat. K tomu také přispívá fakt, že energetické odvětví v současné době prochází přeměnami vedoucími k udržitelnému rozvoji a není možné říci, jaký dopad to bude mít na cenu tak důležité komodity. Nicméně jen těžko si lze představit pokračující trend poklesu ceny i po roce 2027, a proto bude pro vypracování této práce přijat předpoklad postupné eskalace ceny silové elektřiny o inflační míru.

Regulovaná složka variabilní ceny

Cenu regulované variabilní složky elektřiny každoročně uvádí Energetický regulační úřad v rámci plateb za distribuované množství, systémové služby a na podporu zdrojů energie. Pro příslušný tarif C01D tak byla zjištěna výchozí regulovaná cena z cenových rozhodnutí pro rok 2024 ve výši 3,9 Kč/kWh. Budoucí vývoj ceny této složky bude bezpochyby ovlivněn plánovanou novou tarifní strukturou, jejíž podoba doposud není zcela zřejmá, a z toho důvodu se v této práci bude uvažovat současná tarifní struktura. Výše regulované ceny je bezpochyby ovlivněna zvyšujícím se počtem připojovaných obnovitelných zdrojů, které svou přítomností kladou vyšší nároky na distribuční síť a systémové služby, a proto nelze očekávat její pokles. Na druhou stranu se jen těžko může odhadovat její procentuální nárůst, a tudíž bude podobně jako u ceny silové elektřiny zaveden předpoklad spočívající v její eskalaci o inflační míru.

V případě zavedení jiných eskalačních koeficientů by do výpočtu mohla být zanesena vyšší chyba než při takto zvoleném konzervativním přístupu. O dopadu snížení či zvýšení budoucích cen elektřiny na celou ekonomiku projektů bude diskutováno v sekci citlivostních analýz.

Výkupní cena elektrické energie

Za účelem vypracování této práce se cena za dodanou elektrickou energii do sítě získala z aktuálního ceníku od obchodníka EON. Ten elektrickou energii od výroben s instalovaným výkonem do 50 kW_p vykupuje v roce 2024 za 2 Kč/kWh. Na rozdíl od nákupních cen se však očekává v následujících letech její pokles, který může být způsoben větším počtem instalovaných FV zdrojů s následkem vysoké dodávky elektrické energie do sítě bez možnosti jejího efektivního využití. Poklesu také nasvědčuje ceník z roku 2023, kdy výkupní cena od EON dosahovala hodnoty 3,5 Kč/kWh. S ohledem na pokles cen byl tedy přijat předpoklad postupného snižování výkupní ceny, a to až na její nulovou hodnotu po roce 2030.

6.6.2. Tepelná energie

Ekonomické úspory z pokrytí tepelných potřeb objektu plynou z uspořené částky za nespotřebované palivo. Pro vybraný podnik je tímto palivem hnědé uhlí, jehož výchozí cena byla vypočtena jako průměr nabízených cen od různých dodavatelů a pro rok 2024 byla cena stanovena na 5 900 Kč za tunu. Následně se provedl přepočet za účelem určení měrné úspory plynoucí z uspořené kWh tepelné energie získané z hnědého uhlí. Pro tento výpočet musela být zohledněna výhřevnost uhlí 17,6 MJ/t a účinnost kotle 83 %. Z takové úvahy vyplývá, že měrná úspora tepelné energie činí pro rok 2024 přibližně 1,45 Kč/kWh.

U predikce ceny uhlí se předpokládá, že v následujících letech bude jeho cena vykazovat prudší tempo růstu než pouze o očekávanou inflační míru. To může být způsobeno postupným odklonem od spalování hnědého uhlí a následným uzavíráním těžebních dolů. Celkový eskalační koeficient u ceny uhlí se tak skládá z inflační míry, která je zvýšena o tzv. technickou meziroční eskalaci v předpokládané výši 1 %.

Při určování úspor tímto přístupem bylo přijato zjednodušení spočívající v zachování aktuálního tepelného zdroje, resp. paliva, po celou dobu hodnocení projektu. Nicméně případná změna ve způsobu vytápění objektu může být respektována ve výpočetním modelu úpravou velikosti měrných úspor. Ty jsou nyní uvažovány pouze pro tepelný zdroj na hnědé uhlí.

6.7. Stanovení ekonomické efektivity

Pro nalezení optimálních parametrů variant se následující část textu zaměří na stručný popis metod, pomocí nichž se bude hodnotit jejich ekonomická efektivnost. Následně bude potřeba popsat uvažovanou výši diskontu neboli požadovanou minimální výnosnost. Na konci této podkapitoly se uvedou konkrétní vzorce použité pro stanovení peněžních toků.

6.7.1. Kritéria ekonomické efektivity

Jako hlavní kritérium pro vyhodnocení výhodnosti projektů jsem v této práci zvolil čistou současnou hodnotu, známá také jako net present value (zkráceně NPV). Hodnota NPV se vypočte jako součet diskontovaných budoucích peněžních toků (včetně investičního výdaje v nultém roce provozu), které by vznikly v důsledku realizace hodnoceného projektu. Právě diskontováním probíhá přepočítání na jejich čistou současnou hodnotu, čímž se zohledňuje časová hodnota peněz. Pokud jsou veškeré vstupní parametry výpočtu správně zvoleny nebo odhadnuty a hodnota NPV vychází nulová nebo vyšší, tak se investorovi dostává informace o tom, že se realizace daného projektu jeví jako výhodná. Nulová hodnota NPV vyjadřuje, že se celková výnosnost investice rovná požadované výnosnosti. Při kladném výsledku tohoto kritéria se investicí dosáhne dokonce vyšší výnosnosti, než byla investorem požadována. Z toho vyplývá, že při porovnávání více investic, kdy lze realizovat pouze jednu, se investor rozhodne pro tu s nejvyšší čistou současnou hodnotu.

U porovnání investic s odlišnou kapitálovou náročností se může využít indexu ziskovosti (zkráceně PI). Ten se pro konkrétní investici získá podílem její čisté současné hodnoty ku investované částce. Získané poměrové číslo vyjadřuje, kolik NPV připadá na jednu investovanou korunu a může investorovi sloužit jako další ukazatel pro konečné rozhodnutí mezi více uvažovanými investicemi.

Velmi často používaným ukazatelem je také vnitřní výnosové procento neboli internal rate of return (zkráceně IRR). Jeho výše je dána diskontní sazbou, při které by byla čistá současná hodnota projektu nulová. Investor takový projekt považuje za ekonomicky efektivní, pokud hodnota IRR převyšuje investorem požadovanou výnosnost. U rozhodování mezi více investicemi se jako nejvýhodnější jeví ta s nejvyšší hodnotou tohoto ukazatele.

Posledním uvedeným kritériem u jednotlivých optimalizovaných variant bude diskontovaná doba návratnosti T_{DCF} . Ta svou hodnotou vyjadřuje dobu, za kterou dojde k úhradě investované částky z diskontovaných budoucích peněžních toků. Oproti všem známé „klasické“ době návratnosti se odlišuje právě v respektování časové hodnoty peněz a vykazuje tak delší dobu návratnosti.

Za ekonomicky efektivní se považují projekty s nižší diskontovanou dobou návratnosti, než je předpokládaná životnost projektu. [69]

6.7.2. Diskontní míra

Velikost diskontní míry používané pro diskontování budoucích peněžních toků se odvíjí od rizika odvětví či výnosu jiného alternativního aktiva, do něhož by mohla být částka investována. Následkem zvýšení diskontu se u hodnoceného projektu snižuje čistá současná hodnota a také se prodlužuje jeho diskontovaná doba návratnosti. Podmínkou pro jeho správné vyhodnocení se tak stává korektně stanovený diskont, což může být vzhledem k charakteru podniku velmi komplikované.

Pro výpočet diskontní míry se v této práci využilo široce rozšířeného finančního modelu CAPM, který umožňuje odhadnout požadovanou minimální výnosnost investice.

$$r_e = r_f + \beta_{zadl.} \cdot MRP \quad (20)$$

<i>kde</i>	r_e	<i>náklady na vlastní kapitál [%],</i>
	r_f	<i>bezrizikový výnos [%],</i>
	$\beta_{zadl.}$	<i>koeficient beta zadlužené [-].</i>
	MRP	<i>tržní riziková prémie [%].</i>

Podnik, kterému se tato práce věnuje, nedisponuje žádným cizím kapitálem a investici do FV zdroje plánuje financovat z vlastních prostředků. Za požadovanou minimální výnosnost budou tak považovány přímo vypočtené náklady na vlastní kapitál, jelikož se v tomto případě jejich hodnota neliší od váženého průměru nákladů na celkový kapitál (tj. WACC). S nezadlužeností podniku se také pojí možnost ve vzorci nahradit zadlužený beta koeficient přímo zjištěným nezadluženým beta koeficientem. Ze známých stránek od pana profesora Demodarana [70] byl tento koeficient pro nezadlužený podnik v příslušném odvětví stanoven na 0,84 a tržní riziková prémie ve výši 5,48 %. Dále byl bezrizikový výnos určen na základě průměrné výnosnosti státních desetiletých dluhopisů za posledních 10 let, a to na 2,06 %. Z takto získaných dat je již možné vypočíst předpokládanou reálnou diskontní míru 6,66 %. Ta představuje klíčový faktor pro úspěšné vyhodnocení projektů, avšak její přesné stanovení je pro konkrétní podnik velmi obtížné. Proto bude na konci práce zkoumána citlivost dosažených výsledků na změnu právě tohoto parametru.

6.7.3. Peněžní toky

Pro aplikaci kritérií ekonomické efektivnosti je dále potřeba stanovit peněžní toky během životnosti projektu. Těmi se v této práci nerozumějí pouze reálné peněžní toky, ale i vzniklé úspory oproti nulté variantě. Celkové roční toky lze popsat následujícími rovnicemi, kde je nutné rozlišit tok v nultém roce provozu CF_0 neboli investiční výdaj a toky v dalších letech označené CF_t .

Ve výpočtu CF_0 se pro systém bez akumulace využívají pouze černě vyznačené veličiny, pro systém s akumulací do baterie černě a zeleně vyznačené veličiny, a pro systém s akumulací do vody černě a fialově vyznačené veličiny.

$$CF_0 = -((c_{m\acute{e}n} + p_{pan} \cdot (c_{pan} + c_{mon} + c_{kon}) + c_{ochr} + c_{proj} + p_{aku} \cdot c_{aku} + c_{BMS} + c_{n\acute{a}dr} + c_{mon,n\acute{a}dr} + c_{tep} + c_{reg,mod}) \cdot (1 + proc_{ost})) \quad (21)$$

kde $c_{m\acute{e}n}$ je cena měniče [Kč], p_{pan} je počet instalovaných panelů [-], c_{pan} je cena panelu [Kč/panel], c_{mon} je cena montáže panelu [Kč/panel], c_{kon} je cena konstrukce [Kč/panel], c_{ochr} je cena ochrany proti přepětí [Kč], c_{proj} je cena projektové dokumentace [Kč], p_{aku} je počet modulů akumulátoru [-], c_{aku} je cena jednoho modulu akumulátoru [Kč/modul], c_{BMS} je cena BMS [Kč], $c_{n\acute{a}dr}$ je cena akumulčních nádrží [Kč], $c_{mon,n\acute{a}dr}$ je cena za montáž nádrží [Kč], c_{tep} je cena tepelných jednotek [Kč], $c_{reg,mod}$ je cena regulátoru a měřícího modulu [Kč], $proc_{ost}$ je procento ostatně vyvolaných investičních výdajů [%].

Peněžní toky v následujících letech:

$$CF_t = c_{v\acute{y}k} \cdot pr_e + (c_{v,reg} + c_{v,nereg}) \cdot u_e + c_t \cdot u_t - v_{rev} - v_{\acute{u}dr} - v_{rein} + DPPO \quad (22)$$

kde $c_{v\acute{y}k}$ je výkupní cena elektřiny v roce t [Kč/kWh], pr_e jsou přetoky do sítě v roce t [kWh], $c_{v,reg}$ je regulovaná variabilní cena elektřiny v roce t [Kč/kWh], $c_{v,nereg}$ je neregulovaná variabilní cena elektřiny v roce t [Kč/kWh], u_e je množství uspořené elektřiny v roce t [kWh], c_t je cena za uspořenou tepelnou energii v roce t [Kč/kWh], u_t je množství uspořené tepelné energie v roce t [kWh], v_{rev} jsou provozní výdaje na revizi v roce t [Kč], $v_{\acute{u}dr}$ jsou provozní výdaje na údržbu v roce t [Kč], v_{rein} jsou provozní výdaje na reinvestice v roce t , $DPPO$ je dopad daně z příjmu [Kč].

7. VYHODNOCENÍ VARIANT

V předchozích kapitolách byly popsány výpočetní modely systémů a také jejich předpokládané technické a ekonomické vstupní parametry. Takto získané znalosti mohou být aplikovány pro nalezení optimálních parametrů systémů, mezi něž se řadí instalovaný výkon, sklon panelů a případně instalovaná kapacita bateriového uložení nebo objem akumulčních nádob. Následně se u optimálně navržených systémů dle kritéria NPV, popřípadě PI, uvedou i ukazatele ekonomické efektivity IRR a doby návratnosti. Z energetického hlediska budou zobrazeny a popsány vzniklé energetické úspory a přetoky do sítě v jednotlivých měsících prvního roku provozu a také budou popsány dosažené ekonomické užitky. V závěru kapitoly se shrnou a porovnájí výsledky všech tří optimálně navržených variant a provedou se citlivostní analýzy výsledků na změnu vybraných předpokládaných hodnot.

7.1. Varianta bez akumulace

7.1.1. Nalezení optimálních parametrů

K nalezení optimálních parametrů se v modelu využila dvouparametrická citlivostní analýza. V té se vypočítávají hodnoty vybraných optimalizačních kritérií, a to pro kombinace optimalizovaných parametrů. Sloupce tabulek zobrazují sklon panelů od 10 ° do 50 ° a řádky celkový instalovaný výkon. Ten se zvolil s ohledem na očekávanou maximální hodnotu kritériální funkce a jeho hodnoty jsou dány počtem instalovaných FV modulů.

SYSTÉM BEZ AKUMULACE														
		čistá současná hodnota - NPV						index ziskovosti - PI						
		sklon panelů [°]						sklon panelů [°]						
		10	30	35	40	45	50	10	30	35	40	45	50	
instalovaný výkon [kWp]	4,1	78 245	70 338	71 928	72 404	71 800	70 088	4,1	0,71	0,52	0,54	0,54	0,53	0,52
	5,3	99 822	88 484	90 448	91 227	90 864	89 311	5,3	0,77	0,55	0,56	0,57	0,57	0,56
	6,6	113 584	96 218	98 490	99 571	99 511	98 274	6,6	0,76	0,51	0,53	0,53	0,53	0,53
	7,8	120 110	96 052	98 656	100 031	100 245	99 218	7,8	0,71	0,45	0,46	0,47	0,47	0,46
	9,0	121 059	93 873	96 674	98 246	98 607	97 750	9,0	0,64	0,39	0,40	0,41	0,41	0,41
	10,3	121 110	85 013	87 950	89 659	90 180	89 416	10,3	0,58	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33
	11,5	115 493	77 069	80 084	81 815	82 318	81 594	11,5	0,50	0,26	0,27	0,28	0,28	0,28
	12,7	111 587	60 772	63 756	65 457	65 937	65 186	12,7	0,45	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20
	13,9	99 908	49 410	52 383	54 098	54 621	53 897	13,9	0,37	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15

Tabulka č. 13: Vliv optimalizovaných parametrů na kritéria NPV a PI pro variantu bez akumulace

Z tabulky vyplývá, že jsou všechny zobrazené kombinace optimalizovaných parametrů dle kritéria NPV ekonomicky efektivní. Obecně se však doporučuje instalovat FV panely pod sklonem 10 °. Při vyšším sklonu by v důsledku zvýšené výroby došlo k částečnému navýšení úspor a přetoků elektrické energie. Nicméně tato změna by nepokryla zvýšené investiční výdaje způsobené pořízením dražších konstrukcí umožňujících vyšší sklon panelů.

Rozhodnutí o neinvestování do projektu nastává při instalovaném výkonu 26 kW_p se sklonem panelů 10°. Při sklonu panelů okolo 40°, kterým se dosahuje maximální vyráběné energie, by změna v rozhodnutí nastávala při instalovaném výkonu 18 kW_p.

Na druhou stranu nejvyšší hodnotu NPV okolo 120 000 Kč vykazují systémy se sklonem 10° a instalovaným výkonem 7,8 kW_p, 9,0 kW_p a 10,3 kW_p. K určení konkrétního optimálního výkonu u těchto tří možností se dále využije indexu ziskovosti. Ten má nejvyšší hodnotu u instalovaného výkonu 7,8 kW_p.

Dále může být sledována změna optimálních parametrů, pokud by se nepředpokládala rozdílná cena konstrukcí a jejich montáží. Při tom by se instalace panelů přímo na střešní krytinu uvažovala stejně finančně náročná jako instalace panelů pod vyšším sklonem, tj. konstrukce v ceně 1 620 Kč/panel a montáž v ceně 4 000 Kč/panel. V takové situaci by se optimální varianta s hodnotou NPV kolem 100 000 Kč pohybovala v oblasti kombinací instalovaného výkonu od 6,6 kW_p do 9 kW_p a sklonu od 35° do 50°. Při ohlédnutí na index ziskovosti v této oblasti, by se výběr optimálních parametrů zúžil na instalovaný výkon 6,6 kW_p, přičemž by index vykazoval stejnou hodnotu 0,53 při sklonu panelů od 35° do 50°.

V této práci však uvažuji rozdílnou cenu mezi instalací panelů pod úhlem 10° a úhlem vyšším. **Proto za celkově optimální systém bez akumulace považuji FV zdroj s instalovaným výkonem 7,8 kW_p a sklonem panelů 10°.**

7.1.2. Investovaná částka

Síťový FV střídač <i>Solax X3-8K-G2</i>	19 485 Kč
FV panely <i>19 ks Longi 410 kW_p</i>	36 697 Kč
Montáž FVE	57 000 Kč
Ochrany přepětí	7 300 Kč
Projektová dokumentace	15 000 Kč
Konstrukce pro uchycení	11 020 Kč
Ostatně vyvolané výdaje	21 975 Kč
<u>CENA CELKEM (bez DPH)</u>	<u>168 477 Kč</u>

7.1.3. Ekonomické ukazatele investice

Projekt investorovi nabízí čistou současnou hodnotu 120 110 Kč s indexem ziskovosti 0,71. Vnitřní výnosové procento investice činí 17,5 %, jehož hodnota se může v porovnání s obecnými investicemi do FV zdrojů jevit jako podezřele vysoká. Takto neobvyklou výši lze přisuzovat faktu, že se tvar denního diagramu výroby přibližně shoduje s diagramem spotřeby vybraného subjektu. Níže zobrazený graf uvádí kumulativní diskontované peněžní toky, z nichž vyplývá diskontovaná doba návratnosti investice necelých 8 let. Bez uvažování časové hodnoty peněz by se doba návratnosti rovnala 5,5 letům.



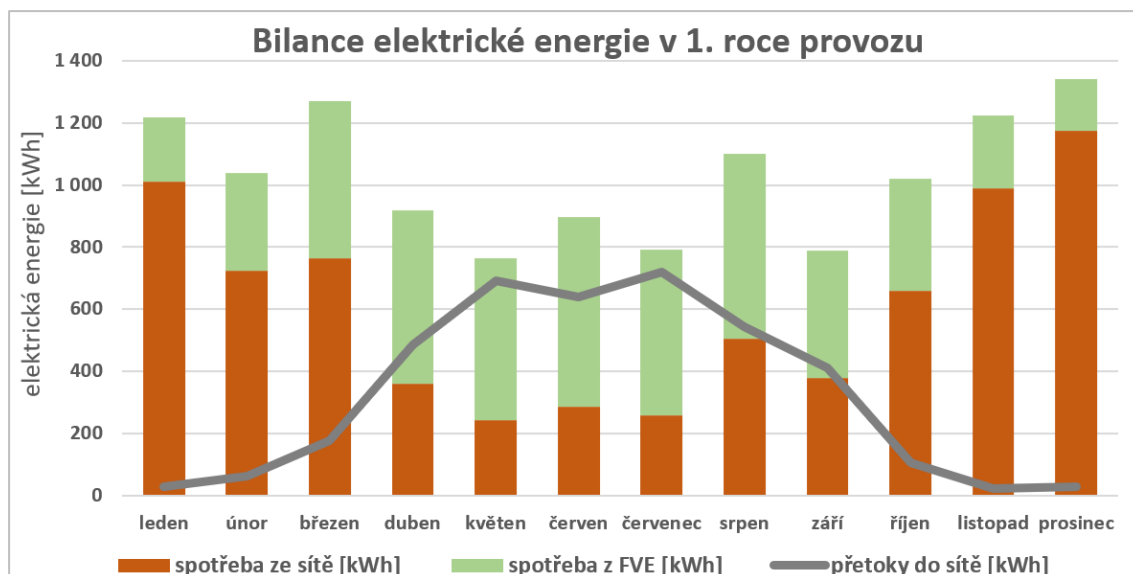
Graf č. 9: Kumulativní diskontovaný peněžní tok pro optimální variantu systému bez akumulace

7.1.1. Užitky plynoucí z navržené varianty

K zobrazení energetických úspor, resp. spotřeby z FVE, a přetoků energie do distribuční sítě slouží graf energetických bilancí v jednotlivých měsících prvního roku provozu. Procentuálně nejvyšší úspory elektrické energie lze sledovat v období od začátku dubna do konce července, kdy se úspory v těchto měsících pohybují v rozmezí 60 až 70 % z celkově spotřebované elektřiny. Nejnížší úspory jsou dle očekávání v zimním období (listopad až únor), a to mezi 13 až 30 % bez výrazných přetoků energie do distribuční sítě. Ty nastávají především v letních měsících, a dokonce v takové míře, že v některých měsících převyšují i vzniklé energetické úspory.

Z ročního pohledu se celkem uspoří 5 029 kWh z celkové spotřeby objektu 12 372 kWh, tj. přibližně 41 %. Dodaná energie do sítě se v roce 2025 očekává ve výši 3 911 kWh a pro pokrytí spotřeby se tak využije 56 % z celkově vyrobené elektrické energie.

Instalací takto navrženého systému se při předpokládaných cenách elektřiny dosáhne za rok 2025 ekonomických úspor ve výši 39 976 Kč. V důsledku konce fixace a očekávané nižší ceně silové elektřiny se úspory v následujícím roce sníží na částku 30 285 Kč. Celkové příjmy z prodeje přebytečné elektrické energie by se měly v prvním roce provozu pohybovat kolem 6 705 Kč.



Graf č. 10: Bilance elektrické energie v 1. roce provozu pro optimální variantu systému bez akumulace

7.2. Varianta s akumulací do baterie

7.2.1. Nalezení optimálních parametrů

Obdobně jako u varianty bez akumulace energie se i v tomto případě využila dvouparametrická citlivostní analýza. Ta nyní zobrazuje hodnoty kritéria NPV a indexu PI při kombinacích instalovaného výkonu a kapacity bateriového uložení. Při tom se vychází z výše získaných poznatků, že se za optimální sklon kvůli ceně instalace panelů považuje 10° . Sloupce v tabulce představují uvažované jmenovité kapacity bateriového uložení a jejich rozmezí se zvolilo dle bodu očekávaného maxima kritériálních funkcí. Dále se u výpočtu neuvažuje výměna uložení po skončení doby jeho životnosti. V textu se však zmíní i vliv na určené optimální parametry, pokud by se tato výměna předpokládala.

SYSTÉM S AKUMULACÍ DO BATERÍ															
		čistá současná hodnota - NPV						index ziskovosti - PI							
		kapacita uložení [kWh]						kapacita uložení [kWh]							
		4	5	6	7	8	9			4	5	6	7	8	9
instalovaný výkon [kWp]	4,1	9 414	13 742	16 801	14 182	-6 177	-4 327	instalovaný výkon [kWp]	4,1	0,05	0,07	0,08	0,07	-0,03	-0,02
	5,3	43 965	50 555	55 854	55 162	36 314	38 963		5,3	0,20	0,23	0,25	0,24	0,14	0,15
	6,6	66 197	75 134	82 376	83 214	65 459	68 921		6,6	0,27	0,31	0,34	0,34	0,24	0,25
	7,8	76 623	87 755	97 269	99 951	83 444	87 598		7,8	0,29	0,34	0,37	0,37	0,29	0,30
	9,0	76 506	89 078	100 365	104 283	88 538	93 154		9,0	0,27	0,31	0,35	0,36	0,28	0,30
	10,3	77 910	90 984	102 934	108 637	94 662	99 608		10,3	0,26	0,30	0,34	0,35	0,28	0,30
	11,5	72 274	85 663	97 985	104 101	91 694	97 860		11,5	0,22	0,26	0,30	0,31	0,26	0,27
	12,7	69 194	82 992	95 589	101 980	89 954	98 241		12,7	0,20	0,24	0,28	0,29	0,24	0,26
	13,9	60 735	74 786	87 702	94 290	82 527	91 812		13,9	0,17	0,20	0,24	0,25	0,21	0,23

Tabulka č. 14: Vliv kapacity uložení a instalovaného výkonu na kritéria NPV a PI pro variantu s akumulací do baterie

Ze získaných výsledků lze zpozorovat, že optimální kapacita bateriového uložení je okolo 7 kWh. Co se týče instalovaného výkonu k této optimální kapacitě, tak hodnota kritéria NPV vykazuje nejvyšší hodnotu kolem 106 000 Kč u výkonů 9,0 kW_p, 10,3 kW_p a 11,5 kW_p. Pro výběr z těchto tří možností se zohlední také jejich index ziskovosti, který vykazuje nejlepší hodnotu 0,36 u instalovaného výkonu 9,0 kW_p. Nicméně optimálním výkonem může být také 10,3 kW_p, jelikož u něho je index ziskovosti pouze nepatrně nižší, tj. 0,35, a naopak NPV o trochu vyšší než u výkonu 9,0 kW_p. Vzhledem k primárnímu kritériu NPV se nadále bude **za optimální variantu s akumulací do baterií považují FV zdroj s instalovaným výkonem 10,3 kW_p, kapacitou uložení 7 kWh a sklonem panelů 10 °. Dále se z ekonomického hlediska nedoporučují reinvestovat do nového bateriového uložení po skončení jeho životnosti.**

Zkoumán může být také vliv na optimalizované parametry, pokud by investor volil možnost výměny bateriového uložení po skončení jeho životnosti, tedy po dosažení předpokládaných 6 000 cyklů při hloubce vybití 90 %. V tomto případě by se optimální parametry varianty nezměnily, neboť při této úvaze se hodnota kritérií snížila v celém rozsahu tabulky. Z toho lze vyvodit, že se obecně výměna bateriového uložení nevyplatí. Lepší ekonomické efektivity se nedocílí ani při prodloužení životnosti uložení v důsledku využívání menší části jeho jmenovité kapacity.

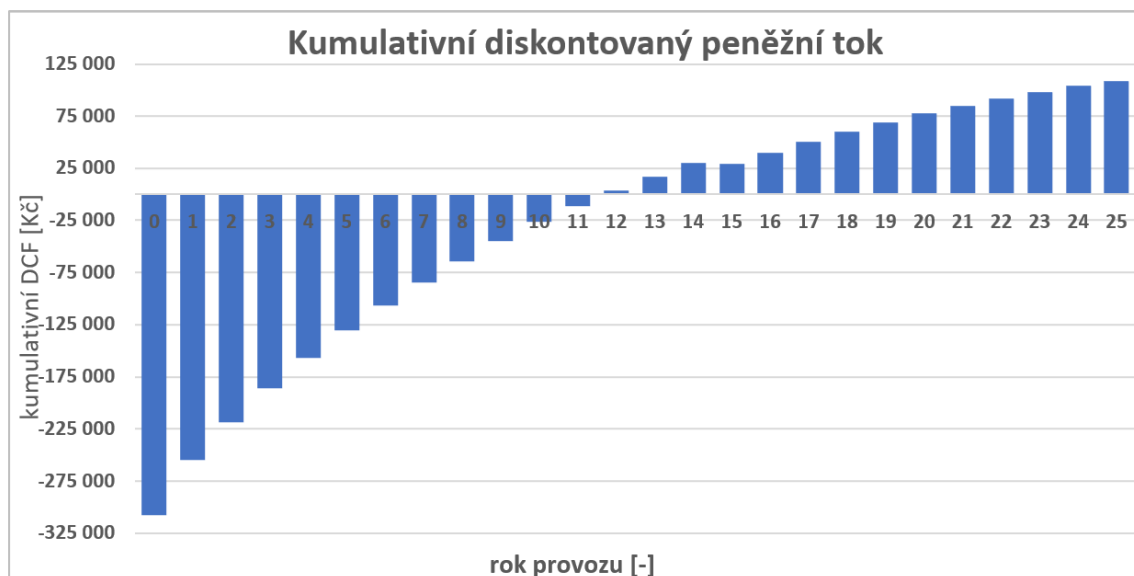
Ve výše navržené optimální konfiguraci dojde dle výpočetního modelu k ukončení životnosti uložení v posledním hodnoceném roce, tj. rok 2049. Takto poměrně dlouhá doba je dána především nízkou potřebou jeho využívání.

7.2.2. Investovaná částka

Hybridní FV střídač <i>Solax X3-hybrid-8.0</i>	41 525 Kč
FV panely 25 ks <i>Longi 410 kW_p</i>	48 285 Kč
Bateriový modul 2 ks <i>Pylontech 3,55 kWh</i>	52 710 Kč
BMS <i>Pylontech Force H2</i>	15 584 Kč
Montáž FVE	75 000 Kč
Ochrany přepětí	7 300 Kč
Projektová dokumentace	15 000 Kč
Konstrukce pro uchycení	14 500 Kč
<u>Ostatně vyvolané výdaje</u>	<u>40 486 Kč</u>
<u>CENA CELKEM (bez DPH)</u>	<u>310 391 Kč</u>

7.2.3. Ekonomické ukazatele investice

Investice do FV systému s baterií a optimalizovanými parametry má čistou současnou hodnotu 108 637 Kč, index ziskovosti 0,35 a vnitřní výnosové procento 13,1 %. Níže zobrazený graf znázorňuje kumulativní diskontované peněžní toky plynoucích z této investice, která vykazuje diskontovanou dobu návratnosti 11,8 let. Prostá doba návratnosti se rovná 7,1 let.



Graf č. 11: Kumulativní diskontovaný peněžní tok pro optimální variantu systému s akumulací do baterií

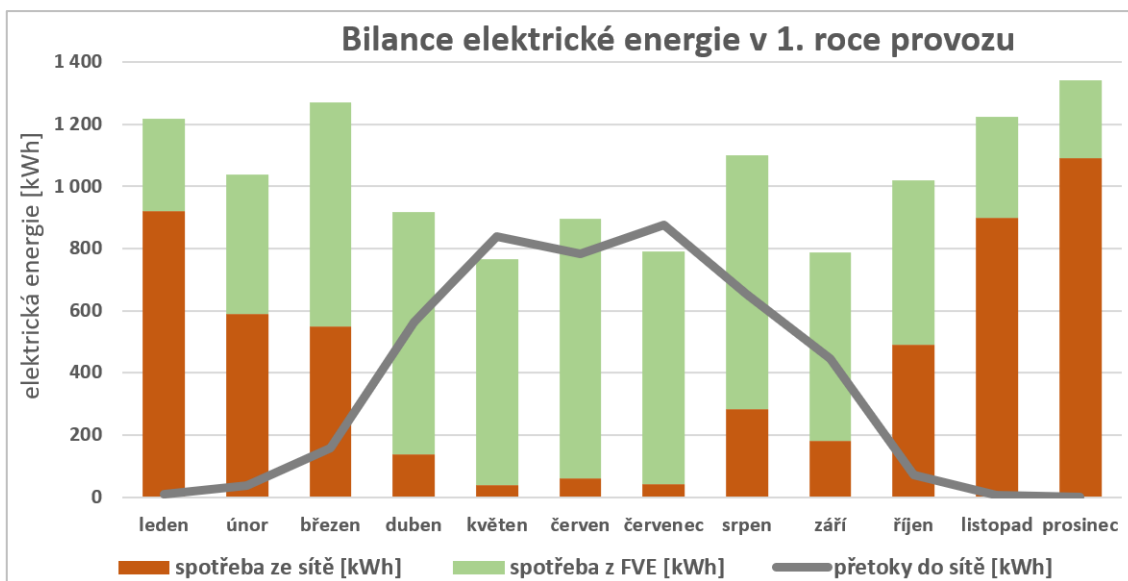
7.2.1. Užitky plynoucí z navržené varianty

U takto navržené systému lze v porovnání s optimálně navrženým systémem bez akumulace sledovat zvýšené úspory. Ty se nyní v období od dubna do konce července pohybují v rozmezí 85 až 95 % z celkové spotřeby (bez akumulace 60 až 70 %). V zimních měsících dochází k nižšímu nárůstu úspor oproti systému bez akumulace, a to přibližně o 5 až 10 % a celkově tak procentuální úspory činí 19 až 43 %.

Při pohledu na absolutní roční hodnoty se celkem za rok 2025 uspoří 7 083 kWh, což je přibližně 58 % z celkové spotřeby objektu (bez akumulace 41 %). Přetoky elektrické energie dosahují 4 443 kWh a z celkové vyrobené energie se tak pro spotřebu objektu využije 61 % (bez akumulace 56 %).

Z finančního hlediska se celkové dosažené úspory rovnají 56 182 Kč (bez akumulace 39 976 Kč) a následující rok se dá očekávat pokles vlivem konce fixace neregulované složky ceny na 42 708 Kč. Příjmy z prodeje elektrické energie do sítě může investor očekávat v hodnotě 7 617 Kč.

Při porovnávání dosažených výsledků obou variant je však nutné brát ohled na rozdílnou výši investované částky a také na odlišný instalovaný výkon obou systémů.



Graf č. 12: Balance elektrické energie v 1. roce provozu pro optimální variantu systému s akumulací do baterií

7.3. Varianta s akumulací do vody

7.3.1. Nalezení optimálních parametrů

V níže uvedené tabulce jsou zobrazeny hodnoty primárního kritéria čisté současné hodnoty a indexu ziskovosti pro jednotlivé kombinace instalovaného výkonu FV zdroje a objemu akumulčních nádrží. Podobně jako u předešlé varianty se výpočty v tabulce provádějí při uvažovaném optimálním sklonu panelů 10 °.

SYSTÉM S AKUMULACÍ DO VODU														
		čistá současná hodnota - NPV						index ziskovosti - PI						
		objem AKU nádrží						objem AKU nádrží						
		500	750	1000	1250	1500	1750	500	750	1000	1250	1500	1750	
instalovaný výkon [kWp]	6,6	79 165	75 660	70 485	42 110	38 229	32485	6,6	0,39	0,37	0,33	0,18	0,16	0,13
	7,8	89 220	85 688	80 504	51 739	47 833	42080	7,8	0,40	0,38	0,35	0,20	0,19	0,16
	9,0	94 133	90 558	85 360	56 179	52 236	46472	9,0	0,39	0,36	0,34	0,20	0,19	0,16
	10,3	98 507	94 877	89 661	60 039	56 042	50261	10,3	0,37	0,35	0,33	0,20	0,19	0,16
	11,5	97 337	93 675	88 449	58 424	54 393	48600	11,5	0,34	0,32	0,30	0,18	0,17	0,15
	12,7	98 005	94 248	89 004	58 548	54 476	48670	12,7	0,32	0,30	0,28	0,17	0,16	0,14
	13,9	98 016	93 702	79 202	57 504	53 374	47548	13,9	0,30	0,28	0,23	0,16	0,15	0,13
	15,2	97 273	92 508	77 264	55 427	51 243	45399	15,2	0,28	0,26	0,22	0,15	0,13	0,12
	16,4	95 109	81 789	74 400	52 394	48 110	42248	16,4	0,26	0,22	0,20	0,13	0,12	0,10

Tabulka č. 15: Vliv objemu nádrže a instalovaného výkonu na kritéria NPV a PI pro variantu s akumulací do vody

Z výsledků kritéria NPV je zřejmé, že za optimální akumulční nádrž lze považovat tu s nejmenším možným objem 500 litrů. Co se týče instalovaného výkonu, tak hodnoty NPV vykazují obdobnou velikost kolem 98 000 Kč u výkonů od 10,3 kW_p do 15,2 kW_p. Proto se pro výběr konkrétního optimálního výkonu zvažují také index ziskovosti jednotlivých variant, který dosahuje nejvyšší hodnoty 0,37 u výkonu 10,3 kW_p. Tímto postupem jsem tak zjistil

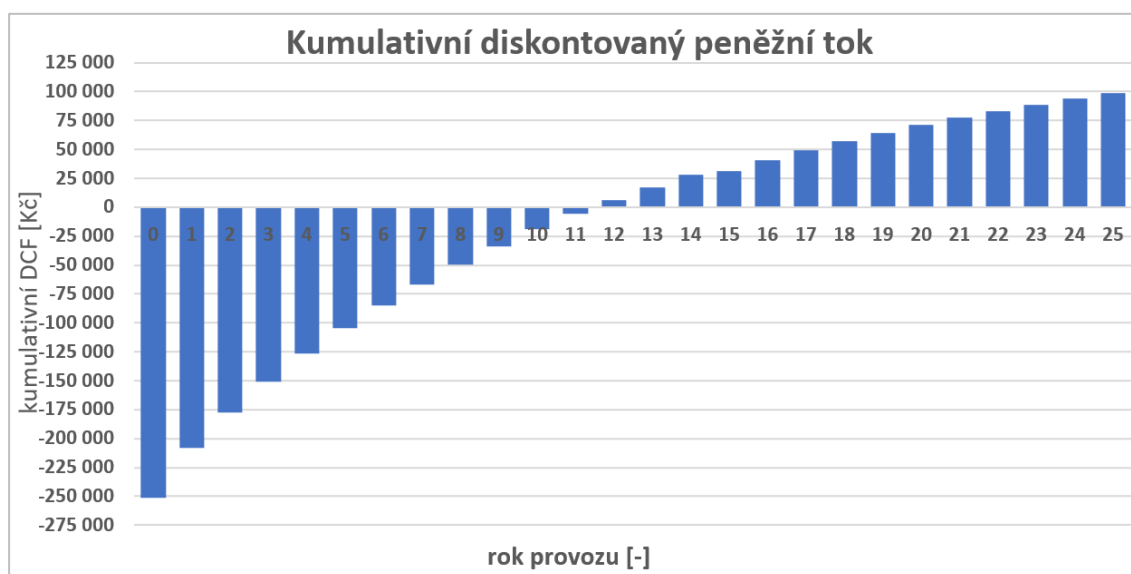
optimální variantu FV zdroje s akumulací do vody s instalovaným výkonem 10,3 kW_p, objemem akumulační nádrže 500 litrů a sklonem panelů 10 °.

7.3.2. Investovaná částka

Síťový FV střídač <i>Solax X3-8K-G2</i>	21 045 Kč
FV panely 25 ks <i>Longi 410 kW_p</i>	48 285 Kč
Montáž FVE	75 000 Kč
Ochrany přepětí	7 300 Kč
Projektová dokumentace	15 000 Kč
Konstrukce pro uchycení	14 500 Kč
Akumulační nádrž <i>DZD NAD v2 500</i>	20 653 Kč
Topné jednotky <i>DZD TJ 6/4</i>	10 075 Kč
Regulátor + měřicí modul <i>Wattrouter ECO</i>	5 900 Kč
Montáž systému pro ohřev vody	12 500 Kč
<u>Ostatně vyvolané výdaje</u>	<u>34 539 Kč</u>
<u>CENA CELKEM (bez DPH)</u>	<u>264 797 Kč</u>

7.3.3. Ekonomické ukazatele investice

Realizace FV zdroje s akumulací do vody s optimalizovanými parametry vykazuje čistou současnou hodnotu 98 507 Kč, index ziskovosti 0,37 a vnitřní výnosové procento 13,5 %. Diskontovaná doba návratnosti navrženého systému je 11,5 let a bez uvažování časové hodnoty peněz pouze 7 let.



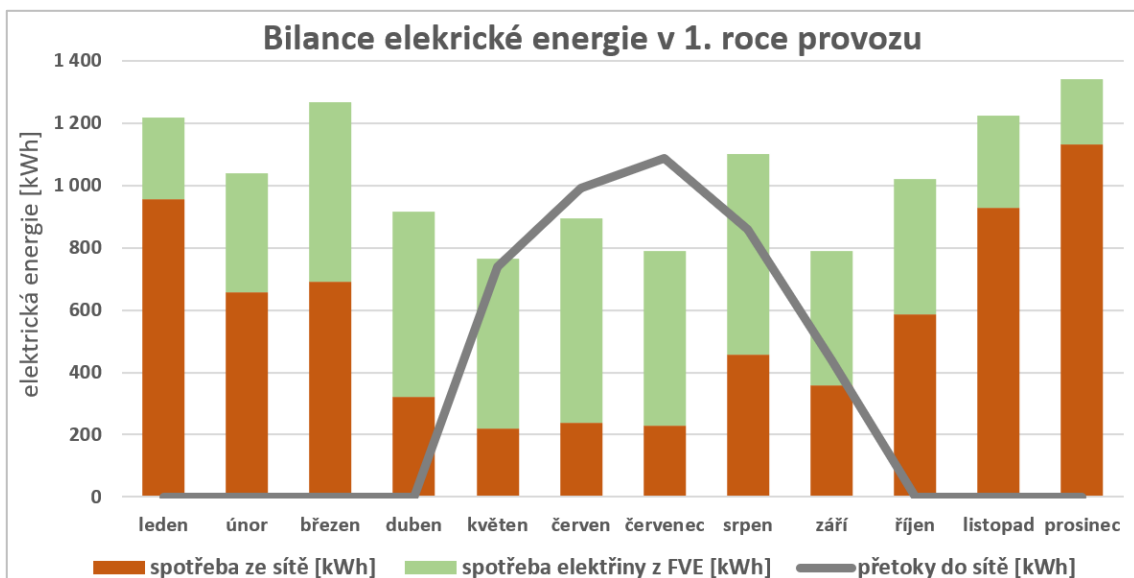
Graf č. 13: Kumulativní diskontovaný peněžní tok pro optimální variantu systému s akumulací do vody

7.3.4. Úžitky plynoucí z navržené varianty

Z priorit využití vyrobené elektrické energie u systému s akumulací do vody plyne, že úspory elektrické energie u tohoto systému budou obdobné jako u systému bez akumulace energie se stejným instalovaným výkonem. V tomto případě se úspory elektřiny od začátku dubna do konce července pohybují v rozmezí 65 až 73 %, přičemž u systému se stejným instalovaným výkonem a akumulací do baterií dosahovaly tyto úspory 85 až 95 % z celkové spotřeby. V zimním období,

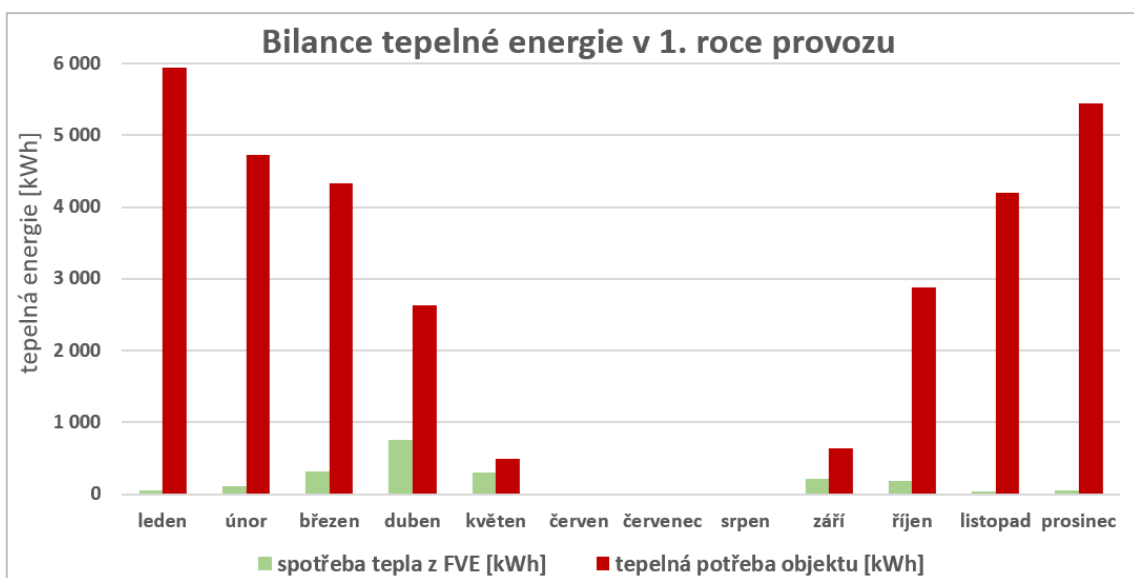
tj. listopad až konec února, jsou sledovány úspory ve výši 16 až 37 % (u systému s baterií 19 až 43 %).

Roční úspory elektrické energie v roce 2025 se rovnají 5 594 kWh, což je přibližně 45 % z celkové spotřeby objektu (u systému s baterií 58 %). Přebytková elektrická energie dodaná do distribuční sítě činí 4 117 kWh, přičemž se během období vytápění veškeré přebytky spotřebovávají k ohřevu vody v akumulčních nádržích. Naopak během letních měsíců, kdy pro tyto přebytky není využití, se do sítě dodává více energie než ve výše popsanych systémech.



Graf č. 14: Bilance elektrické energie v 1. roce provozu pro optimální variantu systému s akumulací do vody

I přes využití veškeré přebytkové energie v období vytápění dosahují úspory tepelné energie pouze nepatrné části z celkové tepelné potřeby objektu. Nejvyšší procentuální úspory lze sledovat v květnu 62 %, dále v září 32 % a v dubnu 29 %. Z pohledu roční tepelné potřeby objektu 31 300 kWh dochází k tepelným úsporám pouze ve výši 2 026 kWh neboli k 6,5 %.



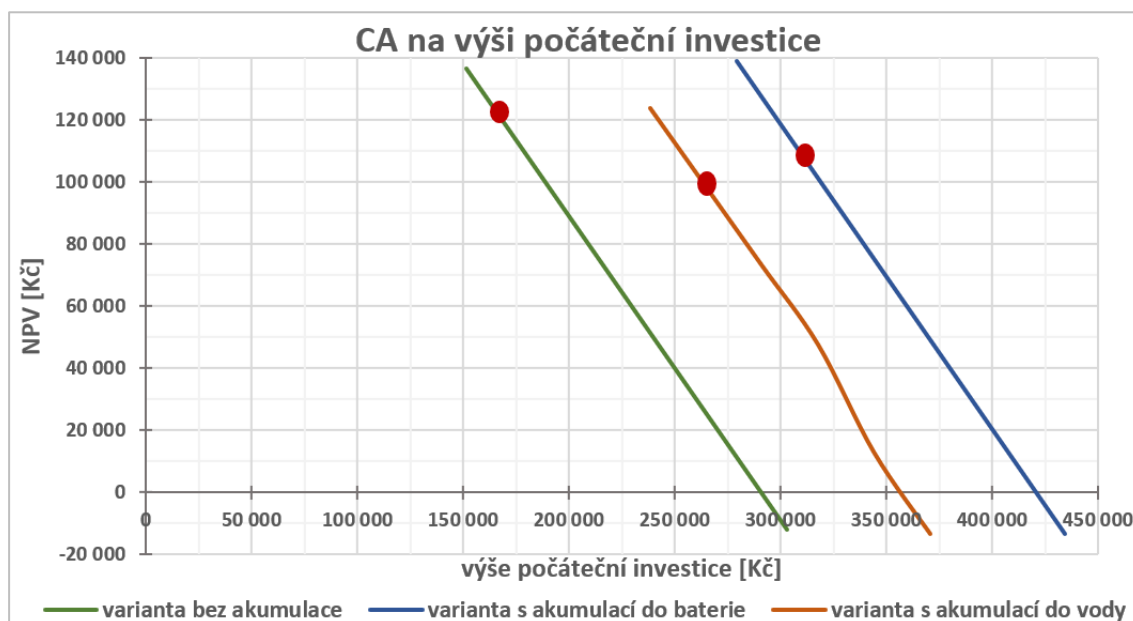
Graf č. 15: Bilance tepelné energie v 1. roce provozu pro optimální variantu systému s akumulací do vody

Celkové ekonomické úspory za rok 2025 se tak při předpokládaných cenách energií rovnají 47 381 Kč, a to z části 44 346 Kč z úspor elektrické energie a pouze 3 034 Kč z úspor tepelné energie. Příjmy z prodeje přebytečné energie činí 7 058 Kč.

7.4. Citlivostní analýzy

7.4.1. Výše počáteční investice

Ekonomická výhodnost investic může být negativně ovlivněna výší počátečních výdajů. V této práci jsem získal ceny komponent přímo od internetových prodejců, nicméně konečné investiční výdaje budou zjištěny až při konkrétní poptávce vybraným podnikem. Jednotlivé navržené varianty by se staly ekonomicky neefektivní, pokud by pořizovací cena u systému bez akumulace překročila částku okolo 290 000 Kč (nárůst⁸ o 72 %), u systému s akumulací do baterií 420 000 Kč (nárůst o 35 %) a u systému s akumulací do vody 360 000 Kč (nárůst o 36 %). Nelineární průběh u systému s akumulací do vody lze vysvětlit tím, že stavební část investice začne od určitého navýšení splňovat podmínku technického zhodnocení budovy a začne se odpisovat. Ostatní systémy takovou nelinearitu nevykazují, jelikož jejich stavební část není navýšena o výdaje spojené s instalací ohřevu vody a nedochází tak k odpisování této části.



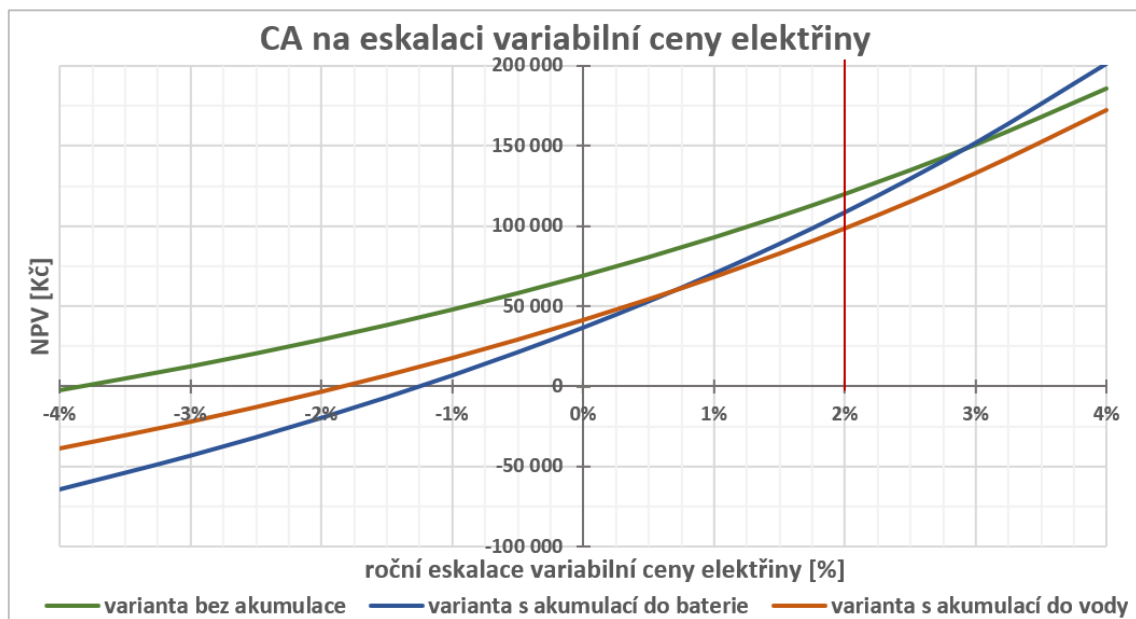
Graf č. 16: CA na výši počáteční investice

7.4.1. Eskalace variabilní ceny elektřiny

Variabilní cena nakupované elektřiny udává celkovou výši ekonomických úspor, a proto jsem se rozhodl zkoumat i její vliv na výhodnost navržených variant. Ve výchozím scénáři jsem zvolil 2% cenovou eskalaci, avšak investice do těchto variant by byly ekonomicky efektivní

⁸ Nárůst oproti předpokládané investované částce.

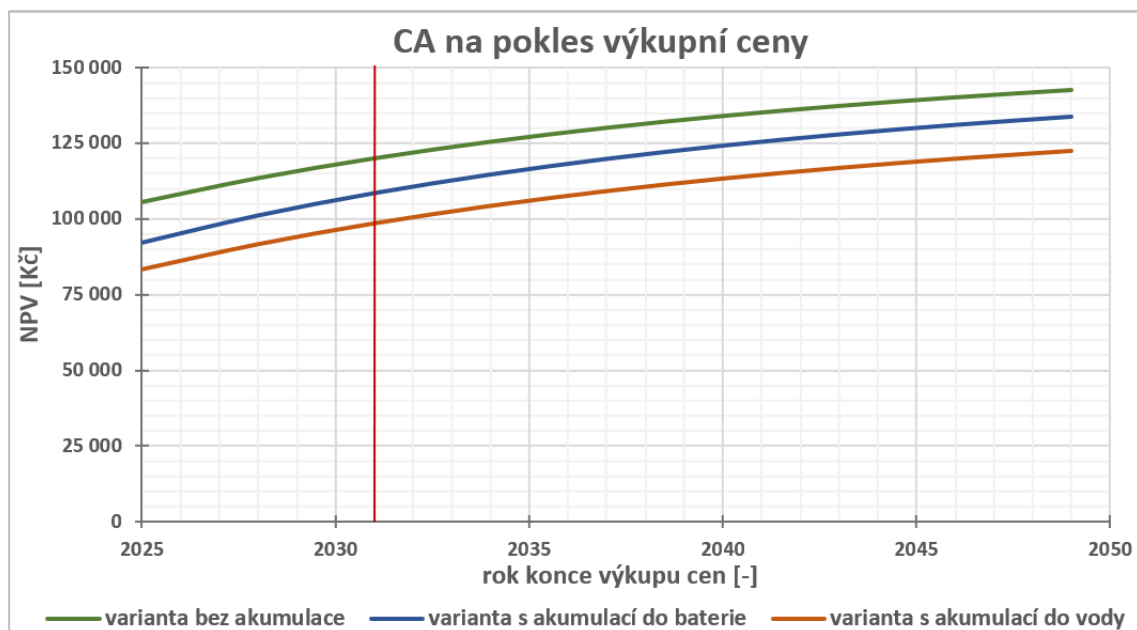
i při zachování výchozích cen bez jejich další eskalace. Výchozí cenu regulované části pro rok 2025 uvažují 3,77 Kč/kWh a u neregulované části cenu z EEX rovnající se 1,84 Kč/kWh pro rok 2027. Pokud by v následujících letech docházelo k poklesu cen, za nejvýhodnější variantu bych považoval tu bez akumulace. Její výstavba by byla ekonomicky efektivní i při téměř 4% meziročním poklesu cen elektřiny. V případě meziroční eskalace ceny elektřiny kolem 2,9 %, by se dle hodnoty NPV jevila výhodnější varianta s akumulací do baterie. Co se týče varianty s akumulací do vody, ta se stává v porovnání s variantou bez akumulace méně výhodná v celém rozsahu uvažovaných eskalací.



Graf č. 17: CA na eskalaci variabilní ceny elektřiny

7.4.2. Pokles výkupní ceny elektřiny

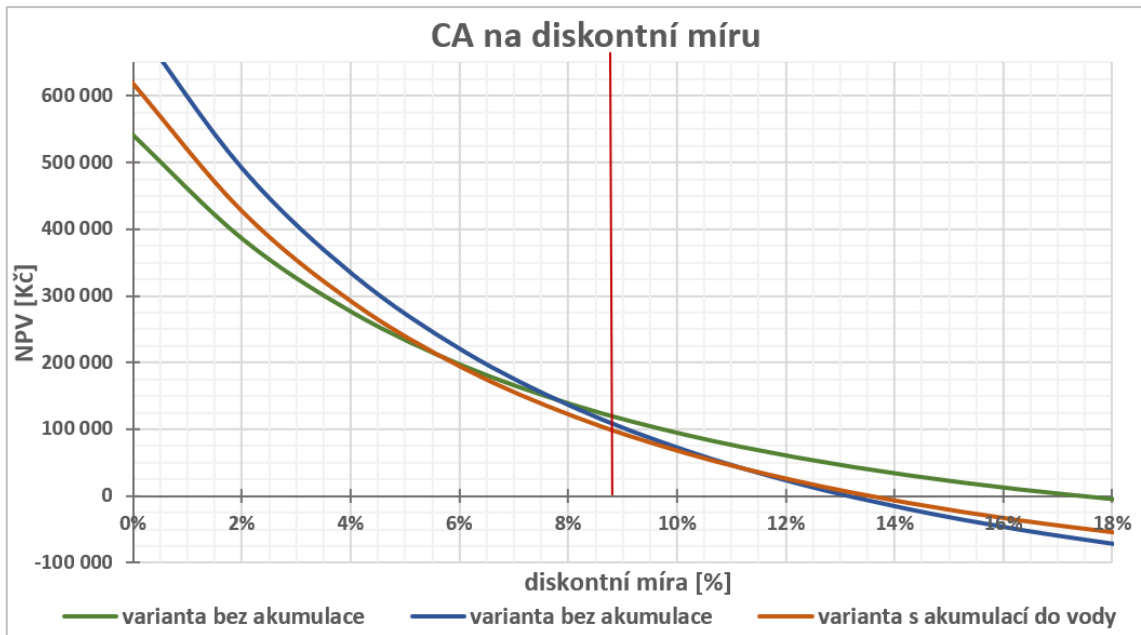
Citlivostní analýza na pokles výkupní ceny zobrazuje hodnotu čisté současné hodnoty v závislosti na roce, od něhož by nedocházelo k finanční odměně FV výroben za dodanou přebytečnou energii do sítě. Při tom se předpokládá lineární pokles na nulu z výchozí výkupní ceny 2 Kč/kWh v roce 2024. Z této analýzy mohu konstatovat důležitý poznatek, že se realizace optimálně navržených systémů ekonomicky vyplatí, i kdyby byla výkupní cena po celou dobu ekonomické životnosti nulová. Za nejvhodnější variantu z této závislosti považuji systém bez akumulace, který vykazuje nejvyšší hodnotu NPV v celém rozsahu x-ové osy.



Graf č. 18: CA na pokles výkupní ceny

7.4.3. Výše diskontní míry

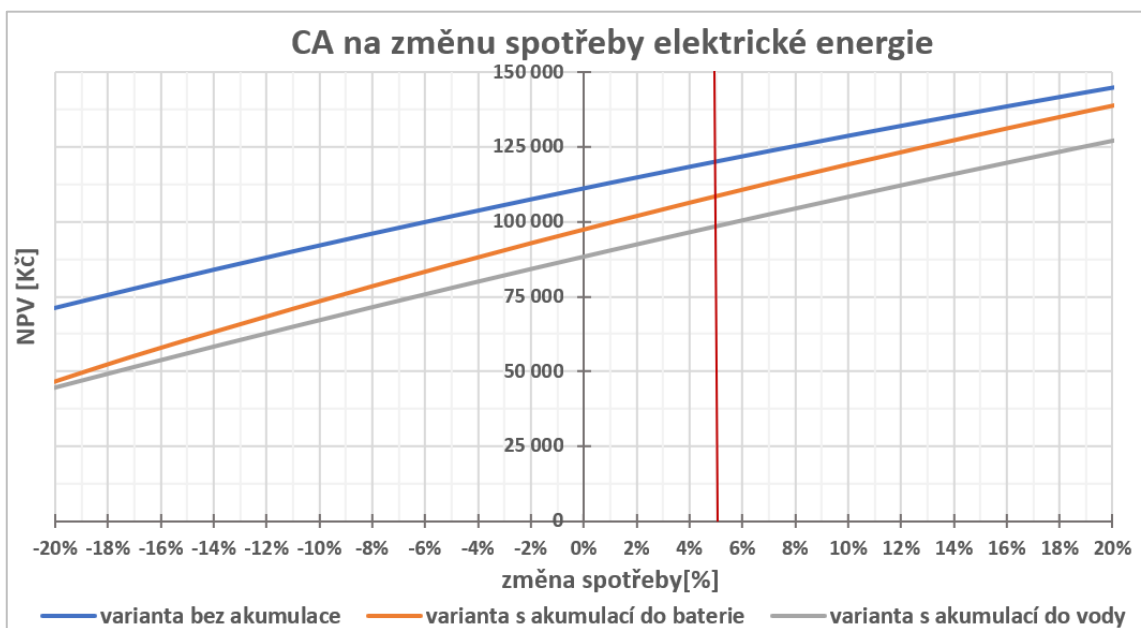
V grafu se závislosti čisté současné hodnoty na diskontní míře se dostává očekávaného výsledku, a to průtnutí křivek s vodorovnou osou v hodnotě udávající vnitřní výnosové procento jednotlivých variant. To dosahuje nejlepší hodnoty u varianty bez akumulace, a naopak nejhorší u varianty s akumulací do vody. Co se týče volby mezi výše zjištěnými optimálními variantami, tak se rozhodnutí z pohledu kritéria NPV mění při nominální diskontní míře 6,8 %. Do této procentuální míry se za ekonomicky efektivnější považuje investice do systému s akumulací do baterií. Při vyšší diskontní míře se výhodněji jeví systém bez akumulace, přičemž uvažovaná nominální diskontní míra pro vyhodnocení této práce činí 8,8 %. Nutné zmínit, že kritérium NPV u varianty s akumulací do vody nevykazuje při žádném diskontu nejvyšší hodnotu a vždy existuje alespoň jedna efektivnější varianta.



Graf č. 19: CA na diskontní míru

7.4.1. Změna spotřeby elektrické energie

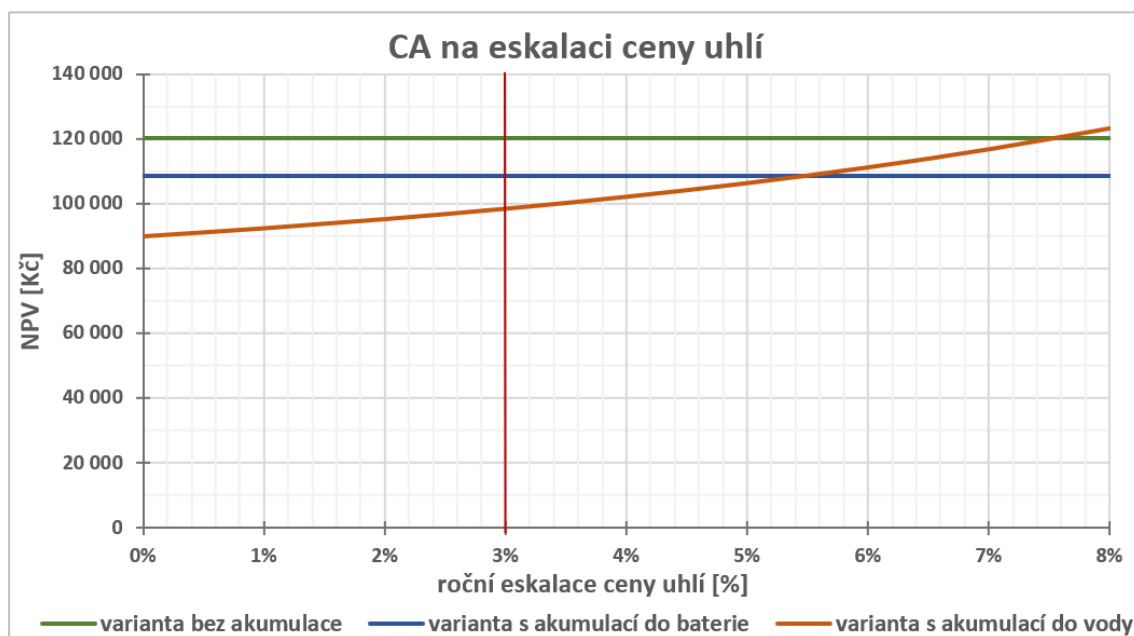
Tato analýza citlivosti se týká předpokladu, kdy se v důsledku přijetí nového zaměstnance v roce 2025 očekává 5% nárůst spotřeby oproti roku 2023. Pro názornost se uvádí i pokles spotřeby a jeho vliv na výslednou hodnotu NPV, i když je tento stav v nadcházejícím období málo pravděpodobný. Případná změna o 20 % by znamenala nárůst předpokládané spotřeby v roce 2025 z 12 372 kWh na 14 139 kWh. V opačném případě by se při poklesu o 20 % spotřeba snížila na 9 429 kWh. Ze získaného průběhu vyplývá celková výhodnost varianty bez akumulace, a to v širokém rozsahu změny spotřeby. V tomto rozsahu by však ani investice do ostatních variant nebyly ekonomicky nevýhodné.



Graf č. 20: CA na změnu spotřeby elektrické energie

7.4.2. Eskalace ceny uhlí

Pomocí analýzy na eskalaci ceny uhlí lze vyhodnotit, jakým tempem by cena uhlí (resp. měrné úspory tepla) musela meziročně růst, aby se varianta s akumulací do vody stala z pohledu kritéria NPV výhodnější než zbylé dvě varianty. Akumulace do vody začne vykazovat lepší ekonomickou efektivitu v porovnání se systémem bez akumulace při 7,5% eskalaci ceny uhlí a u systému s akumulací do baterií již při eskalaci 5,5 %. Pro lepší představu by eskalace ceny 5,5 % znamenala ve výpočetním modelu navýšení ceny uhlí do roku 2035 na hodnotu 10 710 Kč/t a následně do roku 2045 na 17 445 Kč/t. Takovou míru navýšení považuji za málo pravděpodobnou a neočekávám, že by se v budoucím období mohla stát varianta s akumulací do vody výhodnější než varianta bez akumulace.



Graf č. 21: CA na eskalaci ceny uhlí

7.5. Celkové vyhodnocení

Pro vybraný podnik byly vypracovány celkem tři možnosti využití FV zdroje k dosažení energetických a s tím spojených ekonomických úspor. Za účelem maximalizace ekonomických užitků jsem u jednotlivých systémů provedl optimalizaci jejich parametrů, přičemž se za primární kritérium vyhodnocení zvolil čistou současnou hodnotu. Každý investor do projektu však přihlíží na vynaložené investiční výdaje, a tudíž jsem při výběru nejvhodnějších parametrů přihlížel také na index ziskovosti neboli poměrové číslo vyjadřující měrný užitek z jedné investované koruny. Takto zvoleným přístupem k řešení problematice jsem dospěl k výsledkům uvedených v následující přehledové tabulce č. 16: Výsledky optimálně navržených variant.

7.5.1. Přehledová tabulka optimálně navržených variant

Systém		Bez akumulace	S akumulací do baterií ⁹	S akumulací do vody
Výše investice (bez DPH)		168 477 Kč	310 391 Kč	264 797 Kč
Parametry systému	Sklon panelů	10 °	10 °	10 °
	Instalovaný výkon	7,8 kW _p	10,3 kW _p	10,3 kW _p
	Kapacita bateriového uložení	-	7 kWh	-
	Objem akumulční nádrže	-	-	500 l
Ekonomické ukazatele	NPV – čistá současná hodnota	120 110 Kč	108 637 Kč	98 507 Kč
	PI – index ziskovosti	0,71	0,35	0,37
	IRR – vnitřní výnosové procento	17,5 %	13,1 %	13,5 %
	T _{DCF} – diskontovaná doba návratnosti	8 let	11,8 let	11,5 let
	T _{CF} – prostá doba návratnosti	5,5 let	7,1 let	7,0 let
Užitky v 1. roce provozu	Úspory elektrické energie	5 029 kWh (39 976 Kč)	7 083 kWh (56 182 Kč)	5 549 kWh (44 346 Kč)
	Úspory tepelné energie	-	-	2 026 kWh (3 034 Kč)
	Přetoky do sítě	3 911 kWh (6 705 Kč)	4 443 kWh (7 617 Kč)	4 117 kWh (7 058 Kč)
	Využití vyrobené elektřiny	56 %	61 %	64 %
	Úspory elektřiny z celkové spotřeby	41 %	58 %	45 %

Tabulka č. 16: Výsledky optimálně navržených variant

Z tabulky vyplývá, že za předpokládaných podmínek jsou všechny optimálně navržené varianty ekonomicky efektivní a rozhodnutí o investici do jakékoliv z nich by nemělo mít pro firmu negativní důsledek. Všeobecně považuji výstavbu FV zdroje pro tento konkrétní subjekt za velmi výhodný, a to i v širším rozsahu optimalizovaných parametrů (viz tabulky č. 13, 14 a 15). Tento fakt lze přisoudit především diagramu spotřeby objektu, jehož tvar je podobný diagramu výroby elektrické energie.

7.5.1. Financování projektu

Jak již bylo zmíněno v podkapitole 6.7. Stanovení ekonomické efektivity, podnik plánuje financovat výstavbu z vlastních finančních prostředků. Dá se říci, že firma zaujímá celkově negativní přístup k přítomnosti cizího kapitálu, což bylo v této práci zohledněno a neuvažuje se tak jakákoliv půjčka pro částečné pokrytí pořizovacích nebo provozních výdajů. Zároveň se vzhledem k poměrně nízké ceně optimálních variant očekává, že firma disponuje dostatečnými finančními prostředky pro realizaci jakékoliv navržené varianty a při výběru jedné z nich tak není limitována výší pořizovacích výdajů.

I přes to by pro zlepšení ekonomiky projektu mohla firma zvažovat čerpání finanční podpory z dotačních výzev, kterým jsem se věnoval v podkapitole 3.5. Podpora fotovoltaických zdrojů pro firmy. V ní se uvádějí podmínky pro uznání podpory z aktuálně vypsanych výzev, avšak

⁹ Bez výměny bateriového uložení po skončení doby jeho životnosti.

ty nejsou splněny pro konkrétní navržené varianty v této práci. U výzev RES+ není splněna podmínka minimálního instalovaného výkonu 50 kW_p a u výzvy Úspory energie od Ministerstva průmyslu a obchodu nastává problém v rámci minimální výše podpory 500 tis. Kč. Takové částky nedosahují ani celkové investiční výdaje, a tudíž nelze očekávat finanční podporu ani z této potenciální výzvy. Tím se nevylučuje možné čerpání dotace v čase realizace projektu, jelikož mohou být v blízkém období vypsány další dotační tituly, které nejsou v době psaní této práce zveřejněny.

7.5.2. Výběr optimální varianty

Pokud by firmou nebyl kladen požadavek na výběr konkrétního systému, ale jeho volba by se odehrávala pouze na základě maximálního ekonomického užítku, tak bych firmě doporučil systém bez akumulace. Tato varianta vykazuje v porovnání se zbylými dvěma variantami nejvyšší hodnotu NPV kolem 120 000, a díky relativně nízkým pořizovacím výdajům téměř dvojnásobný index ziskovosti. K jejímu výběru přispívají také zbylé ekonomické ukazatele, u nichž dosahuje také lepších výsledků. Konkrétně vnitřní výnosové procento je u této varianty vyšší o přibližně 4 % a celkově činí 17,5 %. Co se týče doby návratnosti bez uvažování časové hodnoty peněz, dá se očekávat splacení projektu za dobu 5,5 let, diskontováním peněžních toků se tato doba prodlouží na 8 let.

K výběru nejvhodnějšího optimálního systému mohou přispět také grafy citlivostních analýz. Z té na změnu výše počáteční investice by se varianta bez akumulace stala ekonomicky nevýhodná až při 72% nárůstu investičních výdajů oproti jejich předpokládané výši. Ostatní varianty by se dostaly do záporných čísel u nižšího nárůstu, a to již kolem 35 %. V analýze na eskalaci variabilní ceny by se u meziroční eskalace kolem hodnoty 2,9 % stala výhodnější varianta s baterií. Avšak rozdíl mezi hodnotami NPV u těchto dvou variant nelze očekávat v takové míře, aby se varianta s baterií stala efektivnější i z pohledu ostatních ekonomických ukazatelů. U citlivostních analýz na pokles výkupní ceny a spotřeby elektrické energie zůstává čistá současná hodnota u mnou zvolené varianty vyšší v celém zkoumaném rozsahu. Poslední zmíněná analýza na růst ceny uhlí ukazuje, že by se varianta s akumulací do vody stala dle NPV výhodnější při eskalaci vyšší než 7,5 %. Takto vysoký meziroční nárůst se mi zdá velmi nepravděpodobný, a tudíž i z tohoto pohledu považuji volbu varianty bez akumulace za správnou.

V případě, že by podnik požadoval jeden ze systémů s akumulací pro dosažení vyšších energetických úspor, rozhodnutí o volbě mezi akumulací do vody či baterie není tak jednoznačné. Dle kritéria NPV se ekonomicky efektivnější stává investice do baterií, avšak za cenu vyšších investičních výdajů. To má za následek téměř shodnou hodnotu indexu ziskovosti u obou variant, nicméně nepatrně výhodněji se z pohledu tohoto ukazatele jeví varianta s akumulací do nádrží. I ostatní kritéria ekonomické efektivnosti vykazují lepší výsledky u této varianty, ale pouze o malý rozdíl ve srovnání s variantou s baterií. Z toho důvodu nelze jednoznačně určit ekonomicky výhodnější systém a rozhodnutí o realizaci konkrétní formy akumulace tak spíše záleží na preferencích samotného investora, zdali spíše upřednostňuje úspory tepelné či elektrické energie. Investor může dále přihlídnout také na rozdílné pořizovací výdaje, které pro něho mohou být limitujícím faktorem. Obecně lze říci, že výstavba FV zdroje s akumulací do vody není tak

finančně náročná jako pořízení bateriového uložště, ale na druhou stranu se touto formou akumulace dosahuje nižších ekonomických úspor.

8. ZÁVĚR

V závěrečné práci jsem se zabýval optimálním návrhem variant fotovoltaického zdroje s různým využitím elektrické energie pro vybraný podnik. Za tento podnik jsem si zvolil malou průmyslovou firmu podnikající v oboru indukčních ohřevů pro průmysl, a to především z důvodu blízkého vztahu k ní. Samotné vedení podniku již dlouhou dobu uvažuje o instalaci FV zdroje, a tudíž očekávám praktické uplatnění výsledků práce v podobě reálné výstavby jedné z variant.

Na začátku práce jsem popsal současný stav využívaných technologií v oblasti výroby elektrické energie ze slunečního záření a také jejich klíčové technické parametry. Za účelem úplného seznámení čtenáře s problematikou realizace FV zdroje jsem se v následující části práce zabýval povolovacím řízením z pohledu stavebního zákona, udělování licencí pro výrobu a podmínkami pro připojení výroby do distribuční sítě. Poznatky z této části slouží investorovi především k přehledu veškerých povinností a jejich sledu, které musejí být splněny, aby byla instalace zdroje v souladu s právními předpisy. Následně jsem provedl analýzu aktuálně vypsaných výzev pro podporu fotovoltaických zdrojů pro firmy.

Hlavní přínos diplomové práce se odehrává v následujících kapitolách. V první řadě jsem navrhl tři různé varianty využití FV zdroje, konkrétně variantu bez akumulace energie a dále dvě varianty s její akumulací, a to buď do bateriového uložení nebo do ohřevu otopné vody s případnou akumulací v akumulčních nádržích. Pro tyto jednotlivé varianty jsem vytvořil technicko-ekonomické výpočetní modely umožňující následné vyhodnocení jejich optimálních parametrů, mezi které se řadí instalovaný výkon, sklon panelů a případně kapacita bateriového uložení či objem akumulčních nádob. Při tvorbě těchto modelů jsem kladl důraz na jejich univerzální využití, aby mohly sloužit nejen vybranému podnik, ale případně i dalším subjektům s podobnými potřebami a požadavky. Samotné vyhodnocení jsem prováděl na základě zvoleného primárního kritéria ekonomické efektivity známého pod zkratkou NPV neboli čisté současné hodnoty. Pro respektování finanční náročnosti investic jsem při vyhodnocování zohledňoval také index ziskovosti.

Z výsledků získaných po aplikaci vstupních dat na výpočetní model vyplývá, že charakteristické vlastnosti vybraného podniku představují vhodné podmínky pro instalaci FV zdroje. To je dáno především podobností spotřebního diagramu elektrické energie s výrobním diagramem závislým na slunečním záření. Jinak řečeno, v podniku dochází k velkému podílu využívání aktuálně vyráběné elektrické energie, což vede ke značným úsporám a celkově vysoké ekonomické efektivitě projektu.

Co se týče zjištěných optimálních parametrů, navrhoval bych instalovat panely přímo na střešní krytinu se sklonem 10° . Vyšší sklon panelů by sice zvýšil výrobu, ale tento nárůst by nepokryl zvýšené investiční výdaje spojené s porizením a montáží dražších konstrukcí potřebných k dosažení většího sklonu. Ze získaných výsledků výpočetního modelu a průběhů citlivostních analýz jsem vyhodnotil, že se ekonomicky nejvýhodněji jeví instalace FV zdroje bez akumulace s instalovaným výkonem okolo 8 kW_p . Pokud by investor požadoval systém s akumulací do baterie, tak jsem došel k závěru, že by instalovaný výkon měl činit přibližně 10 kW_p a kapacita

bateriového uložení 7 kWh. S tímto systémem se pojí také úvaha o výhodnosti výměny uložení po skončení doby jeho životnosti, přičemž bych tuto výměnu z ekonomického hlediska nedoporučoval a po zbytek doby životnosti projektu bych systém využíval bez možnosti akumulace elektrické energie. U systému využívající přebytečnou energii k ohřevu otopné vody jsem optimální instalovaný výkon vyhodnotil ve stejné výši jako u předešlého systému, tedy kolem 10 kW_p. Objem akumulční nádrže bych volil 500 litrů, jelikož po většinu času dochází k přímému využití získané tepelné energie a není ji nutné ve větší míře akumulovat.

Za důležitý poznatek z citlivostních analýz považuji ekonomickou výhodnost navržených variant i v situaci, v které by nebyl podnik finančně odměňován za dodanou elektrickou energii do distribuční sítě. Dále by se varianty systémů jevíly ekonomicky výhodné i přes značné snížení spotřeby elektrické energie.

Konkrétně takto navržené systémy lze z pohledu stavebního zákona při splnění požární bezpečnosti zařadit do drobných staveb, a k jejich instalaci tedy nemusí vedení podniku žádat stavební úřad o povolení záměru k výstavbě. Pro jejich provoz se nepožaduje ani udělení licence na výrobu elektrické energie a investor musí pouze zaslat žádost o připojení k distribuční síti a vyčkat na její posouzení. V rámci analýzy aktuálně vypsáných dotačních výzev se vlastnosti systémů neslučují s podmínkami pro možné zažádání o jakoukoliv formu podpory, a pokud tento stav setrvá do začátku realizace FV zdroje, musí být celý projekt financován z peněžních prostředků investora.

REFERENCE

- [1] VOBOŘIL, David. *Fotovoltaické elektrárny - princip funkce a součásti, elektrárny v ČR*. Online. In: Oenergetice.cz. 2016.
Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti>. [cit. 2024-02-21].
- [2] BECHNÍK, Bronislav. *Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice*. Online. In: TZBinfo. 2014.
Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>. [cit. 2024-02-21].
- [3] NOS, Filip. *Co všechno obsahuje běžná fotovoltaická elektrárna?* Online. In: ESTAV.cz. 2018.
Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/6450.co-vsechno-obsahuje-bezna-fotovoltaicka-elektrarna-jake-potrebuji-komponenty>. [cit. 2024-02-21].
- [4] KOS, Libor. *Fotovoltaická elektrárna - pojmy*. Online. In: FVESYSTEMY.cz.
Dostupné z: https://www.fvesystemy.cz/Terminologie-a5_0.htm. [cit. 2024-02-21].
- [5] Společnost MAYSUN SOLAR. *Definice a rozdíly mezi BIPV a BAPV v distribuované fotovoltaice*. Online. In: Maysun Solar. 2021.
Dostupné z: <https://www.solarpanelscz.com/blog/definition-and-difference-between-bipv-and-bapv-in-distributed-photovoltaic>. [cit. 2024-02-24].
- [6] HLADÍK, Richard. *Porovnání: Monokrystalický a polykrystalický solární panel*. Online. In: Evolty. 2022, 21.12.2023.
Dostupné z: <https://evolty.cz/solarni-panely/monokrystalicke-a-polykrystalicke-panely/>. [cit. 2024-02-24].
- [7] Společnost TBC ENGINEERING. *3 typy fotovoltaických panelů*. Online. In: Bce. 2019.
Dostupné z: <https://www.bce.cz/blog/3-typy-fotovoltaickych-panelu-jake-jsou-jejich-vyhody>. [cit. 2024-02-24].
- [8] Společnost CZECH NATURE ENERGY. *Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny*. Online. In: CNE. C2024, 25.01.2024.
Dostupné z: <https://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>. [cit. 2024-02-24].
- [9] GOTREK, S.D. *Solární panely, regulátory a baterie*. Online. In: Nomaden. 2018.
Dostupné z: <https://www.nomadem.cz/clanek/66/solarni-panely-a-regulatory/>. [cit. 2024-02-24].
- [10] TOUŠEK, Jiří a TOUŠKOVÁ, Jana. *Organická fotovoltaika*. Online. In: Vesmír. 2012.
Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2012/cislo-9/organicka-fotovoltaika.html>. [cit. 2024-02-28].
- [11] Společnost ENERGO SOLAR. *Solární články*. Online. In: EnergoSolar. 2023.
Dostupné z: <https://www.energ solar.cz/solarni-clanky>. [cit. 2024-02-28].

- [12] Společnost CZECH RE AGENCY. *Fotovoltaický střídač*. Online. In: TZBinfo. 2009. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltaicky-stridac-ucinnost-neni-vse>. [cit. 2024-02-28].
- [13] ZILVAR, Jiří. *Střídače pro domácí fotovoltaiku III. - kvalita, závady a servis*. Online. In: TZBinfo. 2022. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/24680-stridace-pro-domaci-fotovoltaiku-iii-kvalita-zavady-a-servis>. [cit. 2024-03-02].
- [14] Společnost Q-ELEKTRIK. *Druhy střídačů a jejich parametry*. Online. In: Q-ELEKTRIK. C2013-2024. Dostupné z: <https://elektro.q-elektrik.cz/druhy-stridacu-a-jejich-parametry>. [cit. 2024-03-02].
- [15] ZILVAR, Jiří. *Rozumná návratnost domácí fotovoltaiky?* Online. In: ESTAV.cz. 2021. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/9418.rozumna-navratnost-domaci-fotovoltaiky-pozor-na-spravny-stridac>. [cit. 2024-03-04].
- [16] MUJGOŠ, Michal. *Solární měnič a jak si ho vybrat*. Online. In: Evolty. 2022, 20.12.2023. Dostupné z: <https://evolty.cz/solarni-menic/>. [cit. 2024-03-05].
- [17] Společnost OEZ. *Obecné schéma zapojení fotovoltaického zdroje*. Online. In: OEZ. C2021-2023. Dostupné z: <https://www.oez.cz/aktuality/obecne-schema-zapojeni-fotovoltaickeho-zdroje>. [cit. 2024-03-05].
- [18] HRZINA, Pavel. *Cykly a životnost baterie*. Online. In: TZBinfo. 2020. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/21096-cykly-a-zivotnost-baterie>. [cit. 2024-03-07].
- [19] HRZINA, Pavel. *Akumulace elektřiny v budovách*. Online. In: TZBinfo. 2020. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/20292-akumulace-elektriny-v-budovach-zakladni-parametry-a-technologie>. [cit. 2024-03-07].
- [20] Společnost KEHENG BATTERY. *Co je hloubka vybití? Vše co potřebujete vědět*. Online. In: KHZH. 2023. Dostupné z: <https://www.lithiumbatterytech.com/cs/depth-of-discharge-explained/>. [cit. 2024-03-09].
- [21] BATTERY UNIVERSITY. *What does Elevated Self-discharge DO?* Online. BATTERY UNIVERSITY. 2021. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-802b-what-does-elevated-self-discharge-do>. [cit. 2024-03-09].
- [22] Společnost ENERGO SOLAR. *BMS (Battery Management System)*. Online. In: EnergoSolar. 2023. Dostupné z: <https://www.energolar.cz/bms-battery-management-system>. [cit. 2024-03-09].

- [23] ZEMKOVÁ, Barbora. *Životnost fyzických baterií*. Online. In: Elektrina.cz. 2019. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/zivotnost-fyzicky-baterii>. [cit. 2024-03-10].
- [24] MATAJS, Vladimír. *Olověné baterie pro ukládání solární energie*. Online. In: Solární experti. 2015. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/olovene-akumulatory-pro-ostrovni-a-hybridni-fotovoltaiicke-systemy/>. [cit. 2024-03-10].
- [25] Společnost DZD DRAŽICE. *Akumulační nádrže NAD, NADS a UKV*. Online. DRAŽICE. C2024. Dostupné z: <https://www.dzd.cz/akumulacni-nadrze/bez-pripravy-tuv>. [cit. 2024-03-10].
- [26] Společnost DZD DRAŽICE. *Akumulační nádrže NADO a NADOS*. Online. DRAŽICE. C2024. Dostupné z: <https://www.dzd.cz/akumulacni-nadrze/s-pripravou-tuv>. [cit. 2024-03-10].
- [27] Společnost A-Z TRADERS. *Uživatelská příručka A-Zrouter SMART*. Online. Dostupné z: <https://www.aztraders.cz/a-z-router-smart-master>. [cit. 2024-03-12].
- [28] NOS, Filip. *Základní možnosti připojení fotovoltaické elektrárny*. Online. In: ESTAV.cz. 2018. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/6456.fotovoltaiika-jak-se-lisi-zarizeni-pro-primou-spotrebu-a-pro-prodej-elektricke-energie-do-site>. [cit. 2024-03-12].
- [29] MATAJS, Vladimír. *Jak funguje ostrovní fotovoltaický systém?* Online. In: Solární experti. 2023. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-ostrovni-off-grid-fv-system/>. [cit. 2024-03-12].
- [30] Ministerstvo pro místní rozvoj. *Fotovoltaiika*. Online. In: Ministerstvo pro místní rozvoj, 2014, s. 4-9. Dostupné z: https://mmr.gov.cz/getmedia/b4a94988-32fd-4b69-a548-82a288467769/FVE-web_01_2014.pdf. [cit. 2024-03-12].
- [31] MUJGOŠ, Michal. *Typy fotovoltaických systému*. Online. In: Evolty. 2023. Dostupné z: <https://evolty.cz/fve/typy-fotovoltaiickych-systemu/>. [cit. 2024-03-12].
- [32] Společnost SOLÁRNÍ EXPERTI. *Hybridní solární elektrárny 3,6 kWp s baterií*. Online. In: Solární experti. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/solarni-systemy/fotovoltaiika/hybridni-solarni-elektrarna-s-bateriemi-li-ion-354-kwp-na-klic/>. [cit. 2024-03-12].
- [33] BOLD, Frank. *Novela Lex OZE I: výstavba obnovitelných zdrojů energie bude jednodušší*. Online. In: Epravo.cz. 2023. Dostupné z: <https://www.epravo.cz/top/clanky/novela-lex-oze-i-vystavba-obnovitelnych-zdroju-energie-bude-jednodussi-116029.html>. [cit. 2024-03-16].

- [34] PAVELKOVÁ, Martina. *Lex OZE I a změny ve stavebním zákoně*. Online. In: Stavební klub profi. 2023.
Dostupné z: <https://www.stavebniklub.cz/33/lex-oze-i-a-zmeny-ve-stavebnim-zakone-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EgjY3pABA8KYtz8CGTJtlcD2ZspOsA8wwA/>.
[cit. 2024-03-16].
- [35] Poslanecká sněmovna. *Sněmovní tisk 487*. Online. Poslanecká sněmovna parlamentu České republiky. 2023.
Dostupné z: <https://www.psp.cz/sqw/historie.sqw?o=9&t=487>. [cit. 2024-03-16].
- [36] Zákony pro lidi. *Zákon č. 469/2023 Sb.: Zákon, kterým se mění zákon č. 458/2000 Sb.* Online. In: Zákony pro lidi. 2023.
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2023-469>. [cit. 2024-03-16]
- [37] HEJNÁ, Veronika. *Nový stavební zákon: Žádost o povolení a předběžná informace*. Online. In: HYPOINDEX. 2024.
Dostupné z: <https://www.hypoindex.cz/clanky/novy-stavebni-zakon-zadost-o-povoleni-a-predbezna-informace/>. [cit. 2024-03-18].
- [38] Zákony pro lidi. *Zákon č. 283/2021 Sb.: Stavební zákon*. Online. In: Zákony pro lidi. 2021.
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-283/zneni-20240101#cast6>.
[cit. 2024-03-18].
- [39] ŠIKOLA, Luděk Šikola a KRAJÍČEK, Vojtěch. *Nový stavební zákon mění podmínky povolování obnovitelných zdrojů energie*. Online. In: Obnovitelně.cz. 2023.
Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/clanek/2537/novy-stavebni-zakon-meni-podminky-povolovani-obnovitelnych-zdroju-energie-pripravte-se-na-radu-novinek%2040>.
[cit. 2024-03-18].
- [40] KONEČNÝ, František. *Co přináší nový stavební zákon do praxe?* Online. In: Z+i. 2023.
Dostupné z: <https://zpravy.ckait.cz/vydani/2023-06/co-prinasi-novy-stavebni-zakon-do-praxe-predevsim-obavy/>. [cit. 2024-03-18].
- [41] DOUCHA, Pavel. *Novela stavebního zákona II. – instalace fotovoltaických a větrných elektráren*. Online. In: Estav.tv. 2024.
Dostupné z: <https://estav.tv/v/novela-stavebniho-zakona-ii-instalace-fotovoltaickych-a-vetrnych-elektren/>. [cit. 2024-03-18].
- [42] HRUŠKOVÁ, Markéta. *Třídění staveb podle nového stavebního zákona*. Online. In: Markéta Hrušková realitní kancelář. 2023.
Dostupné z: <https://marketahruskova.cz/trideni-staveb-podle-noveho-stavebniho-zakona/>. [cit. 2024-03-18].
- [43] Digitální a informační agentura. *Licence pro podnikání v energetických odvětvích*. Online. Gov.cz.

Dostupné z: <https://portal.gov.cz/sluzby-vs/licence-pro-podnikani-v-energetickych-odvetvich-S1640>. [cit. 2024-03-19].

[44] Zákony pro lidi. *Zákon č. 458/2000 Sb.: Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)*. Online. Zákony pro lidi.

Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458?text=u+%C3%BAprav%C4%9B+p%C5%99ipojen%C3%AD+k+distribu%C4%8Dn%C3%AD+s%C3%ADti>. [cit. 2024-03-19].

[45] Energetický regulační úřad. *Informace k fotovoltaickým elektrárnám*. Online. Energetický regulační úřad. 2022, 24.08.2023.

Dostupné z: <https://eru.gov.cz/informace-k-fotovoltaickym-elektrarnam>. [cit. 2024-03-19].

[46] ČEZ Distribuce. *Připojení fotovoltaik do distribuční sítě*. Online. Skupina ČEZ. 2023.

Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/clanky/pripojzeni-fotovoltaik-do-distribucni-site.-staci-jeji-kapacit-178348>. [cit. 2024-03-19].

[47] Energetický regulační úřad. *Postup při připojování výroben*. Online. Energetický regulační úřad. 2023, 29.05.2023.

Dostupné z: <https://eru.gov.cz/postup-pri-pripojovani-vyroben-elekriny>. [cit. 2024-03-19].

[48] Zákony pro lidi. *Vyhláška č. 16/2016 Sb.: Vyhláška o podmínkách připojení k elektrizační soustavě*. Online. In: Zákony pro lidi. 2016.

Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-16>. [cit. 2024-03-19].

[49] ČEZ Distribuce. *Pro výrobce*. Online. C2024. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-vyrobce>. [cit. 2024-03-19].

[50] ČEZ Distribuce. *Distribuční portál*. Online. ČEZ Distribuce. C2024.

Dostupné z: <https://dip.cezdistribuce.cz/irj/portal/>. [cit. 2024-03-22].

[51] Ministerstvo životního prostředí. *Výzva - RES+ Č. 1/2024*. Online. In: Státní fond životního prostředí. 2024.

Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/modernizacni-fond/vyzvy/detail-vyzvy/?id=26>. [cit. 2024-03-22].

[52] Ministerstvo životního prostředí. *Výzva - RES+ Č. 2/2024*. Online. In: Státní fond životního prostředí. 2024.

Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/modernizacni-fond/vyzvy/detail-vyzvy/?id=29>. [cit. 2024-03-22].

[53] Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Úspory energie - výzva I. OP TAK- upozornění na změnu*. Online. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2022.

Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/optak-2021-2027/aktivita/uspory-energie/uspory-energie---vyzva-i--op-tak--upozorneni-na-zmenu--269244/>. [cit. 2024-03-25].

- [54] Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Harmonogram výzev OP TAK pro rok 2024*. Online. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2024.
Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/optak-2021-2027/aktualni-informace/harmonogram-vyzev-op-tak-pro-rok-2024--278392/>. [cit. 2024-03-25].
- [55] Společnost INDUKCE. Indukční ohřev. Online. Indukce.
Dostupné z: <http://indukce.cz/>. [cit. 2024-04-06].
- [56] ŠUBRT, Roman. *Tepelné izolace*. Online. In: Energy Consulting. 2004.
Dostupné z: <http://www.e-c.cz/index.php?page=download>. [cit. 2024-04-07].
- [57] TZBInfo. *Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit*. Online. In: TZBInfo.
Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>. [cit. 2024-04-07].
- [58] TZBInfo. *Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů*. Online. In: TZBInfo. 2001.
Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu>. [cit. 2024-04-07].
- [59] Společnost UNIHAL. *Sendvičový panel KS 1000 TOP-DEK*. Online. In: Unihal. C2014.
Dostupné z: <https://www.unihal.cz/materialy/sendvicove-panely/stresni-sendvicove-panely/ks-1000-top-dek>. [cit. 2024-04-07].
- [60] REINBERK, Zdeněk; ŠUBRT, Roman a ZELENÁ, Lucie. *On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám*. Online. In: TZBInfo.
Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>. [cit. 2024-04-08].
- [61] ŠÁLA, Jiří. *TZB-2002: Součinitel prostupu tepla*. Online. In: TZBInfo. 2002.
Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-hruba-stavba/1223-tzb-2002-soucinitel-prostupu-tepla-vypis-z-revidovane-csn-73-0540-2-2002>. [cit. 2024-04-08].
- [62] REINBERK, Zdeněk. *Výpočet potřeby tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody*. Online. In: TZBInfo.
Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-vetrani-a-pripravu-teple-vody>. [cit. 2024-04-08].
- [63] Společnost Uhelné sklady Salač. *Bílinské uhlí z Ledvic OŘECH 2*. Online. In: Uhelné sklady Salač s.r.o. 2024.
Dostupné z: <https://www.uhlikamenice.cz/cs/shop/4-bilinske-uhli-z-ledvic-orech-2/?v=4>. [cit. 2024-04-08].
- [64] TZBInfo. *HKS Lazar - litinový automatický kotel na uhlí*. Online. In: TZBInfo. 2014.
Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/11616-hks-lazar-litinovy-automaticky-kotel-na-uhli-emisni-trida-4>. [cit. 2024-04-08].

- [65] Zákony pro lidi. *Vyhláška č. 194/2007 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody*. Online. Zákony pro lidi.
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-194>. [cit. 2024-04-23].
- [66] Prodejce ECOPRODUKT. Online. C2024.
Dostupné z: https://ecoprodukt.cz/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwjLGyBhCYARIsAPqTz1VbulptuaMI37Nu90ivMeYci3BKsRBCSbjFIK7xKZ6HxqYza6lfKgaAmmsEALw_wcB.
[cit. 2024-05-07].
- [67] Zákony pro lidi. *Zákon č. 586/1992 Sb. Zákon České národní rady o daních z příjmů*.
Online. Zákony pro lidi.
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-586>. [cit. 2024-04-30].
- [68] ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA. *Prognóza ČNB - zima 2024*. Online. ČNB. 2024.
Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/menova-politika/prognoza/prognoza-cnb-archiv/Prognoza-CNB-zima-2024/>. [cit. 2024-04-30].
- [69] BREADLEY, Richard A.; MYERS, Stewart C.; ALLEN, Franklin. *Principles of Corporate Finance*. 14th. McGraw-Hill Education, 2022. ISBN 1265074151. [cit. 2024-05-09].
- [70] DAMODARAN, Aswath. *Damodaran online*. Online. 2024.
Dostupné z: <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>. [cit. 2024-05-09].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Fotovoltaický článek z křemíku [2]	14
Obrázek č. 2: Konstrukce FV panelu [4]	15
Obrázek č. 3: Typy FV článků [8]	16
Obrázek č. 4: AV charakteristika FV článku v závislosti na intenzitě slunečního záření [2]	18
Obrázek č. 5: Přerozdělení vyrobené elektrické energie symetrickým a asymetrických střídačem [15].....	21
Obrázek č. 6: Topologie zapojení fotovoltaického zdroje [17].....	23
Obrázek č. 7: Závislost cyklické životnosti olověné baterie na hloubce vybití [24].....	26
Obrázek č. 8: Příklad uspořádání OFF-grid systému [29]	28
Obrázek č. 9: Příklad uspořádání hybridního systému [32]	29
Obrázek č. 10: Bokorys vybraného objektu.....	40

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Očekávané samovybíjení různých bateriových systému [21]	25
Tabulka č. 2: Výše podpory z výzvy Úspory energie [53]	38
Tabulka č. 3: Základní informace o odběrném místě	43
Tabulka č. 4: Roční spotřeby objektu (2021-2023)	43
Tabulka č. 5: Dodávky paliva pro vytápění objektu	46
Tabulka č. 6: Vlastnosti ochlazované konstrukce	49
Tabulka č. 7: Charakteristika prostoru pro výpočet tepelných ztrát	50
Tabulka č. 8: Činitelé teplotní redukce respektující vliv prostředí [61]	50
Tabulka č. 9: Uvažované měniče systému [66]	64
Tabulka č. 10: Uvažované baterie systému [66]	64
Tabulka č. 11: Uvažované objemy pro akumulaci otopné vody [25]	65
Tabulka č. 12: Cena silové elektřiny v letech 2025 až 2027	70
Tabulka č. 13: Vliv optimalizovaných parametrů na kritéria NPV a PI pro variantu bez akumulace	75
Tabulka č. 14: Vliv kapacity uložště a instalovaného výkonu na kritéria NPV a PI pro variantu s akumulací do baterie	78
Tabulka č. 15: Vliv objemu nádrže a instalovaného výkonu na kritéria NPV a PI pro variantu s akumulací do vody	81
Tabulka č. 16: Výsledky optimálně navržených variant	89

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1: Historické platby za elektrickou energii	41
Graf č. 2: Rozdělení celkové ceny elektřiny na jednotlivé složky	42
Graf č. 3: Hodinový diagram spotřeb vybraného objektu (2021-2023).....	44
Graf č. 4: Diagram doby trvání zatížení pro dny s vysokou hodinovou spotřebou.....	44
Graf č. 5: Měsíční spotřeby elektrické energie v objektu (2021-2023).....	45
Graf č. 6: Záznam hodinových potřeb tepelné energie ve dne 1.1.....	57
Graf č. 7: Rozhodovací proces při výpočtu energetických bilancí v systému s baterií.....	59
Graf č. 8: Rozhodovací proces při výpočtu energetických bilancí v systému s ohřevem vody ..	62
Graf č. 9: Kumulativní diskontovaný peněžní tok pro optimální variantu systému bez akumulace	77
Graf č. 10: Bilance elektrické energie v 1. roce provozu pro optimální variantu systému bez akumulace	78
Graf č. 11: Kumulativní diskontovaný peněžní tok pro optimální variantu systému s akumulací do baterií	80
Graf č. 12: Bilance elektrické energie v 1. roce provozu pro optimální variantu systému s akumulací do baterií.....	81
Graf č. 13: Kumulativní diskontovaný peněžní tok pro optimální variantu systému s akumulací do vody.....	82
Graf č. 14: Bilance elektrické energie v 1. roce provozu pro optimální variantu systému s akumulací do vody.....	83
Graf č. 15: Bilance tepelné energie v 1. roce provozu pro optimální variantu systému s akumulací do vody.....	83
Graf č. 16: CA na výši počáteční investice	84
Graf č. 17: CA na eskalaci variabilní ceny elektřiny	85
Graf č. 18: CA na pokles výkupní ceny	86
Graf č. 19: CA na diskontní míru.....	87
Graf č. 20: CA na změnu spotřeby elektrické energie	87
Graf č. 21: CA na eskalaci ceny uhlí.....	88