

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

MASARYKŮV ÚSTAV VYŠŠÍCH STUDIÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Návrh projektu fotovoltaické elektrárny
s tepelným čerpadlem**

**Photovoltaic Power Plant Project Proposal
With a Heat Pump**

2024

Josefina Šramhauserová

Studijní program: Projektové řízení inovací

Vedoucí práce: doc. Ing. Theodor Beran, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šramhauserová** Jméno: **Josefina** Osobní číslo: **490748**
Fakulta/ústav: **Masarykův ústav vyšších studií**
Zadávací katedra/ústav: **Institut ekonomických studií**
Studijní program: **Projektové řízení inovací**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh projektu fotovoltaické elektrárny s tepelným čerpadlem

Název diplomové práce anglicky:

Photovoltaic Power Plant Project Proposal With a Heat Pump

Pokyny pro vypracování:

Úvod: Výběr tématu práce
I. Část teoretická: Fotovoltaické elektrárny a jejich význam, charakteristika.
Technické parametry FVE
Bezpečná instalace, bezpečné provozování dle legislativy ČR
Financování a hodnocení investic
II. Část praktická: Provedení technickoekonomické studie
Podnikatelský subjekt a jeho podmínky
Ekonomické hodnocení projektu
III. Závěr: Zhodnocení a doporučení podnikatelskému subjektu

Seznam doporučené literatury:

1. HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
2. LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Solární energie: fotovoltaika – perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. V Praze: ČZU, 2005. ISBN 80-213-1335-8.
3. STANĚK, Kamil. Fotovoltaika pro budovy. Praha: Grada pro Katedru konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze, 2012. ISBN 978-80-247-4278-6.
4. MURTINGER, Karel; BERANOVSKÝ, Jiří a TOMES, Milan. Fotovoltaika: elektřina ze slunce. 2. vyd. 21. století. Praha: EkoWATT, 2008. ISBN 978-80-7366-133-5.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Theodor Beran, Ph.D. Masarykův ústav vyšších studií ČVUT v Praze

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

Datum zadání diplomové práce: **08.12.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **25.04.2024**

Platnost zadání diplomové práce: _____

doc. Ing. Theodor Beran, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Mgr. František Hřebík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. PhDr. Vladimíra Dvořáková, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna 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 studentky

ŠRAMHAUSEROVÁ, JOSEFINA. *Návrh projektu fotovoltaické elektrárny s tepelným čerpadlem*. Praha: ČVUT 2024. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Masarykův ústav vyšších studií.



**MASARYKŮV ÚSTAV
VYŠŠÍCH STUDIÍ
ČVUT V PRAZE**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracovala samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citovala a uvádím je v příloženém seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této závěrečné práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne: 22. 4. 2024

Podpis:

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu práce doc. Ing. Theodoru Beranovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc a cenné rady, které mi pomohly při zpracování diplomové práce. Děkuji své rodině a blízkým přátelům za podporu po celou dobu vysokoškolského studia.

Abstrakt

Diplomová práce se věnuje návrhu kombinace fotovoltaické elektrárny a tepelného čerpadla pro konkrétní objekt. Cílem diplomové práce je vytvořit podrobný vhled do používané technologie fotovoltaické elektrárny, akumulátorů, tepelného čerpadla a posoudit, zda pro vybraný objekt je s uvedenými technologiemi možné snížit náklady na elektrickou energii. Teoretická část práce popisuje principy provozu FVE a TČ a jejich možného přínosu úspor elektrické energie. Je představena technologie fotovoltaická, technologie akumulátorů a rovněž tepelných čerpadel. Praktická část práce je věnována návrhu řešení pro reálný objekt, který zahrnuje výstavbu a provoz FVE elektrárny s tepelným čerpadlem. K tomu se vztahuje současná legislativa České republiky ve věci obnovitelných zdrojů, podpory a podmínek pro výstavbu a bezpečný provoz těchto zařízení. Praktický návrh řešení je vyčíslen a je zhodnocena návratnost investice. Řešení může sloužit jako podklad pro investory uvažující o instalaci kombinace tepelného čerpadla s fotovoltaickou elektrárnou.

Klíčová slova

Fotovoltaická elektrárna, tepelné čerpadlo, akumulátory, obnovitelné zdroje energie, legislativa ČR, Alpha Innotec LW 180A, AEG 500 Wp, SOLINTEG MHT-50K-100, 3,74 kW Risen TITAN HV GS-HV

Abstract

The diploma thesis is focused on the design of a combination of a photovoltaic power plant and a heat pump for a specific building. The aim of the thesis is to create a detailed insight into the used technology of photovoltaic power plant, batteries, heat pump and to assess whether it is possible to reduce electricity costs for a specific building with these technologies. The theoretical part of the thesis describes the principles of operation of PV and HP and their potential contribution to saving electricity. Photovoltaic technology, battery technology as well as heat pump technology are presented. The practical part of the thesis is focused on the proposal of a solution for a real object, which includes the construction and operation of a PV plant with a heat pump. The current legislation of the Czech Republic in the matter of renewable energy sources, support and conditions for the construction and safe operation of these facilities are covered. The practical proposal of the solution is evaluated and the return on investment is estimated. The proposed solution can serve as a basis for investors considering the installation of a combination of a heat pump and a photovoltaic power plant.

Keywords

Photovoltaic power plant, heat pump, accumulators, renewable energy sources, Czech Republic legislation, Alpha Innotec LW 180A, AEG 500 Wp, SOLINTEG MHT-50K-100, 3,74 kW Risen TITAN HV GS-HV

Seznam zkratek

§	Paragraf
°C	Stupeň Celsia
A	Ampér
AA	Označení baterie podle ANSI
AC	Střídavý (proud)
AEDLC	Asymetrický elektrochemický dvouvrstvý kondenzátor
AEG	Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft AG, německý výrobce elektrických zařízení
AGM	Absorbed Glass Mat, baterie s absorpčními skleněnými rohožemi
AgZn	Stříbro-zinek
aj.	A jiné
ALC	Advanced Lead-Carbon, pokročilé olovené a uhlíkové baterie
ANSI	American National Standards Institute
CAN	Controller Area Network, druh komunikační sběrnice
CdTe	Kadmium-tellur
CFPA-E	Konfederace evropských sdružení požární ochrany
COP	Topný faktor
ČR	Česká republika
ČSN	Československá státní norma, Československá norma, Česká soustava norem
ČSRES	České sdružení regulovaných elektroenergetických společností
D57d	Distribuční dvoutarifní sazba
dB	Decibel
DC	Stejnoseměrný (proud)
DPH	Daň z přidané hodnoty
ed.	Edice
EDLC	Elektrochemický dvouvrstvý kondenzátor
EFB	Enhanced Flooded Battery, vylepšené zaplavené baterie
ErP	Směrnice EU o energeticky významných výrobcích (ErP 2009/125/ES) je směrnice o ekodesignu a vztahuje se na většinu výrobků, které spotřebovávají energii po celou dobu jejich životnosti
ES	Evropská směrnice
EU	Evropská unie
eV	Elektronvolt
FAA	Federal Aviation Administration, federální úřad pro letectví
FV	Fotovoltaické
FVE	Fotovoltaická elektrárna
GWh	Gigawatthodina
HDP	Hrubý domácí produkt
HE3DA	Označení baterie
CHF	Švýcarský frank
IEC	International Electrotechnical Commission, Mezinárodní elektrotechnická komise
IZS	Integrovaný záchranný systém
Kč	Koruna česká
Kg	Kilogram
km ²	Kilometr čtvereční

kWh	Kilowatthodina
kWp	Kilowatt-peak, jednotka výkonu fotovoltaického panelu či FVE za plného slunce, jednotka špičkového výkonu
LEX	Synonymum slova zákon
Li-FePO ₄	Lithium-železo-fosfátový
Li-FeSO ₄	Lithium-železo-síranový
Li-Ion	Lithium-iontový
Li-Pol	Lithium-polymerový
Li-S	Lithium-sírný
m	Metr
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MWh	Megawatthodina
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NaS	Sodíko-sírné
NiCd	Nikl-kadmiové
NiFe	Nikl-železnaté
NiMH	Nikl-metalhybrid
NiZn	Nikl-zinek
nm	nanometr
NMC	Nikl-mangan-kobalt
NT	Nízký tarif
NZÚ	Nová zelená úsporám
OEEZ	Směrnice o odpadních elektrických a elektronických zařízeních
OSN	Organizace spojených národů
OZE	Obnovitelné zdroje energie
Pb	Olovo
Pb/Ca	Olovo/Vápník
Pb/Sb	Olovo/Antimon
Pi	Příkon kompresoru
PO	Požární ochrana
Qc	Chladicí výkon
Qt	Topný výkon
R6	IEC označení pro baterii AA
RoHS	Restriction of Hazardous Substances Directive, zkratka ze Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/65/EU, o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních
RS485	Standard sériové komunikace
Sb.	Sbírky
TČ	Tepelné čerpadlo
TUV	Teplá užitková voda
TW	Terawatt
UPS	Uninterruptible power supply, zdroj nepřerušovaného napájení
V	Volt
VT	Vysoký tarif
WEEE	The Waste Electrical and Electronic Equipment Directive, v ČR vedeno jako OEEZ
Wh/kg	Watthodina/kilogram, měrná energetická kapacita

Obsah

Seznam zkratk.....	7
Úvod.....	11
1 Fotovoltaické elektrárny.....	13
1.1 Princip fungování fotovoltaické elektrárny.....	13
1.1.1 Fotovoltaický článek.....	14
1.1.2 Materiál pro výrobu fotovoltaických článků	15
1.2 Dělení fotovoltaické elektrárny	15
1.3 Součásti fotovoltaické elektrárny.....	16
1.4 Energetický potenciál FVE v ČR.....	17
2 Bateriová úložiště	20
2.1 Princip baterie	21
2.2 Typy bateriových článků.....	21
2.2.1 Olověné baterie.....	22
2.2.2 Nikl-zinkové baterie	24
2.2.3 Nikl-metalhydridové baterie	24
2.2.4 Lithium-iontové baterie	24
2.2.5 Lithium-železo-fosfátové baterie	25
2.2.6 Nové technologie	26
2.3 Bezpečné nakládání.....	28
3 Tepelná čerpadla	31
3.1 Princip fungování tepelného čerpadla	31
3.1.1 Součásti tepelných čerpadel a jejich funkce	33
3.1.2 Topný faktor.....	34
3.2 Dělení tepelných čerpadel dle technologie.....	35
4 Ekonomická kalkulace investice.....	37
4.1 Pojetí investice.....	37
4.2 Plánování investic.....	38
4.3 Financování investic.....	38
4.4 Hodnocení efektivnosti investic	39
5 Legislativní rámec pro obnovitelné zdroje energie v České republice.....	41
5.1 Podpora obnovitelných zdrojů energie a regulace	42
5.2 Bezpečná instalace FVE dle legislativy ČR.....	45
5.2.1 Směrnice o elektrickém a elektronickém odpadu.....	45
5.2.2 Zákon o odpadech a výrobcích s ukončenou životností	45
5.2.3 Zákon o podporovaných zdrojích.....	46
5.2.4 Bezpečnost a protipožární ochrana střešních instalací FVE.....	46

5.2.5 Povolování a instalace fotovoltaických panelů na střeše budovy.....	47
5.2.6 ČSN 73 0834 Požární bezpečnost staveb – Změny staveb	47
5.2.7 ČSN 73 0848 Požární bezpečnost staveb – Kabelové rozvody	48
5.2.8 ČSN 73 0802 ed. 2 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty a ČSN 73 0804 ed. 2 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty.....	48
5.2.9 Základní pravidla při posuzování FVE	48
5.2.10 Ochrana před bleskem	49
5.2.11 ČSN EN 62 305 – ed. 2 Ochrana před bleskem – Část 2, 3 a 4.....	49
5.2.12 Montáž FVE na stávající objekty s hromosvodem	50
5.2.13 Vyhláška č. 114/2023 Sb., o požadavcích na bezpečnou instalaci výroby elektřiny využívající obnovitelné zdroje energie s instalovaným výkonem do 50 kW	50
5.2.14 Konfederace evropských sdružení požární ochrany	51
6 Konkrétní objekt.....	53
6.1 Popis řešeného objektu.....	53
6.2 Náklady na provoz rodinného domu s autoservisem	54
6.3 Výběr tepelného čerpadla.....	55
6.4 Výběr FVE.....	60
6.4.1 Stavební připravenost fotovoltaické elektrárny	61
6.4.2 Vstupní a výstupní parametry FVE	62
6.4.3 Položkový rozpočet a cena řešení	65
6.5 Sloučení technologií	67
7 Možnosti financování investice	70
8 Návratnost investice do FVE a TČ	72
Závěr	75
Seznam použitých zdrojů	78
Seznam obrázků.....	89
Seznam grafů.....	90
Seznam tabulek.....	91

Úvod

V dnešní době se zaměření na udržitelnost a využívání obnovitelných zdrojů energie stává stále důležitějším tématem. Hledání inovativních řešení pro snížení závislosti na fosilních palivech, omezení negativních dopadů na životní prostředí, ale i též nákladů na elektřinu, je nezbytné. S růstem zájmu o obnovitelné zdroje se rozvíjejí technologie, které dokáží efektivně využít obnovitelné zdroje energie k výrobě elektrické energie. Mezi tyto klíčové technologie se řadí tepelná čerpadla a fotovoltaické elektrárny.

Technologie tepelného čerpadla je známá a v posledních letech již téměř běžná varianta vytápění objektů včetně ohřevu teplé užitkové vody. Pro provoz, byť v menší míře než například elektrokotel, stále potřebuje elektrickou energii. To se stoupající cenou elektrické energie činí i z efektivnější varianty vytápění poměrně drahé řešení, především, připočteme-li pořizovací náklady. Cestou proti zvyšování nákladů za elektrickou energii by mohla být instalace fotovoltaické elektrárny společně s tepelným čerpadlem.

Cílem diplomové práce je návrh fotovoltaické elektrárny v kombinaci s tepelným čerpadlem pro reálný objekt. Diplomová práce pracuje s hypotézou, že při instalaci fotovoltaické elektrárny a tepelného čerpadla do konkrétního objektu dojde ke snížení nákladů za elektřinu.

Teoretická část práce bude věnována popisu fungování FVE včetně jejích součástí. Bude vysvětlen fyzikální princip fotovoltaického článku a dělení FVE dle druhu zapojení. Následovat bude úvod do technologie akumulátorů, které se ve vysoké míře využívají ke skladování elektrické energie. V této části bude věnována pozornost dělení chemických zdrojů, jednotlivým technologiím a bezpečnosti. Kapitola bude věnována tepelnému čerpadlu, principům fungování a jejich rozřídění podle technologie. Teoretickou část uzavře pojem investice, pojetí investice, její plánování, financování a hodnocení efektivnosti investice.

Praktická část práce bude začínat shrnutím nejpodstatnějších legislativních podmínek pro obnovitelné zdroje energie. Následovat budou zákony, směrnice, normy ČSN a vyhlášky upravující instalaci tepelného čerpadla a fotovoltaických elektráren. Po seznámení se s platnou legislativou České republiky vztahující se k navrhovanému řešení přejdeme již ke konkrétnímu objektu. Objekt, který by měl být vybaven tepelným čerpadlem a fotovoltaickou elektrárnou bude představen a budou uvedeny roční náklady, které jsou s jeho provozem spojeny. Následně bude vybráno vhodné tepelné čerpadlo a fotovoltaická elektrárna. Tepelné čerpadlo včetně FVE bude vhodně dimenzováno, aby pokrylo požadavky investora. Praktická část práce bude obsahovat tabulky a grafické vizualizace shrnující náklady na pořízení a provoz navržených řešení. Závěrem bude zhodnocena návratnost investice do navržené kombinace technologie TČ a FVE.

TEORETICKÁ ČÁST

1 Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické články byly představeny v padesátých letech minulého století. Poprvé byly použity v letech šedesátých k výrobě elektrické energie pro satelity na oběžné dráze Země. Během následujícího desetiletí vývoje se zlepšoval výkon a kvalita fotovoltaických článků. Převládajícím plánovaným využitím bylo napájení vzdálených pozemních aplikací, včetně nabíjení baterií, navigačních přístrojů a telekomunikačních zařízení kritické/vědecké infrastruktury s nízkou spotřebou energie. V 80. letech 20. století se fotovoltaika stala zdrojem energie pro spotřební elektroniku, včetně kalkulaček, hodinek, rádií a svítlen. V té době se začíná rozvíjet úsilí o využití fotovoltaiky i v oblasti energetiky. Objevují se myšlenky na nasazení této technologie pro domácí i komerční použití samostatného napájení a kombinace s napájením z veřejných sítí. Ve stejném období se objevily první mezinárodní projekty napájení velmi odlehlých zdravotnických klinik, jejich chlazení a zásobování vodou. Do roku 1990 byly Spojené státy nejvýznamnějším hráčem na trhu, ve výzkumu, ve vývoji i v realizaci. Nicméně na konci 20. století byly Spojené státy nahrazeny Evropou a Japonskem. V uplynulém desetiletí dosáhla fotovoltaika historického milníku integrací solární energie do 1 milionu domácností. Během tohoto období Japonsko a Evropa, zejména Německo, zavedly státní dotace, zvýšily povědomí veřejnosti a investovaly do výzkumu a vývoje. V devadesátých letech zaznamenalo Japonsko desetinásobný nárůst trhu, protože Německo zpočátku oslabilo, ale v důsledku úpravy dotací se výroba zvýšila čtyřicetinásobně a překonala úspěch Japonska. Jejich příkladu následovaly další evropské země včetně České republiky. Solární energie je nyní levnější, vysoce účinnou a čistou alternativou k fosilním palivům. Rovněž je stále dostupnějším zdrojem energie pro uspokojení rostoucí poptávky [1, 2, 4].

Pojmy fotovoltaická, sluneční nebo solární elektrárna se v praxi běžně používají jako synonyma, přestože jejich význam je odlišný. Solární či sluneční elektrárnou se rozumí jakékoli zařízení, které generuje elektrickou energii ze slunečního záření. Fotovoltaická elektrárna již označuje konkrétní technické provedení. Sluneční energii lze pomocí fotovoltaických panelů přímo přeměňovat na elektrickou energii. Lze se setkat i s technickými řešeními, kdy solární elektrárna sluneční energii absorbuje jako teplo a generuje tak elektrickou energii nepřímo. Vzniklé teplo se používá k výrobě páry. Pára slouží jako zdroj k pohonu parní turbíny a výsledkem je opět generování elektrické energie. Mezi solárními elektrárnami jsou však nejvíce zastoupeny fotovoltaické elektrárny [5].

1.1 Princip fungování fotovoltaické elektrárny

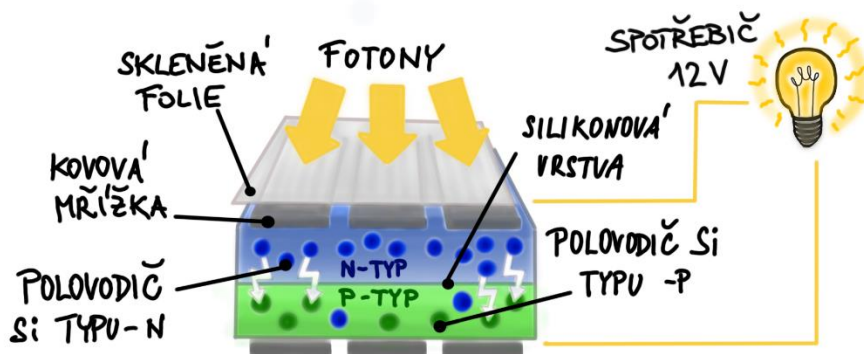
Fotovoltaický panel využívá fotovoltaického efektu k přeměně sluneční energie na elektřinu. Skládá se z několika vrstev polovodičů a umožňuje přechod elektronů pod vlivem slunečního záření. Fotovoltaická přeměna probíhá v polovodičovém materiálu, který se nazývá fotovoltaický článek, anglicky photovoltaic cell. Fotovoltaický článek je základním prvkem a skládá se z polovodičových diod. Dioda obsahuje dvě vrstvy příměsových polovodičů. Polovodič typu P, který je anodou, a polovodič typu N, který je katodou. Pohyb elektronů tvoří elektrické napětí. Tyto polovodičové vrstvy jsou tvořeny křemíkovými destičkami, přičemž nejrozšířenější jsou monokrystalické panely. Aby vznikl panel je nutno pospojovat jednotlivé články sériově a paralelně, k dosažení potřebného napětí a výkonu, tj. proudu [6].

1.1.1 Fotovoltaický článek

Fotovoltaický článek se skládá z několika podstatných částí. Vrstva typu N obsahuje přebytek elektronů, zatímco vrstva typu P má nedostatek nebo přebytek kladně nabitých děr, jak je vidět na obrázku č. 1. Rozhraní mezi těmito polovodiči se nazývá přechod P-N, který v ideálním případě umožňuje průchod proudu pouze jedním směrem. Díky potenciálové bariéře brání volnému průchodu elektronů v závěrném směru, tedy z vrstvy typu N s přebytkem do vrstvy typu P s nedostatkem elektronů. V důsledku toho není možné, aby se elektrony spojovaly s dírami, tj. aby docházelo k rekombinaci. Umožňuje však průchod elektronů v opačném, tzn. propustném směru, je-li aktivován dopadem fotonů [3, 5, 7].

Když fotony slunečních paprsků dopadají na fotovoltaický článek, obrázek č. 1, dochází k vnitřnímu fotoelektrickému jevu. Během tohoto procesu se z krystalické mřížky obou vrstev uvolňují elektrony, které se díky výše zmíněné vlastnosti hromadí ve vrstvě typu N a vytvářejí elektrické napětí 0,5 – 0,6 V mezi vrstvami. Požadovaného napětí se dosáhne sériovým zapojením jednotlivých článků, přičemž paralelní kombinace umožňuje dosáhnout vyššího proudu. V praxi se k dosažení požadovaných hodnot používá sérioparalelní zapojení [3].

Aby se elektron uvolnil z krystalové mřížky, musí mít dopadající foton minimální energii potřebnou k překonání zakázaného pásu. Pro křemík je tato mezní hodnota 1,12 eV. Energie fotonů závisí na vlnové délce záření a energie 1,12 eV odpovídá infračervenému záření o vlnové délce přibližně 1105 nm. Záření s kratší vlnovou délkou má dostatečnou energii, proto dopadající fotony vytvoří elektron a díru, přičemž zbývající energie se přemění na nežádoucí teplo. Naproti tomu fotony záření o delší vlnové délce procházejí křemíkem a nejsou absorbovány. Teoreticky je možné využít maximálně 50 % energie dopadajícího světla, v praxi se však dosahuje hodnot blízkých se 25 %. Jeden fotovoltaický článek produkuje průměrně 1 nebo 2 wattů energie. Aby články vydržely mnoho let ve venkovním prostředí, jsou vloženy mezi ochranné materiály v kombinaci skla a/nebo plastů [9, 14].



Obrázek č. 1 – Fotovoltaický článek [10]

1.1.2 Materiál pro výrobu fotovoltaických článků

Křemík je aktuálně nejčastěji využívaným materiálem při výrobě fotovoltaických článků. Tento prvek má široké uplatnění v elektrotechnice. Přestože se v přírodě vyskytuje v čistotě 97-99 %, tato čistota není pro fotočlánky dostatečná, a proto se vyrábí křemík čistší. Fotovoltaické články využívají jak polykrystalický, tak monokrystalický křemík.

Polykrystalický křemík se získává pomocí chemických metod, z nichž nejznámější je metoda Siemensova. Tento druh křemíku má nižší náklady na výrobu v porovnání s monokrystalickým křemíkem, články dosahují vyšší účinnosti při nižší intenzitě záření. Účinnost polykrystalických článků se pohybuje v rozmezí 15-17 %. Monokrystalický křemík je vytvořen prostřednictvím řízené krystalizace z taveniny tzv. Czochralského metodou. Monokrystalický křemík nabízí vyšší účinnost při vyšší intenzitě záření, přičemž nejvyšší dosažená účinnost tohoto typu článku přesahuje 20 %. Což v porovnání s polykrystalickými články přináší efektivitu až o 5% vyšší.

Druhým nejpoužívanějším materiálem je arsenid galia. Přestože články z arsenidu galia dosahují vyšší účinnosti než křemíkové články, cena, hustota a křehkost těchto článků jsou vyšší. Účinnost tohoto materiálu dosahuje hodnot 30 %. Díky vyšší účinnosti a odolnosti vůči kosmickému záření se arsenid galia užívá ve vesmírných družicích. Při konstrukci fotovoltaických článků je klíčové hledisko spočívající ve snížení materiálové náročnosti a minimalizaci optických a elektrických ztrát. Odrazy záření způsobují optické ztráty, které u křemíku mohou dosahovat hodnot vyšších než 30 %. K redukci tohoto jevu se využívají speciální antireflexní vrstvy, které dokážou snížit odrazivost až pod 10 %. Druhou možností je využití selektivního leptadla, které vytvoří texturovaný povrch článku [7].

1.2 Dělení fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaická elektrárna je obvykle připojena k veřejné elektrické síti, tabulka č. 1, vytvářejíc tak tzv. síťovou (on-grid) fotovoltaickou elektrárnu. Tímto připojením lze prodávat přebytečnou energii, využívat virtuální úložiště a případně dokupovat energii zpět v situacích, kdy fotovoltaika nepokrývá spotřebu. Pro připojení je nutno splnit legislativní a technické požadavky, které většinou zajišťuje dodavatelská firma u fotovoltaiky na klíč. Další možností je ostrovní (off-grid) solární elektrárna s baterií, která je plně nezávislá na veřejné síti a není tak omezena přísnými legislativními požadavky. Hybridní elektrárna představuje střední cestu, umožňující fotovoltaice napájet spotřebiče jak z vlastních panelů, tak i z běžné sítě, přičemž oba režimy jsou fyzicky odděleny. Síťová fotovoltaická elektrárna spolupracuje s veřejnou distribuční sítí, zatímco hybridní fotovoltaická elektrárna se střídá mezi distribuční sítí a fotovoltaikou. Ostrovní fotovoltaická elektrárna funguje nezávisle na distribuční síti.

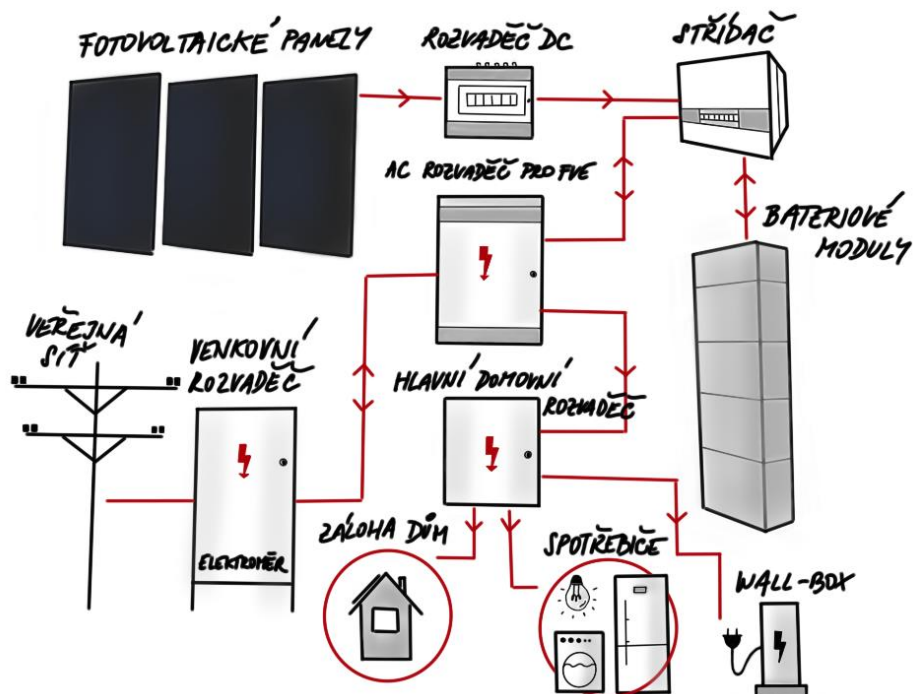
Tabulka č. 1 – Způsoby zapojení FVE

Varianta zapojení	Anglické označení	Druh připojení
Síťová FVE	On-grid	Pouze veřejná síť, možnost virtuální baterie (prodej a dokup el. energie)
Hybridní FVE		Veřejná síť, fyzická baterie, možnost virtuální baterie pro přebytky
Ostrovní FVE	Off-grid	Fyzická baterie, nezávislá a nepřipojená na veřejné síti

1.3 Součásti fotovoltaické elektrárny

Zvýšení výkonu fotovoltaických článků se dosahuje jejich spojením do řetězců. Tím vzniknou větší celky známé jako moduly nebo panely. Moduly lze používat jednotlivě nebo jich lze několik spojit do polí. Jedno nebo více polí je pak připojeno k elektrické síti jako součást kompletního fotovoltaického systému. Díky této modulární struktuře lze fotovoltaické systémy postavit tak, aby splňovaly téměř jakoukoli potřebu elektrické energie [8].

Fotovoltaické moduly a pole jsou pouze jednou částí fotovoltaického systému. Součástí systémů jsou také montážní konstrukce, které nasměrují panely ke slunci a další komponenty. Solární elektrárna se skládá z několika klíčových prvků, které společně umožňují výrobu a využití solární energie pro potřeby domácnosti či podniku. Na obrázku č. 2 se nacházejí podstatné součásti FVE včetně schématického zobrazení zapojení do veřejné sítě s bateriovým modulem [5].



Obrázek č. 2 – Schématické zapojení FVE

Mezi nejpodstatnější komponenty lze zařadit:

- Fotovoltaické panely: Základní článek solární elektrárny. Panely obsahují fotovoltaické články, které přeměňují sluneční záření na elektrickou energii. Umísťují se na střechu domu nebo na jiné vhodné místo k zachycení slunečního světla.
- Měníč: Elektrická energie vyrobená fotovoltaickými panely je obvykle ve formě stejnosměrného proudu (DC). Měníč převádí tento stejnosměrný proud na střídavý proud (AC), který je vhodný pro běžnou domácí elektrickou síť [5].

- **Baterie:** Úložiště elektřiny pro období, kdy slunce nesvítí, např. v noci nebo ve dnech s vyšší oblačností/sněhem. Umožňují domácnosti využívat solární energii i mimo dobu přímého slunečního záření.
- **Wallbox:** Nabíjecí stanice určená pro elektromobily. Umožňuje majitelům elektromobilů nabíjení vozidel. Wallbox bývá integrován do celkového systému solární elektrárny.
- **Virtuální baterie:** Technologie umožňující uložit přebytečnou energii vyrobenou FVE do veřejné sítě distributora. Je rezervováno takové množství elektřiny v síti, jaké bylo do sítě dodáno např. v době letních měsíců, když FVE vyráběla vyšší množství el. energie, než mohlo být spotřebováno. Tato zásoba je rezervována pro budoucí odběr z veřejné sítě, např. v zimních měsících, kdy již FVE nevyrobí požadované množství el. energie pro provoz objektu. Bývá dostupná za distribuční a zprostředkovatelský poplatek distributorovi el. energie.
- **Akumulace do teplé vody:** Přebytečná energie z fotovoltaiky se využívá k ohřevu vody. Tento systém může nahradit běžný elektrický bojler či předehřívat vodu pro tepelné čerpadlo a poskytovat teplou vodu pro domácnost.

Výkon solární elektrárny je měřen pomocí zkratky kWp (kilowatt-peak), což představuje maximální výkon za optimálních podmínek, kdy slunce svítí intenzivně. Ideální výkon solární elektrárny může být zvolen v závislosti na potřebách domácnosti a dostupných prostředcích [5].

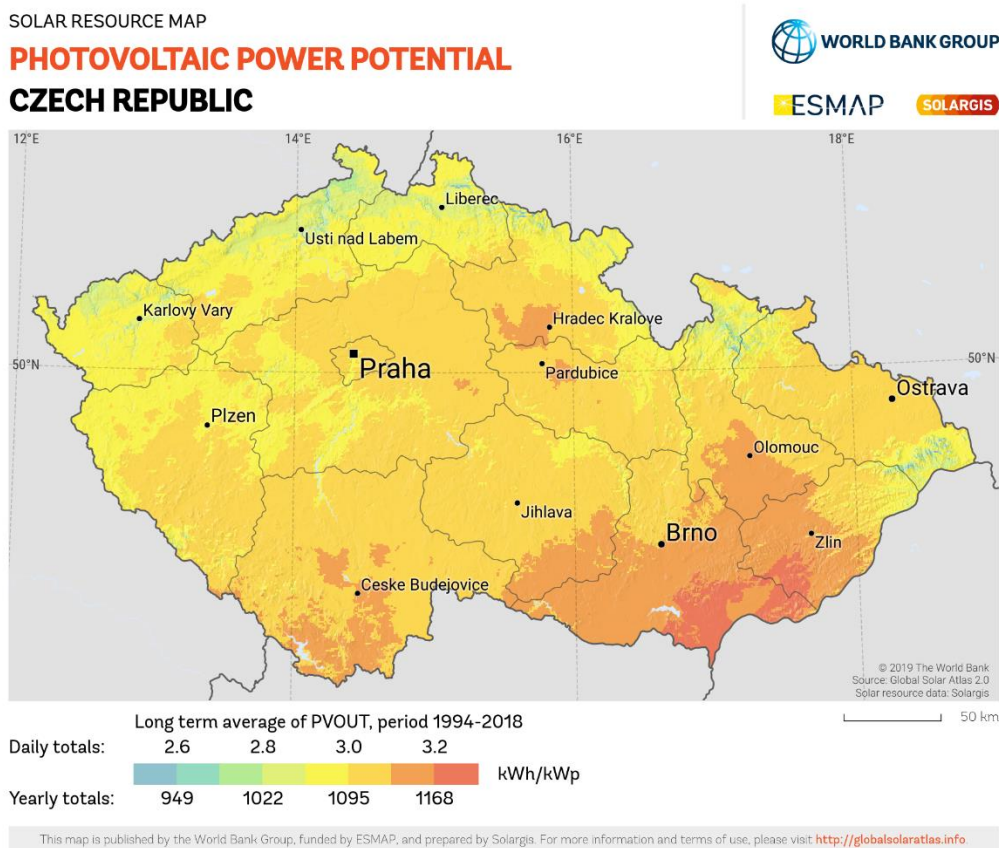
Nejčastěji instalovaný výkon se pohybuje mezi 5 až 8 kWp. Legislativa donedávna omezovala maximální výkon soukromých fotovoltaických elektráren na 10 kWp. Během roku 2022 ovšem došlo k úpravě legislativy, která limit zvýšila na 50 kWp.

1.4 Energetický potenciál FVE v ČR

V průměru na Zemi nepřetržitě dopadá $1,73 \times 10^5$ terawattů (TW) slunečního záření, zatímco celosvětová poptávka po elektřině činí v průměru 2,9 TW [16]. V České republice bylo dle čtvrtletní zprávy o provozu elektrizační soustavy ČR za IV. Čtvrtletí 2023 vyrobeno 70 956,1 GWh elektrické energie netto. Na výrobě se podílely téměř rovným dílem cca 30 000 GWh jaderné a parní elektrárny, zbývajících cca 11 000 GWh bylo pokryto plynovými a spalovacími elektrárnami, vodními, paroplynovými, přečerpávacími, větrnými a fotovoltaickými. Fotovoltaické elektrárny se v roce 2023 na výrobě elektrické energie podílely 2 171,3 GWh netto. Spotřeba elektrické energie v ČR za rok 2023 činila celkem 56 881,9 GWh [11].

Solární energii lze využívat dvěma základními způsoby. Za prvé, solární tepelné technologie využívají sluneční světlo k ohřevu vody pro domácí účely, k vytápění prostor v budovách nebo k ohřevu kapalin pro pohon turbín vyrábějících elektřinu. Za druhé, fotovoltaika jsou polovodiče, které vyrábějí elektřinu přímo ze slunečního světla. Účinnost FVE panelů ovlivňuje nejvíce geografická poloha. Z účinnosti FVE panelů se usuzuje velikost plochy, kterou bude nutno osadit panely, aby bylo dosaženo požadovaného výkonu. S vyšší účinností klesá množství panelů, které je nutné instalovat. Poptávka po elektřině se v průběhu dne mění. Fotovoltaika vyrábějící v době zvýšené poptávky může pomoci ke snížení zatížení distribučních sítí, zejména v době odběrových špiček.

Pro pochopení chování FVE v prostředí ČR je vhodné se seznámit s jejími podstatnými charakteristikami. Podnebí České republiky se vyznačuje míšením oceánských a kontinentálních vlivů, což je dáno jejím geografickým umístěním uprostřed mírného pásu severní polokoule střední Evropy. Západní proudění s převahou západních větrů je významným faktorem, dále je charakteristická cyklonální činnost a relativně hojné srážky. Přímořský vliv se projevuje zejména v Čechách, zatímco na Moravě a ve Slezsku přibývá kontinentálních podnebních vlivů. Nadmořská výška a reliéf mají rovněž významný dopad na podnebí. Z celkové plochy státního území leží 52 817 km² (66,97 %) v nadmořské výšce do 500 m, 25 222 km² (31,98 %) ve výšce 500 až 1 000 m a pouze 827 km² (1,05 %) ve výšce nad 1 000 m. Střední nadmořská výška České republiky je 430 m. Z hlediska geograficko-fyzického se ČR rozkládá na rozhraní dvou horských soustav. Západ a střední část ČR má převážné zastoupení pahorkatin a středohor. Do východní části zasahují Západní Karpaty [12].



Obrázek č. 3 – Dlouhodobý průměr energetického potenciálu FVE v letech 1994 až 2018 [13]

Z pohledu geograficky nejvyšší účinnosti budou dosahovat instalace FVE v jižních částech ČR, tedy jižní Moravě a následně v jižních Čechách, jak je zobrazeno na obrázku č. 3. Účinnost přeměny fotovoltaické energie je procento dopadající sluneční energie, které se přemění na elektřinu. V ideálních podmínkách v těchto částech lze získat 1700 hodin svitu slunce za rok. Část Západních Karpat, tzn. Beskydy, však získají jen 1400 hodin slunečního svitu. V průměru dopadne na každý m² 1000 kWh sluneční energie. Průměrná účinnost panelů se nachází kolem 20 %. Každý metr čtvereční FV panelu by tedy měl ročně vyrobit 200 kWh elektrické energie. Rozložení energetického potenciálu fotovoltaických elektráren lze vidět na obrázku č. 3. V případě, že je nutno vyrobit 4 MWh ročně a jeden panel má plochu přes dva metry čtvereční, mělo by tuto poptávku v ČR splnit deset FV panelů. Účinnost FV panelů na druhém místě ovlivní technické provedení panelů. Lze se setkat s polykrystalickými panely i s modernější

variantou monokrystalických (half-cell), které jsou výrazně efektivnější v případě nepřímého svitu slunce, tj. v situaci, kdy je například pod mrakem či již sluneční svit dopadá pod nepřímými úhly. Vliv má znečištěné ovzduší, oblačnost a v zimních měsících sníh a námraza na FV panelech. Tyto vnější vlivy mohou způsobit snížení účinnosti až o 20 %. Při instalaci má vysoký význam orientace střechy, kdy čistě severně natočená strana střechy neposkytne cílenou návratnost investice. Významný vliv při instalaci má rovněž úhel sklonu FV panelů, kdy doporučený sklon pro ČR je kolem 35°. V účinnosti FV panelů hraje roli rovněž tzv. energetický paradox, který popisuje stav, kdy vyšší množství slunečního záření není rovno vyššímu energetickému výnosu. To je zapříčiněno především nedokonalostí technologie FV panelů, které se ve velmi teplých letních dnech nestačí na přímém slunci chladit, dochází k přehřívání a následné nižší účinnosti přeměny energie [15].

2 Bateriová úložiště

První zmínky o baterii naznačují archeologické nálezy z dnešního Iráku, kde byla nalezena tzv. Bagdádská baterie skládající se z keramické nádoby, měděné trubice a železné tyče. Stáří se odhaduje na 2000 let. O téměř dvě tisíciletí později se objevují první předchůdci baterií, tak, jak jsou známy dnes. Benjaminu Franklinovi se běžně připisují průkopnické výzkumy v oblasti elektřiny, přičemž termín baterie údajně pochází z jeho práce z roku 1749, kdy paralelně propojil několik kondenzátorů. Franklinova pozorování z roku 1749 byla základem toho, co je dnes všeobecně považováno za ranou verzi baterie. Uspořádáním kondenzátorů ze skleněných Leidenských nádob zjistil, že při jejich spojení dochází k silnějšímu výboji, což svědčí o společném elektrickém zásobníku. Nádoby udržovaly náboj pomocí elektrostatiky. První elektrochemická baterie se objevila v roce 1799 jako průlomový vynález Alessandra Volty. Voltův přístroj sestával z dvojice měděných a zinkových kotoučů proložených látkou nebo lepenkou namočenou v solném roztoku, který měl funkci elektrolytu. Voltova baterie produkovala při provozu nepřetržitě napětí a proud. V době, kdy se nepoužívala, ztrácela jen velmi málo náboje. Voltova baterie se nedala dobít. Fungovala, dokud se měděné a zinkové elektrody nespotřebovaly elektrochemickou reakcí. Řada dalších badatelů Voltovu baterii vylepšila a nahradila elektrody a elektrolyt jinými materiály. Následný vývoj technologie baterií zaznamenal v roce 1859 přelomový vynález olověného akumulátoru Gastona Plantého. Plantéova inovace, realizovaná ponořením olověných anod a katod do elektrolytu kyseliny sírové, vedla k reverzibilním elektrochemickým reakcím, tzn. že byla vynalezena první dobíjecí baterie. Tento zásadní objev předznamenal nástup komerčně využitelných bateriových systémů, které umožnily zejména osvětlení železničních vagonů pomocí lamp. Plantéova olověná baterie byla navíc katalyzátorem vzniku elektrifikované dopravy, kterou Thomas Parker v roce 1884 vytvořil první elektrifikovaný dopravní systém na světě a v roce 1888 se objevil první elektromobil. V následujících stoletích došlo k dalšímu pokroku v technologii baterií, příkladem je zavedení nikl-kadmiové baterie v roce 1899, po níž následovala komercializace nikl-metalhydridové varianty v 90. letech 20. století. Největší pokrok však pravděpodobně nastal v roce 1992, kdy se dostaly na trh dostupné lithium-iontové polymerové baterie. Lithium-iontové baterie, které jsou proslulé svou výjimečnou energetickou hustotou a schopností rychlého vybíjení podobnou superkondenzátorům, dosáhly všudypřítomné integrace v různých elektronických zařízeních, včetně notebooků, chytrých telefonů a elektrických vozidel [17, 18].

Tabulka č. 2 – Dělení chemických zdrojů elektrického napětí

Název	Druh článku	Funkce
Akumulátor	sekundární	Během nabíjení a vybíjení dochází k vratným chemickým změnám
Chemický článek	primární	Chemické reakce generují elektrické napětí; po ukončení reakce elektrické napětí klesá – nevratný stav
Rezervní článek		Změna vnějších podmínek aktivuje oddělenou složku baterie a dochází ke spuštění chemické reakce
Palivový článek		Aktivní materiál pro spuštění chemických reakcí je přiváděn do baterie z vnějšího prostředí. Při ukončení doplňování aktivního materiálu chemická reakce přestává probíhat

Akumulátory, známé také jako sekundární články, podléhají během nabíjení a vybíjení vratným chemickým změnám. Naproti tomu chemické články, klasifikované jako primární články, vytvářejí elektrické napětí prostřednictvím chemických reakcí, viz. tabulka č. 2. Jakmile jsou však tyto reakce ukončeny, elektrické napětí se snižuje, což představuje nevratný stav. Společné rysy různých typů akumulátorů spočívají v jejich založení na elektrochemickém principu. Tyto elektrochemické akumulátory usnadňují přeměnu elektrické energie na energii chemickou a nabízejí možnost ji v případě potřeby pružně přeměnit zpět na energii elektrickou.

2.1 Princip baterie

Procházející proud v elektrochemickém akumulátoru iniciuje vratné chemické změny, které vedou k rozdílným elektrochemickým potenciálům na elektrodách. Elektrickou energii lze pak z těchto změn získat odběrem z elektrod. Vzhledem k relativně nízkému elektrickému napětí na článcích elektrochemických akumulátorů (přibližně 1,2-3,7 V) se tyto články běžně sdružují do bateriových sad, aby se dosáhlo vyšších úrovní napětí. Lze je rozdělit do kategorií podle principu fungování: olovené (Pb), nikel-kadmiové (NiCd), nikel-metalhydridové (NiMH), nikel-železo (NiFe), nikel-zinkové (NiZn), stříbro-zinek (AgZn), lithium-iontové (Li-Ion), lithium-polymerové (Li-Pol), lithium-FeSO₄ (Li-FeSO₄), lithium-sírné (Li-S), sodík-sírné (NaS), gelové a další.

2.2 Typy bateriových článků

Sekundární baterie se dělí do dvou podkategorií podle účelu použití. Články, které se používají jako zařízení pro skladování energie a dodávají energii podle potřeby. Takové články jsou obvykle připojeny k primárním zdrojům energie, aby se na požádání plně nabily. Příkladem tohoto typu sekundárních článků jsou nouzové bezporuchové a pohotovostní zdroje energie, letecké systémy a stacionární systémy skladování energie pro vyrovnávání zátěže. Druhou variantou používání sekundárních článků je stejné jako používání článků primárních. Po použití se ale dobíjejí. Příklady těchto typů sekundárních článků zahrnují především přenosnou spotřební elektroniku a elektrická vozidla.

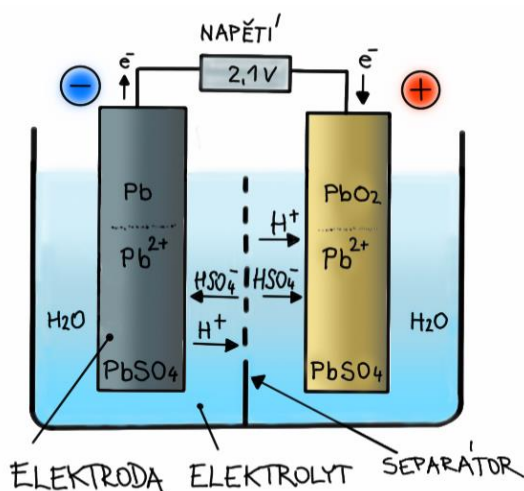
Třetí kategorie baterií se běžně označuje jako rezervní článek. Rezervní článek se od primárních a sekundárních článků liší tím, že klíčová složka článku je oddělena od ostatních složek a aktivuje se až těsně před použitím. Nejčastěji oddělenou složkou je elektrolyt. Tato struktura baterie je běžně používána u termálních baterií, kdy elektrolyt zůstává neaktivní v pevném stavu, dokud není dosaženo bodu tání elektrolytu, což umožní iontovou vodivost, a tím aktivaci baterie. Záložní baterie účinně eliminují možnost samovybití a minimalizují chemické poškození. Většina rezervních baterií se použije pouze jednou a poté se vyřadí. Záložní baterie se používají v detonačních zařízeních citlivých na čas, teplotu a tlak v raketách, torpédech a dalších zbraňových systémech. Záložní baterie lze dále dělit na aktivované vodou, elektrolytem, plynem a teplem.

Palivový článek představuje čtvrtou kategorii baterií. Palivové články jsou podobné bateriím s tím rozdílem, že všechny aktivní materiály nejsou nedílnou součástí zařízení (jako u baterie). V palivových článcích jsou aktivní materiály přiváděny do baterií z vnějšího zdroje. Palivový článek se od baterie liší tím, že má schopnost vyrábět elektrickou energii, dokud jsou k elektrodám přiváděny aktivní materiály, ale přestane fungovat, pokud tyto materiály chybí. Známa je aplikace palivových článků v kryogenních palivech používaných v kosmických lodích. Využití technologie palivových článků pro pozemní aplikace

se rozvíjelo pomalu, ačkoli nedávný pokrok vyvolal oživení zájmu o různé systémy s aplikacemi, jako je napájení veřejných služeb, vyrovnávání zátěže, lokální generátory a elektrická vozidla [19].

2.2.1 Olověné baterie

Olověné akumulátory, jejichž průkopníkem byl v roce 1859 francouzský fyzik Gaston Planté, hrají díky své spolehlivosti a cenové výhodnosti stále zásadní roli. Navzdory pokroku v technologii baterií zůstávají olověné baterie nedílnou součástí automobilových, průmyslových a záložních napájecích systémů. Olověné baterie nacházejí uplatnění ve třech hlavních kategoriích: startovací baterie (SLI) pro okamžitý vysoký výkon v automobilech, trakční baterie pro trvalý výkon v zařízeních, jako jsou golfové vozíky, a stacionární napájení pro aplikace, jako jsou systémy UPS. Každý typ má odlišné konstrukční



Obrázek č. 4 – Schéma olověné baterie [33]

požadavky, přičemž trakční baterie se vyznačují silnějšími elektrodami pro delší cykly. Kladná část elektrody je složena z oxidu olovičitého, zatímco záporná část obsahuje houbovitou formu olova. V nabitém stavu elektrolyt představuje přibližně 40% roztok kyseliny sírové. Po vybití se elektrody transformují na síran olovnatý, a elektrolyt se stává značně zředěným roztokem kyseliny sírové, jak je vidět na obr. č. 4. Olověný článek má nominální napětí 2 voltů. Jeho nominální měrná kapacita závisí na způsobu použití. Například u autobaterií je zaznamenána vysoká měrná energetická kapacita v rozmezí 50-65 Wh/kg, avšak pro cyklické nabíjení a vybití není ideální, a její životnost v tomto režimu je omezena na několik desítek cyklů. Baterie určené pro trakční a staniční aplikace dosahují měrné kapacity přibližně 40 Wh/kg. Staniční baterie jsou konstruovány tak, aby vydržely opakované nabíjení, a obvykle dosahují životnosti v rozmezí 5 až 10 let. Mřížková elektroda olověných akumulátorů se skládá ze slitiny olova obohacené o malé množství kovů, jako je antimon, vápník, cín a selen. Tyto přísady zvyšují mechanickou pevnost a elektrické vlastnosti a přispívají k celkovému výkonu baterie. Různá provedení, například antimonová (Pb/Sb) a vápenatá (Pb/Ca), jsou určena pro specifické aplikace. Přidávky antimonu a cínu zlepšují chování trakčních baterií, ale zvyšují spotřebu vody. Vápník snižuje samovybití, ale vede k expanzi kladných elektrod. Moderní olověné akumulátory využívají přísady jako selen, kadmium, cín nebo arsen ke snížení obsahu antimonu a vápníku.

Olověné baterie omezuje vysoká hmotnost, snižování životnosti při opakujícím se úplném vybití a problémy kvůli toxicitě olova. Olovo je sice toxické, ale míra recyklace olověných baterií je vysoká, což minimalizuje dopad na životní prostředí. Životnost je ovlivněna faktory, jako je koroze, ztenčování

vrstev aktivního materiálu a zvětšování desek. Uzavřené nebo bezúdržbové olověné akumulátory, které byly představeny v polovině 70. let řeší únik plynů a elektrolytu. Běžnými typy jsou gelové baterie a baterie s absorpčními skleněnými rohožemi (AGM – Absorbed Glass Mat), které nabízejí výhody, jako je snížený obsah elektrolytu, což zabraňuje vysychání během cyklů. Pozitiva a omezení olověných baterií shrnuje tabulka č. 3.

V průběhu let se objevily tzv. pokročilé olovnato-uhlíkové technologie. Problémem klasických olovnatých baterií je částečné nabíjení a stárnutí, přičemž záporná olověná elektroda je nedostatečně čištěna, tabulka č. 3. Řešením tohoto problému se staly moderní systémy na bázi olova a uhlíku, označované jako pokročilé olověné a uhlíkové baterie (Advanced Lead-Carbon, ALC). Začleněním uhlíku do záporné elektrody (katody) se tyto baterie mění na kvaziasymetrické superkondenzátory, což zlepšuje jejich chování během nabíjení a vybíjení. Jejich zásadní výhoda spočívá v rychlém nabíjení během regenerativního brzdění, což je pro typické olověné akumulátory náročný úkol. ALC baterie jsou sice větší a těžší než Li-Ion baterie, ale jejich cenová výhodnost, schopnost pracovat při teplotách pod bodem mrazu bez aktivního chlazení a odolnost vůči sulfataci z nich činí životaschopnou alternativu. Na rozdíl od běžných olověných baterií mohou baterie ALC fungovat ve stavu nabití od 30 % do 70 %, což zmírňuje obavy ze sulfatace. Klíčovým omezením olověných akumulátorů je samotné použití olova. Úpravy aktivního materiálu mohou zvýšit kapacitu. Přidání uhlíkových materiálů na zápornou elektrodu má za následek snížení sulfatace, zvýšení vodivosti a posílení schopnosti nabíjení [20, 21].

Tabulka č. 3 – Přínosy a omezení olověných akumulátorů

Přínosy	Příznivá cena, snadná výroba; nízké náklady za watthodinu
	Pomalé samovybíjení
	Dobré vlastnosti při nízkých i vysokých teplotách
	Velký měrný výkon, schopnost vysokých vybíjecích proudů
Omezení	Pomalé nabíjení; plné nabití trvá 14-16 hodin
	Nízká měrná hustota energie; špatný poměr hmotnosti k energii
	Uskladněn v nabitém stavu, riziko sulfatace
	Omezená životnost; opakované úplné vybití zkracuje životnost baterie
	Typ se zaplavenými elektrodami vyžaduje dopouštění kapaliny, má omezené transportní možnosti

Další vývoj v oblasti olověných uhlíkových baterií stále pokračuje. Mezi inovativní technologie se řadí např. baterie společnosti Firefly Energy. Ta využívá kompozitní elektrodový materiál založený na modifikované olověné baterii. Dále se na trhu objevila baterie Altraverda. Tu tvoří olovo a patentovaná keramická struktura se suboxidem titanu, známá jako Ebonex®. e3 Supercell společnosti Axion Power je hybridní baterie/superkondenzátor využívající oxid olovnatý jako kladnou elektrodu a aktivní uhlí jako zápornou. Dalším zástupcem je Ultrabattery, vyvinutá CSIRO v Austrálii a kombinující asymetrický ultrakondenzátor s olověným akumulátorem.

Speciálním odvětvím jsou vylepšené zaplavené baterie (ang. EFB). Systémy start-stop značně zatěžují tradiční startovací baterie, a tak se jako efektivnější alternativa objevily EFB. Nastavují rovnováhu mezi výkonem a cenou, s přímou úměrou mezi výkonem a cenou baterie pro trhy s elektromobily a hybridními vozidly [22, 23].

2.2.2 Nikl-zinkové baterie

Nikl-zinkové (NiZn) baterie s napětím přibližně 1,65 V na článek mají oproti 1,2V NiMH/NiCd bateriím výrazné výhody. Využívají alkalický elektrolyt a niklovou elektrodu, čímž se odlišují od NiCd a NiMH baterií. NiZn se nabíjí konstantním proudem na 1,9 V na článek a nepodporují průběžné ani udržovací nabíjení. Měrná energie je impozantních 100Wh/kg a tyto baterie lze cyklicky použít 200-300krát. NiZn neobsahuje žádné těžké toxické materiály. Historie NiZn se začala psát v roce 1901, kdy si Thomas Edison nechal patentovat dobíjecí nikl-zinkový bateriový systém, který byl v letech 1932-1948 instalován do železničních vozů. NiZn se však potýkal s problémy, jako je vysoké samovybíjení a krátká životnost v důsledku elektrických zkratů. Technická vylepšení elektrolytu tyto problémy zmírnila a znovu vzbudila zájem o NiZn pro komerční použití, a to především pro jeho nízkou cenu, vysoký výkon a příznivý rozsah provozních teplot. NiZn baterie poskytují vyšší napětí, vysokou specifickou energii a jsou šetrné k životnímu prostředí [24, 25].

2.2.3 Nikl-metalhydridové baterie

Nikl-metalhydridová baterie (NiMH) je dobíjecí baterie s kladnou elektrodou z hydroxidu niklu a zápornou elektrodou z hydridu kovu (slitiny pohlcující vodík). Elektrolyt bývá hydroxid draselný. Disponují vyšší energetickou hustotou z hlediska hmotnosti a objemu, lepší schopností pracovat při vysokých rychlostech a vysokou odolností vůči nadměrnému vybíjení. V současné době jejich celosvětová roční produkce přesahuje 1 miliardu článků, což z nich činí významného hráče na trhu s bateriemi. Ni-MH baterie se staly dominantní bateriovou technologií pro elektromobily (EV) a hybridní elektromobily (HEV). Tyto baterie se mohou pochlubit 1,5 až 2krát vyšší hustotou energie než Ni-Cd baterie, díky čemuž jsou vhodné pro přenosné elektrické nářadí a vozidla HEV. Jejich energetická hustota je však relativně nižší než u lithium-iontových baterií. V roce 2017 bylo 85 % uvedených vozidel HEV založeno na bateriích NiMH. NiMH byla komerčně uvedena na trh v roce 1989 a používala se především jako zdroj energie v přenosných osobních počítačích. Od té doby se systém NiMH baterií stal velmi populárním v elektrických hybridních vozidlech a tvoří 10 % celkového trhu s dobíjecími bateriemi. V porovnání s NiCd akumulátorem poskytuje NiMH o 40 % vyšší měrnou energii, což má za následek přibližně dvakrát vyšší kapacitu. Baterie NiMH jsou také méně ovlivněny poklesem napětí, ale hlavní výhodou je absence toxického kadmia. Paměťový efekt NiMH baterií je mnohem menší než u niklkadmiových baterií.

Kov M v záporné elektrodě NiMH článku je intermetalická sloučenina. Pro tuto aplikaci bylo vyvinuto mnoho různých sloučenin. Výzkum materiálů pro záporné elektrody Ni/MH baterií zahrnoval několik rodin slitin: AB₅, AB₂ a AB. V tomto zápisu představuje A kovový prvek se silnou afinitou k vodíku (typicky prvek vzácné zeminy jako lanthan, cer, neodým nebo praseodym), zatímco B je kovový prvek se slabou afinitou k vodíku (typicky přechodný kov jako nikl, kobalt, mangan nebo hliník). Hydridotvorné materiály na bázi intermetalik AB₅ jsou dnes nejuniverzálnější a komerčně nejdůležitější skupinou reverzibilních hydridotvorných slitin [26].

2.2.4 Lithium-iontové baterie

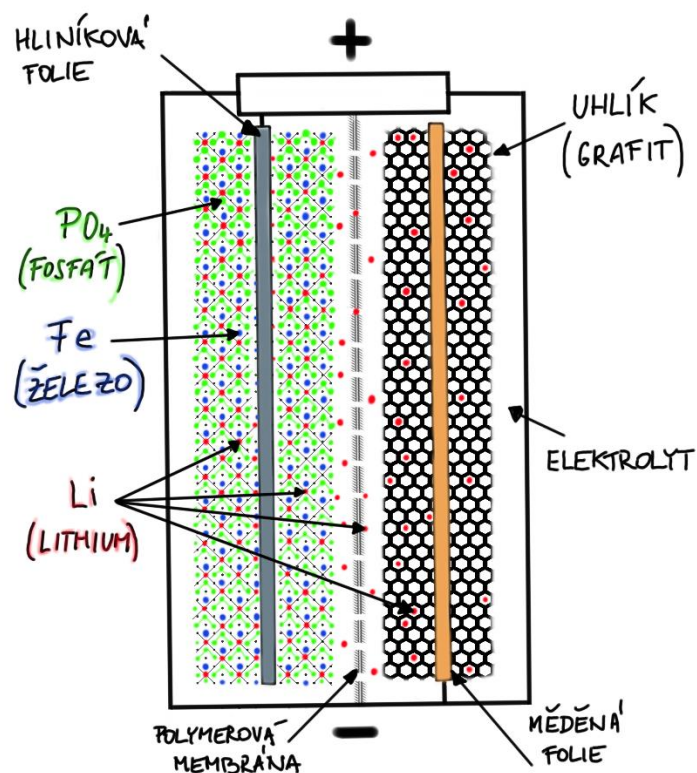
Lithium-iontové (Li-Ion) zdroje se vyznačují malými rozměry, nízkou hmotností a vysokým výkonem. Historicky se první zmínky datují k roku 1912, kdy americký vědec G. N. Lewis prováděl pokusy s lithiovými články. V roce 1970 se na trhu objevily nenabíjecí lithiové články. Vývoj dobíjecích článků musel nejprve překonat bezpečnostní problémy spojené se zvýšenou výbušností. Nahrazením

kovového lithia oxidem lithno-kobaltnatým v roce 1991 umožnilo prodej první komerčně dostupné dobíjecí Li-Ion baterie. Li-iontové baterie mají svůj název odvozený od iontů lithia, které se pohybují mezi zápornou a kladnou elektrodou v elektrolytu a přenášejí elektrický náboj. Při nabíjení přichází na výstup baterie vyšší proud ve stejné polaritě, což způsobuje návrat iontů lithia k záporné elektrodě. Záporné elektrody jsou vyrobeny ze sloučenin uhlíku a grafitu, zatímco kladné elektrody jsou vyrobeny z oxidu lithného a kobaltu. Li-Ion baterie se vyrábějí ve dvou typech, které se liší materiálem záporné elektrody. Ta je vyrobena z mikrokrystalického uhlíku nebo grafitu. Tato provedení se odlišují tvarem vybíjecí křivky, nabíjecím napětím a napětím, při kterém musí být vybíjení přerušeno. Li-Ion baterie se obvykle nabíjejí ze zdroje napětí s omezeným nabíjecím proudem. Proces nabíjení je rychlý a probíhá ve dvou fázích. V první fázi se baterie nabíjí, dokud nedosáhne konečného nabíjecího napětí, které obvykle dosahuje přibližně 70 % nabití. Ve druhé fázi probíhá nabíjení konstantním napětím, přičemž se postupně snižuje nabíjecí proud, dokud se nepřiblíží zlomku počátečního proudu, což znamená plně nabitý stav. Tato metoda zabraňuje přebíjení a eliminuje potřebu pečlivě sledovat dobu nabíjení.

Komerčně dostupné lithium-iontové baterie se skládají z lithium-iontových článků s tekutými elektrolyty, často ve formě válců, jako je běžný článek označovaný 18650. Tyto články se jmenovitým napětím 3,6 V a nabíjecím napětím 4,2 V se běžně používají v bateriích pro notebooky, telefony či automobily. Jejich konstrukce zahrnuje kovové pouzdro s tlakovými vybíjecími mechanismy, které zajišťují relativní bezpečnost a mechanickou odolnost. Energetická hustota těchto baterií se pohybuje v rozmezí 150 až 200 Wh/kg. Mezi výhody Li-Ion baterií lze uvést velmi nízkou hmotnost, jedná se průměrně o 1/3 olověného akumulátoru. Dosahují vysoké hustoty energie 200 Wh/kg, tzn. poskytují až třikrát vyšší kapacitu při malém objemu a hmotnosti. Umožňují rychlé nabíjení a mají životnost vyšší než 2000 nabíjecích cyklů. Rovněž samovybíjení je velmi pozvolné. Dalšími výhodami je možnost variabilního tvaru, nízké nároky na údržbu, neobsahuje toxické látky a není nutné jí nejprve formovat, tzn. před prvním uvedením do provozu několikrát nabít a vybit. Li-Ion baterie, pokud jsou poškozené, vadné či špatně zabalené, jsou náchylné k přehřátí a samovznícení. Dochází-li k nabíjení na vyšší kapacitu, než je baterie schopna pojmout, vzniká riziko výbuchu. Dalšími nevýhodami je vysoká cena, citlivost na teplotu a úplné vybití, kdy klesne-li napětí pod 10 V, již nebývá možno je znovu uvést do provozu. Zároveň však ztrácí kapacitu bez ohledu na používání [27, 28].

2.2.5 Lithium-železo-fosfátové baterie

Lithium-železo-fosfátové (LiFePO_4) baterie se stávají technologicky vyspělejší alternativou tradičních olověných baterií. Každý článek má jmenovité napětí 3,2 V a baterie s napětím 12,8 V je složena ze čtyř článků zapojených do série. Klíčovou výhodou oproti olověným akumulátorům je absence sulfatace, jevu, který snižuje kapacitu a zkracuje životnost. Často je tento jev způsoben dlouhodobým nedostatečným nabíjením nebo nepoužíváním. LiFePO_4 baterie nevyžadují plné nabití, stačí částečné nabití, což je činí praktičtějšími než olověné baterie. Současné články a baterie LiFePO_4 mají životnost více než 7 000 cyklů při 80 % vybití a při menším zatížení mohou dosáhnout až desítek tisíc cyklů. Tyto baterie mají minimální samovybíjení a lze je nabíjet do jakéhokoli stavu, což je ideální pro použití ve fotovoltaice a elektrických pohonných systémech. Baterie LiFePO_4 se vyznačují dlouhou životností, která může za ideálních podmínek přesáhnout 20 let.



Obrázek č. 5 – Schéma baterie LiFePO_4 [29]

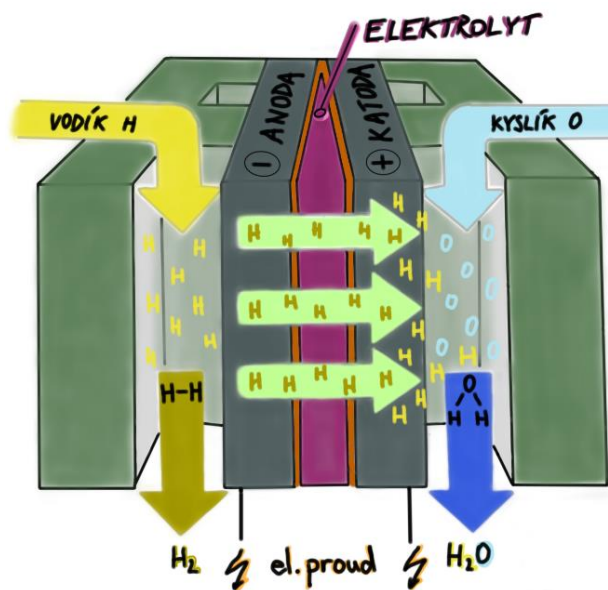
Baterie LiFePO_4 jako lithium-iontové baterie využívají vysokou chemickou reaktivitu lithia. Tato technologie, vyvinutá v roce 1996 na Texaské univerzitě, se stále více prosazuje ve fotovoltaických systémech odpojených od sítě, v elektrokolech a elektromobilech. Nevýhodou těchto baterií je citlivost na přebíjení. Každá baterie vyžaduje vyvažovací moduly, které zajišťují rovnoměrné nabíjení jednotlivých článků. Vyvažování může být pasivní nebo aktivní, přičemž druhé jmenované je energeticky účinnější, ale zvyšuje složitost a náklady na celý systém skladování energie. Potenciální nevýhodou baterií LiFePO_4 zůstávají finanční aspekty, zejména náklady. Navzdory vyšší počáteční investici nabízí lineární stárnutí těchto baterií delší a předvídatelnější životnost než olověné baterie. Kompatibilita baterií LiFePO_4 se stávajícími technologiemi znamená, že mohou snadno nahradit olověné baterie, ale potřeba vyvažování zvyšuje finanční nároky na provoz [30, 31, 32].

2.2.6 Nové technologie

Mezi nové technologie lze zařadit superkapacitor, též nazývaný ultrakapacitor nebo dvouvrstvý kondenzátor. Vyniká svou vysokou elektrickou kapacitou, ukládající energii statickým nábojem namísto elektrochemickými reakcemi. Elektrická kapacita kondenzátoru, měřená ve faradech, umožňuje uložit coulomb elektrického náboje při použití napětí jednoho voltu. Existují tři hlavní typy kondenzátorů: elektrostatický kondenzátor, elektrolytický kondenzátor a superkapacitor. Elektrostatický kondenzátor se suchým separátorem má nízkou kapacitu a často slouží pro ladění frekvencí a filtraci. Elektrolytický kondenzátor má vyšší kapacitu a používá se pro vyrovnávání napětí a přenos signálu. Superkapacitor, s kapacitou v řádech faradů, se využívá pro pravidelné cyklické nabití a vybití pod vysokým proudem. Historie superkapacitorů sahá do roku 1957, kdy inženýři z General Electric provedli první experimenty. V roce 1966 objevila společnost Standard Oil účinky dvouvrstvého kondenzátoru, což vedlo ke komerčnímu využití. Superkapacity se dále vyvíjejí a nové technologie využívají grafenové elektrody. Tyto kondenzátory jsou vhodné pro krátkodobé aplikace, kde je potřeba rychlého nabíjení a vybíjení.

Existují různé typy superkapacitorů, včetně elektrochemického dvouvrstvého kondenzátoru (EDLC) a asymetrického elektrochemického dvouvrstvého kondenzátoru (AEDLC). Zatímco EDLC závisí na elektrostatickém účinku, AEDLC používá elektrody podobné těm v bateriích, což zvyšuje hustotu energie, ale snižuje životnost a přináší další obtíže. Superkapacity mají omezené napětí, obvykle 2,5–2,7 V, ale v sérii může dosáhnout vyššího napětí. Měrná hustota energie superkapacitoru je 1–30 Wh/kg, což je méně než u lithium-iontových baterií. Superkapacity se integrují do elektrických pohonných jednotek hybridních vozidel a palivových článků [34, 35].

Další významnou technologií je využití vodíku. Palivový článek představuje elektrochemické zařízení, které produkuje elektřinu, teplo a vodu spojením vodíkového paliva s kyslíkem. Tento proces se odehrává bez spalování, což eliminuje emise škodlivých látek. Jediným vedlejším produktem je čistá voda. Vodík je uložen v tlakové nádobě, kdežto kyslík je odebírán ze vzduchu, což eliminuje škodlivé emise. Funguje na principu elektrolýzy, kde anoda přijímá vodík a katoda získává kyslík. Katalyzátor na anodě rozděluje vodík na nabité ionty a elektrony, které reagují s kyslíkem na katodě. Palivový článek dosahuje napětí 0,6–0,8 V. Pro získání vyšších napětí se články spojují do sérií. Technologie palivových článků je účinnější než spalování uhlíkového paliva. Vodík, tvořený jedním protonem a elektronem, nabízí čisté a hojné palivo. Avšak jeho výroba může být energeticky náročná a ukládání vodíku vyžaduje speciální nádrže. Proces extrakce vodíku ze stávajícího paliva může být alternativou do budoucna. Podílí se na snižování emisí a využívá přebytečné uhlíkové palivo.



Obrázek č. 6 – Princip palivového článku [36]

Historicky byly palivové články vnímány jako revoluční zdroj čisté a nevyčerpatelné energie. Vývoj však zpomalila výrobní a skladovací problematika vodíku. Přesto se v Japonsku opět zvyšuje zájem o toto řešení, zejména v automobilovém průmyslu, kde palivové články nahrazují baterie a dieselové agregáty v administrativních budovách a vysokozdvizných vozících ve skladech. Palivové články mají potenciál pohánět budoucí letadla a auta. Jejich výhody zahrnují čistý provoz, možnost instalace v omezených prostorech a minimální údržbu. Přínosy palivových článků jsou však stále předmětem debat, zvláště kvůli energetickým nákladům na výrobu vodíku [36, 37].

Zajímavým provedením nové technologie je i baterie označená HE3DA. Baterie HE3DA se vyznačují jedinečnými vlastnostmi, které vyplývají z jejich konstrukce, v níž jsou použity robustní elektrody o tloušťce několika milimetrů. Na rozdíl od standardních lithiových článků (běžně typu 18650 nebo 21700) s tenkými elektrodami o velikosti několika mikrometrů využívá HE3DA hliníkové a měděné rámečky, které obsahují práškový aktivní materiál. Tyto elektrody, nikoliv tenké fólie svinuté do válců jako u běžných válcových článků, zvyšují životnost a odolnost proti mechanickému namáhání. Označení "3D" v názvu odráží tuto trojrozměrnou konstrukci elektrod, která je odklonem od tradiční válcové struktury článků. Ačkoli HE3DA využívá stejné prvky jako běžné Li-ion baterie, jako je grafit a směsný lithný oxid nikel-mangan-kobalt (NMC), jejich technologie zavádí nanomateriál se specifickou strukturou, což je patentovaná inovace Jana Procházky. Elektrody jsou slisovány, sestaveny a odděleny silnějším separátorem, vyztuženým keramickými vlákny, aby odolaly vysokým teplotám. Na rozdíl od běžných lithiových článků se baterie HE3DA neliší materiálem, ale konstrukcí. Automatizovaná montážní linka stlačí elektrody, naskládá je na sebe se separátorem a celý "sendvič" se slisuje, sešroubuje a naplní elektrolytem (standardní roztok fluorofosforečnanu lithného). Poté prochází formátovacími, nabíjecími a vybíjecími cykly, aby se aktivoval. Naformátovaná baterie je uzavřena bez použití lepidel, pojiv nebo plastů. Absence těchto dalších materiálů přispívá k jednoduchosti a spolehlivosti baterie [38, 39, 40].

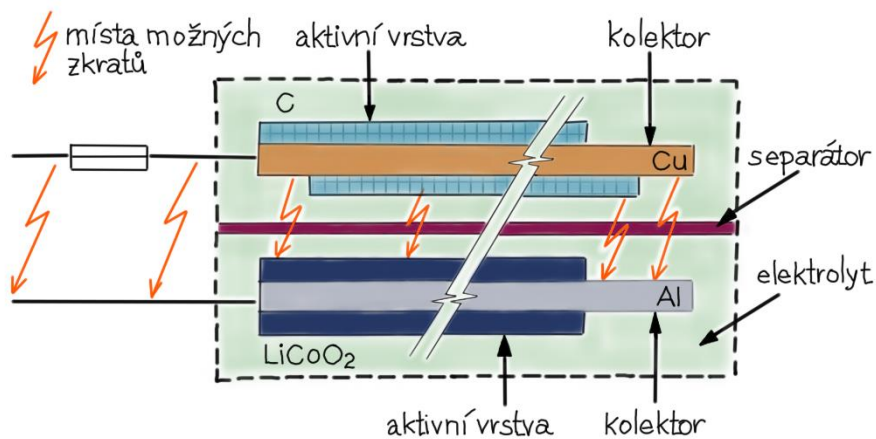
2.3 Bezpečné nakládání

Během nabíjení a vybíjení akumulátoru může dojít k mírné expanzi, která vede k postupnému kontaktu elektrod, což má za následek přehřátí a potenciálně exotermické reakce při vyšších úrovních nabití. Havárie mnohdy vznikají ze snahy o miniaturizaci a maximální výkon, která vyžaduje instalaci baterie s co největší kapacitou do zařízení s minimalistickými rozměry, zejména tloušťkou.

Mezinárodní incident se týkal havárie letu UPS 6 dne 3. září 2010, kdy nákladní Boeing 747-44AF narazil do vojenského prostoru nedaleko Dubaje, v důsledku čehož přišli o život oba piloti. Přibližně 30 minut po startu došlo k požáru v nákladovém prostoru. Původně se předpokládalo, že se jedná o technickou závadu na letadle, která se rozšířila na přepravovaný náklad. Náklad však obsahoval 81 000 lithiových článků, což významně ovlivnilo vyšetřování. Incidenty v letecké dopravě související s elektrochemickými zdroji energie, zejména lithiovými články, nejsou výjimečné. Federální úřad pro letectví (FAA) zaznamenal v období od roku 1991 do dubna 2018 265 incidentů.

Dělení elektrochemických článků na základě jejich technologické podstaty, zejména jejich chemického složení, je nezbytné pro identifikaci a popis souvisejících rizik. K pochopení těchto rizik významně přispívají také faktory jako kapacita, jmenovité napětí a typ konstrukce. Lze však stanovit univerzální rizika vznikající při zacházení s články v rozporu s pokyny výrobce a základními pravidly požární bezpečnosti. Uživatelé, neúmyslně porušující pokyny výrobců, mohou být intoxikováni chemickými látkami, vzniká i nebezpečí požáru, výbuchu a úrazu elektrickým proudem. Zásadní je nedbalost při zacházení s články. Lze jmenovat používání poškozených článků, nesprávné nabíjení baterií nebo vystavení článků nepříznivým podmínkám [42]. Baterie se skládají z elektrochemických článků, přičemž je třeba rozlišovat mezi článkem a baterií. Článek, jehož příkladem je velikost R6 (laicky označováno baterie AA), se skládá z pouzdra, kolektorového systému, systému elektrod, elektrolytu a separátoru. Pro praktické účely jsou články považovány za téměř ideální, s minimální ztrátou energie při samovybíjení a vysokou účinností akumulace energie.

Kolektorový systém obsahuje vodiče usnadňující kontakt s elektrodami, které existují jako anodový a katodový pár. Elektrody, skládající se z aktivních materiálů s různou vodivostí, vytvářejí elektrochemické rozdíly potenciálů. Plášť zajišťuje mechanickou integritu a zabraňuje úniku aktivních materiálů nebo elektrolytů, přičemž se v minulosti používaly materiály jako plast, nerezová ocel, tvrdá pryž nebo sklo. Analýzy rizik zahrnují popis rizik, posouzení závažnosti, výběr nástroje pro eliminaci rizik, použití nástroje a hodnocení účinnosti nástroje. Rizika, která bezprostředně ohrožují život nebo mají závažné následky na majetku jsou hlídána a napravována přednostně. Dosažení nulového rizika se považuje za technicky nedosažitelné a neekonomické, přičemž se uznává přijatelná úroveň rizika. Z chemických rizik jsou nejzávažnější rychlé chemické reakce vylučující látky z baterie a rizika spojená s vývinem toxických nebo výbušných plynů. Méně závažná rizika zahrnují drobné úniky elektrolytu nebo malá množství aktivního materiálu. Recyklace starého olověného akumulátoru představuje riziko pro životní prostředí, ale jeho dopady jsou považovány za méně závažné než výbuch vodíku při přebíjení akumulátoru.



Obrázek č. 7 – Schematická struktura lithiové baterie s označenými místy možných zkratů [41]

Rizika přinášející elektrochemické zdroje lze dělit na dvě odvětví. Prvým jsou rizika chemická. Zde se popisují rizika poleptání kyselinou či zásadou, kontakt s toxickými látkami a nebezpečí neřízené chemické reakce. Rizikové jsou olovnaté články. Zde vzniká nebezpečí poleptání kyselinou sírovou, otrava či dlouhodobější kontaminace životního prostředí olovem. Články NiCd rovněž přinášejí riziko poleptání, v tomto případě však roztokem hydroxidu draselného s hydroxidem lithným. Dále je samotné kadmium toxické, může způsobit otravu či kontaminaci životního prostředí. Ani lithiové články nejsou bez rizika, organické elektrolyty lithiových baterií mohou způsobit otravu, produkují jedovaté zplodiny. Samotné lithium v podobě kovu prudce oxiduje při kontaktu se vzduchem, obvykle se proto uchovává ponořené v petroleji. U lithiových článků se hodnotí nejen velikost baterie, ale i obsah lithia. Druhým odvětvím jsou rizika energetická. Ta jsou dána fyzikálními vlastnostmi baterií. Baterie lze definovat jako zdroj o malé vnitřní impedanci, tzn. že jsou schopny dodat proud při zkratu až v řádech stovek ampér. U nízkonapěťových baterií do 28 V nedochází sice při zkratu k zahoření oblouku, ovšem rizikem je zde vznik vysokých teplot. U baterií o vyšším napětí se při zkratu k vysokým teplotám přidává nebezpečí hoření oblouku. Dále lze energetická rizika dělit dle místa vzniku zkratu. Vnitřní zkrat vyvine teplo uvnitř obalu baterie, dochází tedy ke zvýšení vnitřního tlaku na obal. Rozpad separátoru je dán většinou výrobní chybou. K rozpadu dojde při přehřátí baterie nad maximální provozní teplotu, následuje vnitřní zkrat. Vnější zkrat vznikne na svorkách baterie nebo zařízení k ní připojeného. Opět dojde k extrémnímu zvýšení teploty. Při mechanické poruše článku a následnému uvolnění elektrochemické energie dochází, pokud vznikne zkrat po spojení vnitřních aktivních materiálů. Toto

riziko vzniká především při penetraci článku cizím tělesem. Kategorii samotnou jsou nároky a odolnost baterií pro elektromobily. Zde je největším rizikem množství otřesů, které články musejí bezpečně během své životnosti přestát. Tyto články bývají testovány na únavové lomy, průsaky, extrémní vystavení chladu a horku, a v neposlední řadě mechanické deformaci. Výrobci článků poskytují bezpečnostní listy ke svým produktům, kde se lze seznámit s riziky i správnými postupy práce [41].

3 Tepelná čerpadla

Již od doby kamenné dokázalo lidstvo vyrábět teplo pomocí uměle rozdělaných ohňů. Problém umělého ochlazování byl však mnohem složitější a byl vyřešen až kolem roku 1850, kdy průkopníci vynalezli první chladicí stroje. Stejně stroje lze použít jako tepelná čerpadla pro vytápění. Byla to však obrovská poptávka po chlazení, která vedla k rychlému rozvoji této nově objevené techniky a k triumfálnímu rozšíření po celém světě. K roku 2005 bylo celosvětově v provozu více než 130 milionů jednotkových tepelných čerpadel pro chlazení a vytápění. Roční prodej dosáhl 15 milionů v Asii, 2 miliony v Severní Americe a několik set tisíc kusů v Evropě [129]. V Evropě je poptávka po chlazení lokalizována především v jižních oblastech. V severních klimatických oblastech jsou standardními aplikacemi tepelných čerpadel pouze vytápění a ohřev teplé užitkové vody. Počet tepelných čerpadel pouze pro vytápění je nižší než množství klimatizačních jednotek. Důvodem je skutečnost, že, na rozdíl od chladu, lze teplo vyrábět také pomocí levnějších kotlů na zemní plyn, pevná paliva a olej nebo otevřeným ohněm. Tepelná čerpadla pouze pro vytápění proto musí splňovat vysoké požadavky na účinnost a celkové náklady, aby mohla konkurovat těmto méně složitým zařízením. Tepelná čerpadla pro vytápění převážně profitují z levných komponentů klimatizačního a chladicího původu vyráběných ve velkém množství. O chlazení již existuje mnoho podrobných i zkrácených publikací. Nejobsáhlejší z nich se jmenuje A History of Refrigeration Throughout the World [130]. V této oblasti se lze setkat s kompresními systémy jako je reverzní Rankinův cyklus, reverzní Stirlingův cyklus, magnetokalorický jev a termoelektrický efekt. Další principů chlazení, jako je chlazení v plynovém cyklu 1, známé také jako Jouleův-Thomsonův efekt, odpařovací chlazení a efekt směšovacího tepla se práce dotkne pouze okrajově za účelem pochopení základních principů funkce TČ [43].

Tepelné čerpadlo lze obecně definovat jako kompresorové chladicí zařízení. V této definici se shoduje se zařízeními, jakými jsou chladničky, mrazničky či klimatizační jednotky. Pro všechna tato zařízení platí, že při provozu produkují více tepla než chladu. Princip fungování tepelného čerpadla je znám již pár století, avšak teprve během velkého technického pokroku během 20. století byly dostupné technologické procesy, které tuto technologii umožnily převést do praxe. První použití, které se rozšířilo mezi veřejnost, bylo v chladírenské technice. S dalším rozvojem technologií se od druhé poloviny 20. století začalo pracovat na použití této technologie k vytápění.

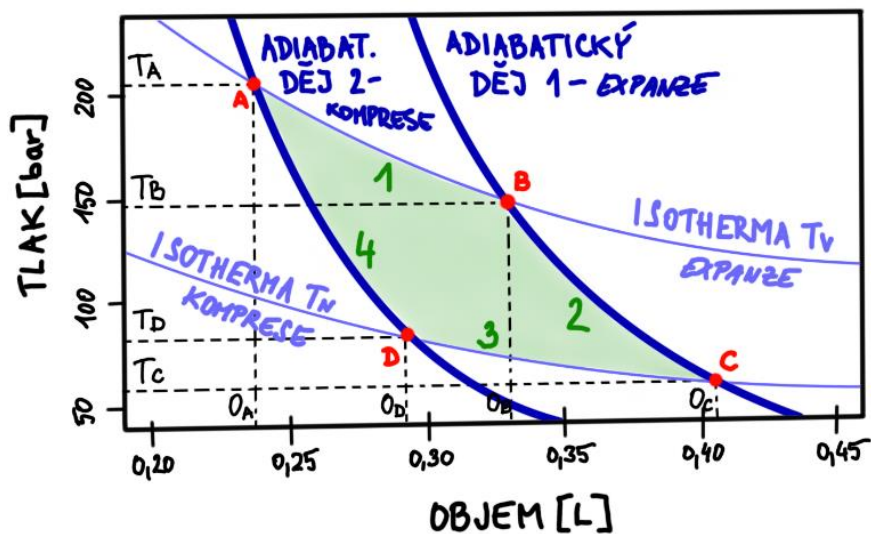
3.1 Princip fungování tepelného čerpadla

Pro pochopení, jakým způsobem funguje tepelné čerpadlo, je nutné se nejprve seznámit s dvěma fyzikálními pravidly.

1. **Teplo vždy přechází z teplejšího prostředí do studenějšího.**
2. **Stlačím-li plyn vykonáním práce, plyn se zahřeje.**

Z poučky č. 1 vyplývá, že se teplejší předmět ochlazuje a své teplo předává studenějšímu prostředí/předmětu. Tento jev trvá do vyrovnání teplot prostředí či předmětů. Z poučky č. 2 plyne, že stlačením plynu v uzavřeném prostoru lze získat teplo. Prudkým zvětšením objemu plynu v uzavřeném prostoru lze dosáhnout jevu opačného, tedy ochlazení plynu. Toho se využívá v chladírenství [47].

Teplné čerpadlo se skládá z chladicího okruhu, což je uzavřený systém z měděných trubek, kompresoru, dvou tepelných výměníků a expanzního ventilu. Okruh je naplněn chladivem, chemickou látkou schopnou navázat teplo a rychle je odevzdat [45]. Tepelné výměníky se dělí na kondenzátor a výparník. Tyto konstrukční prvky umožňují práci v tzv. Carnotově cyklu. Ten popisuje vratný kruhový děj ideálního tepelného stroje. Přínos Carnotova cyklu termodynamice spočívá v abstrakci základních vlastností parního stroje do obecnějšího a idealizovaného tepelného motoru. Jedná se o proces složený ze dvou izotermických a dvou adiabatických přeměn. Každá přeměna je buď expanzí, nebo kompresí ideálního plynu. Předpokládá se, že všechny přeměny jsou vratné a že mechanickým třením se neztrácí žádná energie. Carnotův cyklus spojuje dva "zásobníky tepla" o teplotách T_v (vysoká) a T_n (nízká). Zásobníky mají vysokou tepelnou kapacitu, takže jejich teploty nejsou cyklem ovlivněny. Soustava je tvořena pouze ideálním plynem, který je jedinou látkou, která v průběhu cyklu mění teplotu. Pokud uvedeme čtyři přeměny Carnotova cyklu na diagramu tlak-objem, získáme následující graf:



Obrázek č. 8 – Diagram Tlak-Objem Carnotova cyklu [44]

Fáze 1 je izotermická expanze probíhající mezi bodem A a B. V této fázi se teplo uvolňuje z horkého zásobníku a je absorbováno částicemi ideálního plynu v systému. Teplota soustavy tak roste. Vysoká teplota způsobuje rozpínání částic plynu, které tlačí píst vzhůru a vykonávají práci na okolí. Následuje fáze 2 označená jako adiabatická expanze a probíhající mezi body B a C. V této fázi expanze pokračuje, ale nedochází k výměně tepla mezi systémem a okolím. Systém tedy prochází adiabatickou expanzí.

Rozpínání umožňuje ochlazování částic ideálního plynu, čímž se snižuje teplota soustavy. Fáze 3 se nazývá izotermická komprese a probíhá mezi body C a D. V této fázi vykonává okolí na soustavě práci, která způsobuje uvolňování tepla (Q_c). Teplota uvnitř soustavy zůstává stejná. Dochází tedy k izotermické kompresi. Poslední je fáze 4, označovaná jako adiabatická komprese a probíhající mezi body D a A. Při této fázi nedochází k žádné výměně tepla, avšak okolí nadále koná v systému práci. Dochází k adiabatické kompresi, která zvýší teplotu soustavy i polohu pístu zpět do původního stavu (před první fázi) [44]. Nyní s nabytými fyzikálními základy lze postoupit k samotným čtyřem pracovním fázím chladicího okruhu, ty jsou zobrazeny na obrázku č. 9.

3.1.1 Součásti tepelných čerpadel a jejich funkce

1. Kompresor - Komprese

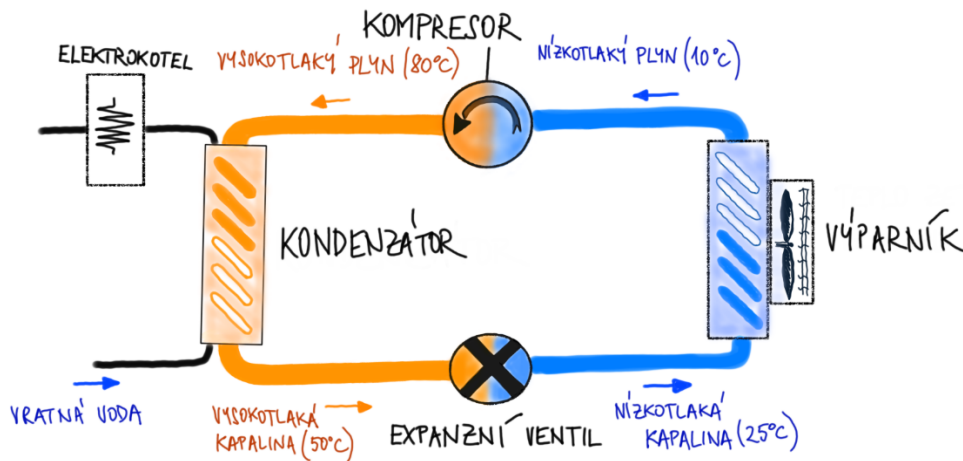
Kompresor nasaje chladivo a stlačí ho na základě vykonané práce pomocí elektrické energie. Spotřebovaný elektrický příkon se označuje jako P_i . Tímto stlačením zvýší chladivo svou entalpii, tzn. že zvýší tlak a teplotu par chladiva. Zároveň zajišťuje oběh chladiva okruhem. Vstupní tlak je uváděn v jednotkách barů, na výstupu se jedná o desítky barů. Na výstupu se teplota par oproti vstupu může lišit o 70 °C a více [45]. Kompresor využívá v praxi fyzikální poučku č. 2.

2. Kondenzátor - Kondenzace

Do kondenzátoru jsou vháněny páry média, kde dochází k přenosu tepla ze zahřátého chladiva nejčastěji do topné vody, která se dále přenáší do radiátorů či podlahového topení. Zde se uplatňuje poučka č. 1. Chladivo se ochladí, topná voda ohřeje skupenským teplem, které vznikne kondenzací páry na kapalinu. Změnou skupenství je dosaženo vyššího tepelného výkonu, než který by generovalo pouze zchlazení par. Kondenzát, tedy kapalina chladiva, odchází z kondenzátoru v teplotě pár desítek °C. Kondenzátor je spojen s pojmem topný výkon Q_t . [46]

3. Expanzní ventil - Expanze

Chladivo předalo své teplo v kondenzátoru a zkapalněné přichází do expanzního ventilu, kde dochází k prudkému snížení tlaku chladiva a tím dojde k ochlazení až na teplotu -30 °C. To umožňuje konstrukční řešení ventilu, který se chová jako tryska. Tryska způsobí zaškrcení průtoku, kapalina začne zvětšovat svůj objem, tlak se rychle sníží, dochází k ochlazení a následnému odpařování. Expanzní ventil řídí pomocí expanzního otvoru průtok chladiva.



Obrázek č. 9 – Princip tepelného čerpadla a jeho základní komponenty [46]

4. Výparník - Vypařování

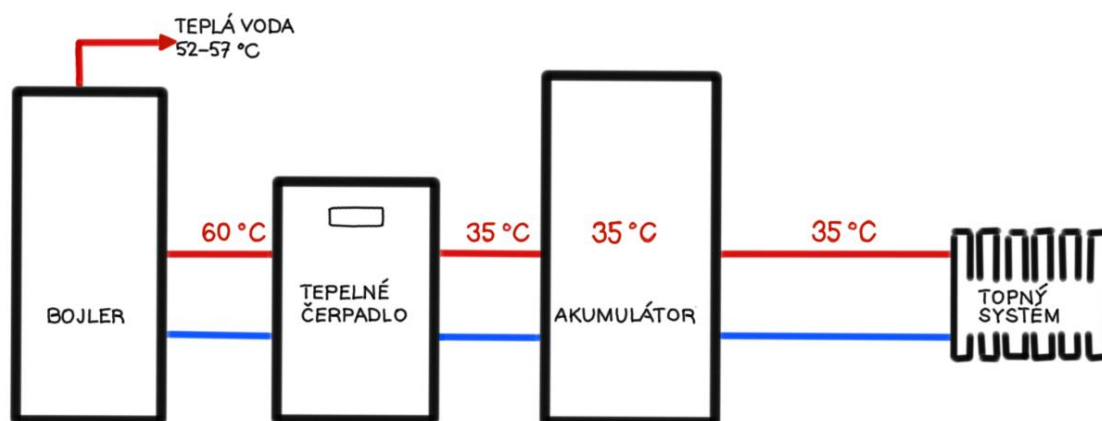
Do výparníku přichází chladivo, o teplotě kolem -25 °C, z expanzního ventilu. Výparník, který se chová jako ohřivač, převádí teplo z vnějšího prostředí. Vnějším prostředím může být voda, země či vzduch dle instalovaného zařízení. Podchlazené páry chladiva se začínají ohřívat, vypařovat a absorbují seskupenské teplo. Vypařování obvykle probíhá v teplotě pod 0 °C, maximálně však do plus 15 °C. Na výparník je přiváděn tepelný příkon, lze rovněž říci, že je odváděn chladicí výkon, označován jako Q_c . Vypařené, ohřáté, chladivo je vedeno do kompresoru, kde se celý proces zopakuje [45]. Vlastnosti chladiva jako je schopnost rychlé změny skupenství, kapalně – plynně – kapalně, jsou zásadní pro

funkční procesy tepelného čerpadla. Tyto procesy lze zapsat pomocí rovnice $Q_t = P_i + Q_c$, což znamená, že topný výkon Q_t kondenzátoru je roven příkonu P_i kompresoru a chladicímu výkonu Q_c výparníku. Pracovní fáze TČ lze posléze zjednodušit na tzv. primární a sekundární okruh. Jako primární okruh se uvažuje ta část TČ, do které vstupuje teplo nízkého potenciálu z vnějšího prostředí, tedy ze vzduchu, vody či země. Sekundárním okruhem je myšlena část, která odvádí teplo pro vytápění a TUV [46].

3.1.2 Topný faktor

Faktor COP popisuje účinnost, efektivitu, úspornost tepelného čerpadla. Topný výkon TČ je násobně vyšší než elektrický příkon kompresoru, z čehož vyplývá, že jeho účinnost přesahuje násobek 100 %. Počítá se jako poměr mezi spotřebovanou el. energií a vyrobeným teplem. Lze říci, že čím vyšší hodnota COP, tím je provoz TČ efektivnější. Hodnota COP kolísá v závislosti na fyzikálních podmínkách práce chladicího okruhu, nejvíce je hodnota ovlivněna rozdílem teplot mezi zdrojem tepla a teplotou ohřevu, kdy čím vyšší je rozdíl, tím vyšší jsou nároky na příkon kompresoru, klesne topný i chladicí výkon a celé COP klesne [45]. Toť důvodem, proč je podlahové vytápění výhodnější než otopné radiátory. Samotná efektivita je již ze značné míry stanovena výběrem druhu technologie. COP technologie země/voda dosahuje hodnot během celého roku až 4,8. V porovnání s technologií vzduch/voda, které během roku COP kolísá v závislosti na venkovní teplotě, se na hodnotu 4,8 dostaneme při venkovní teplotě cca 7 °C. Při teplotě vzduchu -7 °C se hodnota COP snižuje na 2,9 a při teplotě -15 °C jsme již na hodnotě 2 [46].

Princip a komponenty TČ jsou popsány na obr. č. 9, pro reálné nasazení do provozu jsou však nutné další součásti k TČ. Tím je obvykle bojler, akumulční nádoba a topný systém. Tato sestava je zobrazena na obrázku AA. Zde se seznamujeme s oficiálně jediným správným řešením zapojením TČ. Vytápění je řízeno podle ekvitemní křivky teploty, akumulční nádoba není osazena výměníkem, rovněž nebyl mezi TČ a topný systém namontován trojcestný směšovací ventil. TUV je ohřívána v samostatném zásobníku, bojleru. Voda do topného systému se akumuluje v akumulátoru. TČ střídavě nahřívá vodu v bojleru nebo do topného systému, a to pro různou výstupní teplotu vody. Tím se dosahuje nejefektivnějšího COP jak pro ohřev TUV, tak pro vytápění.



Obrázek č. 10 – Správné zapojení tepelného čerpadla [49]

3.2 Dělení tepelných čerpadel dle technologie

Dělení tepelných čerpadel přispívá k porozumění různým typům zařízení a jejich specifickým vlastnostem a umožňuje lépe vybrat a optimalizovat tepelné čerpadlo pro konkrétní potřeby, což vede k efektivnějšímu využívání energie a úspoře pořizovacích i provozních nákladů.

Mezi nejznámější technologie patří tepelné čerpadlo vzduch/voda. Tepelné čerpadlo vzduch/voda je univerzální a snadno nasaditelný systém, který eliminuje náklady na zemní práce, jak je tomu například u TČ země/voda, kdy je nutno při pořizování počítat se zvýšenými náklady na vrt či plošné kolektory. Je závislé na teplotě venkovního vzduchu a často se instaluje bivalentně s elektrickým kotlem jako zálohou při extrémních teplotách. Tento typ tepelného čerpadla je cenově méně nákladný. Výkon je závislý na vyšších venkovních teplotách, a je tedy v některých instalacích doplněn frekvenčně řízenými kompresory. Minimální provozní teplota venkovního vzduchu je obvykle $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bivalence zajišťuje trvalý tepelný komfort, a to aktivací záložního zdroje. V chladnějších klimatických podmínkách musí být výkon vhodně dimenzován, aby pokryl tepelnou potřebu celé budovy. Tepelná čerpadla vzduch/voda jsou vyráběna ve variantách SPLIT a MONOBLOK. V provedení SPLIT se čerpadlo skládá z venkovní a vnitřní jednotky, přičemž venkovní jednotka nasává okolní vzduch a vnitřní zajišťuje ohřev TUV a topného systému. U provedení SPLIT je nezbytná pravidelná údržba kapaliny cirkulující mezi jednotkami. Provedení MONOBLOK umožňuje kompaktní venkovní instalaci a uvolňuje teplo dovnitř. Při umístování jednotky je zásadní zohlednit hladinu hluku, kterou proudění vzduchu vytváří. U nových TČ se dosahuje ve vzdálenosti 5 m od jednotky akustického tlaku pod 40 dB. I přes své nedokonalosti zůstávají tepelná čerpadla vzduch/voda univerzálním, nákladově efektivním a oblíbeným řešením vytápění [48].

Další variantou jsou tepelná čerpadla vzduch/vzduch. Tepelná čerpadla vzduch/vzduch přenášejí teplo přímo do vnitřního vzduchu, tzn. nepředávají teplo vodě. Instalují se varianty SPLIT s možností jedné nebo více vnitřních jednotek, označovány jako MULTISPLIT. Toto řešení nachází uplatnění v malých bytech či domech. Jsou snadně instalovatelná, je nutno však počítat s problémy v distribuci tepla do místností oddělených dveřmi či jinými překážkami. Častěji se s nimi lze setkat v instalacích systémů rekuperace tepla a vzduchotechnických jednotek pro odvlhčování vzduchu v místech, jako jsou bazény apod. Dále se instalují pro jejich možnost nastavení jako klimatizační jednotky. Jsou tedy, při správném nastavení, schopna plnit funkce dvě.

Mezi instalované technologie se rovněž řadí tepelné čerpadlo voda/voda. Pro svou komplexnost se však tento systém instaluje vzácněji. Používá jako hlavní zdroj energie spodní vodu čerpanou z mělkého vrtu, např. studně. Tato voda projde tepelným čerpadlem, předá svou tepelnou kapacitu a následně se vychlazená voda vrací do druhé vsakovací studně. Systém je finančně i technologicky náročnější jak na instalaci, tak na údržbu. Variantou rovněž využívající vodu je tepelné čerpadlo země/voda. Tepelná čerpadla země/voda jsou vysoce spolehlivá, pracují nezávisle na vnějších klimatických podmínkách, jsou stabilní a vhodná pro bivalentní provoz se sekundárním zdrojem vytápění. Nabízejí delší životnost, přestože vyžadují více prostoru. Jsou k dispozici v kompaktních nebo standardních modelech, zahrnují nevyhnutelné geotermální práce, přičemž povrchové kolektory jsou vhodné pro novostavby s dostatečně prostorným pozemkem. V tomto případě jsou kladeny nároky na velikost nezastavěného pozemku. V něm jsou zahloubeny a uloženy plastové hadice naplněné nemrznoucí směsí. Tento systém hadic musí být uložen v nezámrazné hloubce, v ČR je optimální

pokládka do hloubky 1 m a níže. Nemrznoucí směs z okolní země přijímá teplo a odevzdává ho v TČ. Geotermální, jinak hlubinné, vrty nacházejí uplatnění v prostorově stísněných podmínkách. Není-li k dispozici dostatečně velká plocha pozemku pro položení plošného kolektoru, nebo nejsou-li splněny podmínky vhodného podloží, ukládá se kolektor do vrtu. V závislosti na tepelných ztrátách stavěné budovy se hloubí jeden či více vrtů od 80 až po 150 m. Volba mezi kolektory závisí na geologických podmínkách, obě možnosti umožňují celoroční odběr tepla, což je užitečné zejména pro ohřev vody. Tepelná čerpadla země/voda poskytují stabilní výkon a přinášejí až 80% úspory ve srovnání s tradičními systémy vytápění. Jejich dlouhá životnost je dána stálým provozem a nezávislostí na vnějších povětrnostních podmínkách. Počáteční náklady a nároky na přípravu jsou v porovnání s klasickým systémem vzduch/voda násobně vyšší. Přesto jsou díky své přizpůsobivosti vhodná pro použití ve vyšších nadmořských výškách s drsnějšími zimami, kde mohou účinně pracovat při teplotách pod $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ [46, 48].

Speciální kategorií jsou ventilační tepelná čerpadla. Tato technologie je používána pro rekuperaci vzduchu. Jedná se o netypický případ TČ vzduch/voda. Je využíváno teplo z odpadního vzduchu, které by bylo jinak nevyužito a odešlo by při otevření oken. Tato TČ řízeně větrají dům a zvyšují kvalitu bydlení.

4 Ekonomická kalkulace investice

Investice jsou plánované výdaje, které hrají klíčovou roli pro dlouhodobou prosperitu podnikatelského subjektu. Investice představují jednorázový peněžní výdaj, který bývá většinou alokovan k pořízení dlouhodobého majetku. Investice se propisují do podnikových nákladů ve formě odpisů až v době jejich využití a současně by také měla začít přinášet výnosy, které by měly pokrýt nejen vynaložené finanční prostředky, ale i požadovaný přínos. Nevhodně zvolená a neefektivní investice může dostat podnik do vážné finanční situace a přivést ho do insolvence. Žádný podnik však nemůže provozovat svou činnost bez inovací.

4.1 Pojetí investice

Při rozhodování o volbě investice je zásadní schopnost zhodnocení investora. Rozhodovacím parametrem při zvažování investice je její očekávaná výnosnost. Jedná se pouze o očekávanou budoucí hodnotu, která se odhaduje na základě aktuálních účetních výkazů. Z toho vyplývá, že se musí vzít v úvahu časový faktor a riziko. Dalším kritériem pro volbu investice je způsob jejího financování. Zda bude pokryta z vlastních prostředků podnikatelského subjektu či bude financována z cizích zdrojů [50, 51].

Z národohospodářského pojetí investic vyplývá, že investice snižují spotřebu, ale zároveň zvyšují poptávku, a tím následně i výrobu a zaměstnanost. Investice jsou zdrojem pro dlouhodobý ekonomický růst celé společnosti. V národním hospodářství se míra investování odvíjí od tempa růstu HDP, systému daní a výši daní z příjmu, výše úrokových měr, míře očekávané jistoty a rizik, výše státních zakázek a dotace aj. Důležitou roli na vliv investiční aktivity má hospodářská politika vlády, tj. monetární a fiskální politika [51].

Základní rozdělení investic dle účetního hlediska je následující:

- Hmotné investice, které zahrnují výstavbu nových budov, staveb, dopravních cest, nákup pozemků, strojů, výrobního zařízení a dopravních prostředků pro rozšíření výrobní kapacity podniku, jsou označeny jako dlouhodobý hmotný majetek. Jsou známé jako stálá aktiva. Jsou evidovány v účetnictví pod položkou dlouhodobého hmotného majetku.
- Nehmotné investice, jako je nákup know-how, licencí, softwaru, autorských práv, výdaje na výzkum a vývoj, vzdělání, sociální rozvoj a výdaje na zřízení podniku, jsou zařazeny do kategorie dlouhodobého nehmotného majetku. Pokud mají tyto investice nižší hodnotu než 60 000 Kč, spadají do provozních nákladů.
- Finanční investice, do kterých se řadí dlouhodobé cenné papíry jako jsou obligace, zástavní listy a dlouhodobé směnky, investice do podílových listů a účastí v investičních společnostech, dlouhodobé půjčky, nákup nemovitostí atd., jsou zaměřeny na obchodování s těmito aktivy za účelem získání úroků, dividend nebo zisku. V účetnictví jsou tyto investice zaznamenány v položce finančního majetku [51].

4.2 Plánování investic

Investiční činnost ovlivňuje budoucnost podnikatelského subjektu. Investiční plánování včetně analýzy případných rizik spojených s realizací je nezbytnou součástí investiční fáze. Plánování investic je komplexní činností podnikového managementu vycházející ze strategického podnikatelského plánu, kde jsou stanoveny dlouhodobé strategické cíle podniku. Strategický podnikatelský plán je vypracován vrcholovým vedením podniku. Investiční činnost je kapitálově náročná a měla by odpovídat strategickým cílům podniku. Investiční plánování se zaměřuje na hledání finančních zdrojů na zamyšlené investiční akce, investiční příležitosti, sestavování kapitálových rozpočtů a hodnocení efektivity investičních projektů.

Investování lze rozdělit do tří fází.

1. Předinvestiční fáze: Během této fáze probíhá identifikace investičních příležitostí, předběžný výběr projektů a jejich hodnocení, které vede buď ke schválení či zamítnutí.
2. Investiční fáze: Po schválení investičního projektu začíná druhá fáze, kde jsou zpracovány projektové dokumentace, výstavbu objektů, získání pozemků apod.
3. Provozní fáze: V poslední fázi probíhá záběh výroby a vlastní výroba.

Rozsah a detailnost investičního plánování závisí na významu a finanční náročnosti projektu. Malé investice realizované živnostníky mohou být rozhodnuty jednodušeji bez použití rozhodovacích metod, zatímco velké investice vyžadují podrobné analýzy a rozhodování vyšších orgánů společnosti [51].

4.3 Financování investic

Obecně lze financování podnikových investic definovat jako proces zajišťování finančních zdrojů (peněz a kapitálu) potřebných pro založení, provoz a rozvoj podniku v požadovaném objemu, čase a struktuře za optimální náklady na jejich získání a využití. Financování investic se zaměřuje na shromažďování a optimální kombinaci různých forem finančních zdrojů určených k financování konkrétních podnikových investic [52].

Vyhodnocení finální efektivity investic je zásadním faktorem při posuzování zdrojů financování projektu. Pro dosažení stability projektu je navrhována investiční struktura s co nejnižšími kapitálovými náklady [53]. Mimo jiné dodržení zlatého bilančního pravidla při financování investic je klíčové. Pravidlo poukazuje na to, že dlouhodobý hmotný majetek by měl být financován dlouhodobými zdroji [54].

Existuje více způsobů dělení zdrojů financování. Mezi nejpoužívanější se řadí klasifikace dle vlastnictví na vlastní a cizí kapitál, také podle původu zdrojů na externí a interní [50].

Mezi vlastní zdroje financování patří vklady vlastníků, odpisy, nerozdělený zisk, výnosy z prodeje hmotného majetku apod. Do cizích zdrojů se řadí investiční úvěry, dlouhodobé rezervy, obligace, leasing, rizikový kapitál, dotace ze státního nebo místního rozpočtu a prostředky EU fondů. V současném finančním prostředí jsou banky hlavním zdrojem externího kapitálu pro podniky při financování jejich investičních aktivit. Banky při vyjednávání o úvěru vyžadují podnikatelský plán podložený detailním rozpočtem. Podnik při žádosti o úvěr předkládá bance následující informace: specifický účel půjčky, stupeň zadlužení podniku, schopnost podniku pravidelně splácet úroky a půjčku a adekvátní záruky pro případ, že podnik zanikne nebo přeruší svou činnost [51].

Mezi externí zdroje financování se též řadí přímé investiční podpory, které zvyšují finanční zdroje podniku na investice. Jedná se zejména o podpory prostřednictvím dotací ze státního rozpočtu, různých státních fondů nebo rozpočtů samosprávných územních celků. Jejich charakter je obvykle specifický a účelově zaměřený. Částka dotace je buď stanovena pevně, nebo je určena jako určitý podíl z celkových nákladů na investici. Pro získání investiční dotace musí podnik podat žádost v souladu s vyhlášenými dotačními programy [54].

4.4 Hodnocení efektivnosti investic

Hodnocení efektivnosti investic je základním pilířem při rozhodování o alokaci finančních prostředků do investičních projektů. Investice představuje odloženou spotřebu za účelem získání budoucích přínosů. V podnikatelském prostředí představuje investice vynaložené zdroje, které budou generovat finanční příjmy v průběhu delšího časového období. Při hodnocení efektivnosti investic jsou kromě očekávaných výnosů brána v úvahu i rizika spojená s investicí a doba, za kterou se očekává, že budou výnosy získány [51].

Rozhodování o investicích zahrnuje stanovení zdrojů financování a posouzení efektivnosti investice s ohledem na různá finanční kritéria. Při hodnocení efektivnosti investice se hledí zejména na:

- Výnosnost (rentabilita): Poměr mezi očekávanými čistými peněžními příjmy (cash flow) a náklady spojenými s pořízením a provozem investice;
- Rizikovost: Stupeň nejistoty ohledně dosažení očekávaných výnosů;
- Doba splacení (tzv. stupeň likvidity investice): Časové období, během kterého se investice vrátí v podobě peněžních prostředků [51].

Ideální investice kombinuje vysokou výnosnost, nízké riziko a krátkou dobu splacení. Nicméně, tato kritéria mohou být protichůdná: investice s vysokou výnosností obvykle nese vyšší riziko a naopak. Hlavním prvkem hodnocení investic je porovnání vynaloženého kapitálu s očekávanými výnosy investice.

PRAKTICKÁ ČÁST

5 Legislativní rámec pro obnovitelné zdroje energie v České republice

Legislativní rámec OSN a EU lze rozložit do 4 dokumentů. Těmi jsou Kjótský protokol, Pařížská dohoda, Bílá kniha o energetické politice EU a Směrnice ErP (EU) 2018/2001. Kjótský protokol uvedl jako cíl snížení emisí skleníkových plynů o 8 % v roce 2008 až 2012 v porovnání s rokem 1990. Pařížská dohoda má za cíl udržet nárůst globální průměrné teploty pod hranicí 2 °C s platností po roce 2020. Bílá kniha o energetické politice EU je zavedena jako nástroj ke snížení energetické závislosti EU a zároveň jako prostředek k ochraně životního prostředí a diverzifikace energetických zdrojů. Směrnice ErP (EU) 2018/2001 stanovuje společný rámec pro OZE. Pro ČR je stanovena hodnota 13 % do roku 2020. Zároveň směrnice nahrazuje od 1.7. 2021 směrnici 2009/28/ES. Rovněž nastavuje podíly výroby ČS EU z OZE v roce 2030 ve výši 32 %.

Právní úpravu ČR lze rozdělit na 5 kategorií. Obnovitelné zdroje energie stanovuje zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a souvisejících předpisech. Tento zákon upravuje podporu elektřiny, tepla a biometanu z obnovitelných zdrojů energie, druhotných energetických zdrojů, vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a decentrální výroby elektřiny. Dále se k této problematice vyjadřuje zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). Zákon v oblasti elektroenergetiky, plynárenství a teplárenství v České republice prošel od svého schválení v roce 2001 více než 30 novelami. Tři z těchto novel transponovaly první, druhý a třetí balíček energetických předpisů Evropské unie do českého práva. Konkrétně se jednalo o novelu č. 670/2004 Sb., která transponovala první balíček energetických předpisů EU, novelu č. 158/2009 Sb., která transponovala druhý balíček energetických předpisů EU, a novelu č. 211/2011 Sb., která transponovala třetí balíček energetických předpisů EU. Základem třetího balíčku EU byly směrnice 2009/72/ES a 2009/73/ES a nařízení (ES) č. 714/2009 a 715/2009. Tyto předpisy stanovily společná pravidla pro vnitřní trh s elektřinou a zemním plynem a podmínky přístupu k nim. V roce 2019 byly tyto evropské předpisy v oblasti elektroenergetiky nahrazeny novou sadou předpisů nazvanou "Čistá energie pro všechny Evropany". Tato změna byla motivována novým pojetím energetického trhu a klimatickými cíli EU, s důrazem na rozvoj obnovitelných zdrojů energie a snižování emisí skleníkových plynů [55].

V právní úpravě se setkáme i se zákonem č. 283/2021 Sb., stavební zákon. Zákon ze dne 13. července 2021, nazvaný "Stavební zákon", upravuje oblasti stavebního řádu, územního plánování a působnost orgánů souvisejících s těmito oblastmi. Jeho hlavním cílem je zajistit integrovanou ochranu veřejných zájmů při územním plánování, povolování staveb a výstavbě, s důrazem na udržitelný rozvoj území a zlepšování kvality stavebního prostředí a architektury. Zákon stanovuje požadavky na výstavbu, podmínky pro projektovou činnost, vyvlastnění a pravomoci inspektorů [56]. Další nezbytnou úpravou se zabývá zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně a souvisejícími předpisy, kdy účelem zákona je vytvořit podmínky pro účinnou ochranu života a zdraví občanů a majetku před požáry a pro poskytování pomoci při živelních pohromách a jiných mimořádných událostech. Bezpečnosti se týká rovněž zákon č. 250/2021 Sb., zákon o bezpečnosti práce v souvislosti s provozem vyhrazených technických zařízení a o změně souvisejících zákonů [57, 58]. Právní úpravu v ČR lze tedy rozdělit na legislativní rámec pro obnovitelné zdroje, elektrické zdroje, stavební zákon a na bezpečnost zaměřené zákony o požární ochraně a bezpečnosti práce.

5.1 Podpora obnovitelných zdrojů energie a regulace

Rozvoj obnovitelných zdrojů energie (OZE) v České republice má rostoucí tendenci. Podle dat Českého sdružení regulovaných elektroenergetických společností (ČSRES) bylo ke konci roku 2023 zaregistrováno více než 167 tisíc připojených fotovoltaických elektráren (FVE). Z toho více než 116 tisíc FVE se připojilo od začátku roku 2022. S nárůstem počtu nových fotovoltaických elektráren se podařilo České republice předčasně splnit cíl o zřízení FVE na sto tisíce střech do roku 2025. Kvůli tomu došlo k nárůstu celkového výkonu připojených FVE v ČR na 3,5 GW.

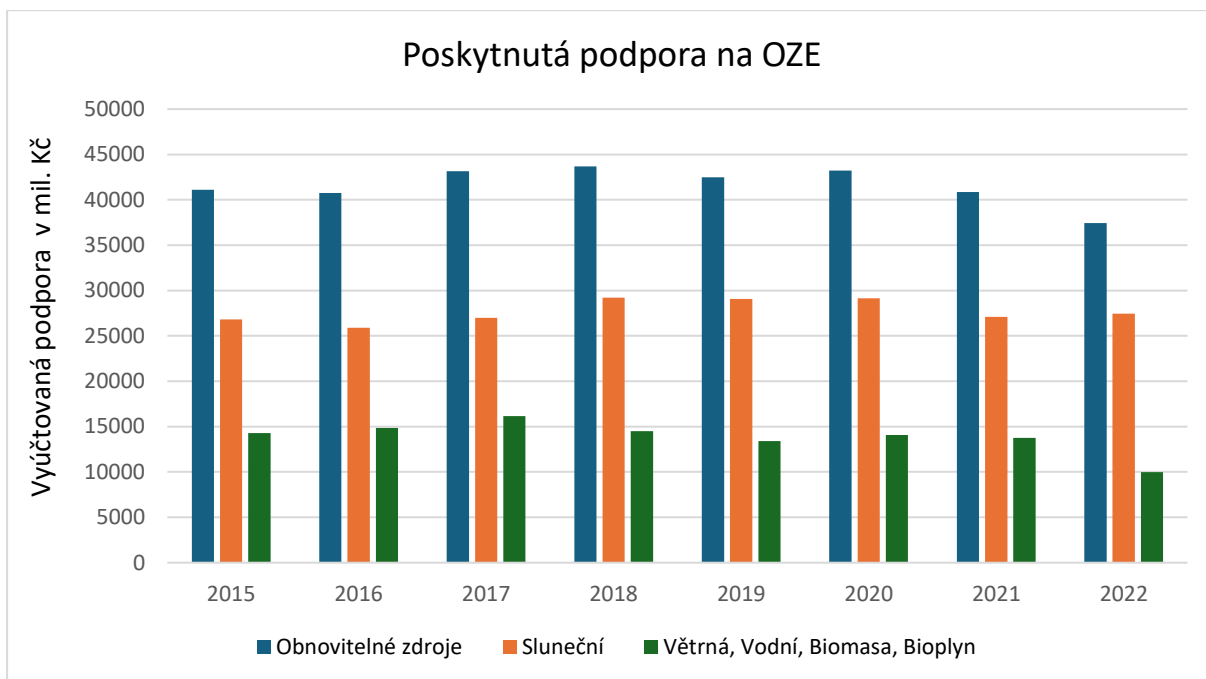
Mezi opatření podporující rozvoj OZE lze zařadit zejména navýšení limitu výkonu pro menší zdroje elektřiny z 10 kW na 50 kW, včetně solárních elektráren. Tento krok umožňuje domácnostem a firmám nainstalovat elektrárny s větším výkonem, aniž by museli získat licenci na výrobu elektřiny. Kromě toho byly obnovitelné zdroje s výkonem do 50 kW osvobozeny od stavebního povolení, ohlášení stavby, rozhodnutí o umístění stavby a územního souhlasu. Dále byly zdroje do 100 kW zařazeny mezi jednoduché stavby, což umožnilo zkrácení povolovacích lhůt ve stavebním řízení.

Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO) připravuje další reformy v oblasti české energetiky. Jedním z dalších kroků je zavedení komunitní energetiky prostřednictvím novely energetického zákona LEX OZE II. Na základě této iniciativy vznikne energetické společenství, které umožní sdílení vyrobené elektřiny mezi jejími členy. Komunitní energetika má potenciál snížit výdaje za energie a posílit energetickou nezávislost společnosti, a to prostřednictvím většího využití obnovitelných zdrojů energie.

MPO také podporuje posílení regionálních distribučních sítí a navýšení jejich kapacity pro připojení OZE. Dne 21. 12. 2023 Ministerstvo průmyslu a obchodu vyhlásilo výzvu "Výstavba, rekonstrukce a modernizace distribučních sítí – I. výzva" v rámci Národního plánu obnovy, kde je pro provozovatele sítí k dispozici 6,7 mld. Kč [62].

Tabulka č. 4 – Poskytnutá podpora na obnovitelné zdroje energie [59]

Rok	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Vyúčtovaná podpora v mil. Kč								
Obnovitelné zdroje	41 098	40 752	43 154	43 689	42 475	43 218	40 841	37 452
Sluneční	26 804	25 911	27 002	29 203	29 076	29 147	27 084	27 461
Větrná, Vodní, Biomasa, Bioplyn	14 294	14 841	16 152	14 486	13 399	14 071	13 757	9 991



Graf č. 1 – Poskytnutá podpora na OZE v rozmezí let 2015 až 2022

OZE není podporováno jen MPO, ale také Ministerstvem životního prostředí (MŽP), které spustilo navazující program Nová zelená úsporám a zaznamenalo obrovský zájem domácností o částečné renovace jejich rodinných domů. V reakci na tento vývoj MŽP rozhodlo o navýšení finanční podpory domácností o dalších 10 mld. Kč z Modernizačního fondu. Zároveň došlo k optimalizaci podpory fotovoltaických systémů na rodinných domech. Žadatelé dosáhnou na vyšší podporu o 40 tis. Kč pokud spojí instalaci fotovoltaické elektrárny s realizací zateplení. Toto navýšení alokace zajistí podporu pro dalších více než 50 tisíc domácností. Tyto změny neovlivní programy jako Oprav dům po babičce, NZÚ Light nebo podpory pro bytové domy. Limity dotací byly upraveny podle aktuální situace na trhu, ale míra podpory zůstane zachována na 50 % způsobilých výdajů [60].

Níže jsou v bodech uvedeny novinky v podpoře fotovoltaiky od 15. února 2024:

- Dotace až 200 000 Kč za instalaci fotovoltaiky v kombinaci se zateplením, s bonusy až 40 000 Kč.
- Dotace až 160 000 Kč za instalaci fotovoltaiky bez zateplení.
- Změna jednotkové výše dotace na fotovoltaické elektrárny, kde základní podpora činí 35 000 Kč, nebo 60 000 Kč při využití tepelného čerpadla, a 8 000 Kč za každý kWp instalovaného výkonu či každý kWh el. akumulárního systému.
- Dotace až 125 000 Kč na tepelné čerpadlo s ohřevem vody připojené na fotovoltaiku.
- Omezení maximálního rezervovaného výkonu pro připojení do sítě na 50 % maximálního výkonu fotovoltaických elektráren.
- Nově je zaveden bonus ve výši 10 000 Kč za fotovoltaické elektrárny, které zajišťují ohřev vody [63].

Nová zelená úsporám (NZÚ) pro rodinné domy Standard je dotační program určený pro vlastníky stávajících domů využívaných k trvalému bydlení, vlastníky řadově uspořádaných vymezených bytových jednotek (tzv. řadové domky) a příspěvkové organizace zřízené územními samosprávnými celky.

Program NZÚ pro rodinné domy Standard poskytuje širokou škálu dotací zaměřených na ekologické a energeticky úsporné opatření v domácnostech. Mezi hlavní oblasti podpory patří:

- Zateplení
- Využití tepla z odpadní vody
- Fotovoltaické systémy
- Dešťovka – dešťová a odpadní voda
- Elektromobilita
- Dotační bonusy
- Zelená střecha
- Kotle, kamna a tepelná čerpadla
- Novostavba
- Příprava teplé vody, solární ohřev
- Řízené větrání s rekuperací

Vzhledem k charakteru práce jsou níže popsány dotace NZÚ věnující se FVE a tepelným čerpadlům i s částkami, které žadatelé mohou obdržet v jednotlivých kategoriích. V rámci programu NZÚ je poskytována dotace na instalaci domácí solární fotovoltaické elektrárny propojené s distribuční soustavou. Elektrická energie vyrobená tímto způsobem je preferenčně využívána v domácnosti [61].

Výše poskytované dotace se odvíjí od několika faktorů:

- Základní podpora ve výši 35 000 Kč
- Základní podpora s využitím tepelného čerpadla ve výši 60 000 Kč
- Další podpora ve výši 8 000 Kč za každý kWp instalovaného výkonu
- Další podpora ve výši 8 000 Kč za každý kWh elektrického akumulčního systému
- Dodatečný bonus ve výši 10 000 Kč za připojení bojleru o minimálním objemu 120 litrů
- Dodatečný bonus ve výši 30 000 Kč za kombinaci instalace fotovoltaického systému se zateplením domu

Minimální podporovaný instalovaný výkon je 2 kWp.

Blíže se zaměříme na dotace poskytované na výměnu neekologických kotlů na pevná paliva nižší než 3. třídy, kotlů na topné oleje, lokálních topidel (např. kamen) využívaných jako hlavní zdroj tepla za kotel na biomasu či tepelné čerpadlo a na výměnu plynových kotlů starších než 20 let a elektrického vytápění za tepelné čerpadlo jsou důležitou součástí programu podpory ekologických technologií.

Podpora poskytovaná v rámci této iniciativy se liší podle typu tepelného čerpadla a jeho funkce:

- Tepelné čerpadlo vzduch-voda pro vytápění – 80 000 Kč
- Tepelné čerpadlo vzduch-voda pro vytápění a přípravu teplé vody – 100 000 Kč
- Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch pro vytápění - 60 000 Kč
- Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch pro vytápění a přípravu teplé vody – 80 000 Kč
- Tepelné čerpadlo země-voda, voda-voda pro vytápění – 120 000 Kč
- Tepelné čerpadlo země-voda, voda-voda pro vytápění a přípravu teplé vody – 140 000 Kč
- Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch nebo vzduch-voda pro vytápění a přípravu teplé vody připojené k fotovoltaickému systému – 125 000 Kč

Kromě toho je možné získat další finanční podporu ve výši 40 000 Kč na napojení na soustavu zásobování teplem. Tato iniciativa představuje efektivní krok směrem k ekologičtějšímu a udržitelnějšímu způsobu vytápění a přípravy teplé vody v domácnostech.

Pro žádost o tuto dotaci je nutné využít výhradně elektronický systém AIS SFŽP ČR a žádost může být podána před zahájením, v průběhu nebo po dokončení prací [61].

5.2 Bezpečná instalace FVE dle legislativy ČR

Instalace solárního fotovoltaického systému přináší řadu technických a bezpečnostních výzev. Velká část se týká rizik spojených s elektřinou pod napětím, jelikož solární fotovoltaické panely nelze vypnout. Montážní firma se také potýká s nebezpečím manipulace s potenciálně velkým a těžkým zařízením ve výškách a také se zajištěním toho, aby instalace solárního fotovoltaického systému neměla negativní dopad na pevnost a integritu konstrukce budov, především střechy, kde má být systém namontován. Stavební předpisy se týkají takových aspektů stavebnictví, jako je úspora paliva, likvidace elektrického odpadu, podpora obnovitelných zdrojů, přístupnost a použitelnost budov, ale jejich prvořadým zájmem je bezpečnost lidí. Podmínky pro bezpečné provozování FVE v ČR upravuje řada směrnic a zákonů, z nichž nejdůležitější budou shrnuty v následujících podkapitolách [64].

5.2.1 Směrnice o elektrickém a elektronickém odpadu

Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2024/884 ze dne 13. března 2024 mění směrnici 2012/19/EC, známou také jako směrnice o elektrickém a elektronickém odpadu (WEEE). Podle této směrnice se sběr, skladování, přeprava, zpracování a recyklace odpadních elektrických a elektronických zařízení (OEEZ) provádí s ohledem na ochranu životního prostředí a lidského zdraví. Cílem těchto opatření je umožnit zachování surovin a recyklaci hodnotných zdrojů obsažených v těchto zařízeních za účelem zlepšení dodávek komodit v rámci Evropské unie. Preferovaným přístupem je opětovné použití celých elektrozařízení bez nutnosti recyklace. Fotovoltaické panely, které nespádaly do oblasti působnosti směrnice 2002/96/ES, byly zahrnuty do oblasti směrnice 2012/19/EC ode dne 13. srpna 2012 a jsou zařazené do kategorie 4 - Spotřební elektronika a fotovoltaické panely [65, 86].

5.2.2 Zákon o odpadech a výrobcích s ukončenou životností

Do 31. prosince 2020 platil zákon č. 185/2001 Sb., který upravoval nakládání s odpady. Nicméně od 1. ledna 2021 byl tento zákon nahrazen dvěma samostatnými legislativními dokumenty. Prvním z nich je zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech, který se zabývá obecným nakládáním s odpady. Druhým je zákon č. 542/2020 Sb., o výrobcích s ukončenou životností, který se zaměřuje na nakládání s elektroodpadem, bateriemi a akumulátory, pneumatikami a vozidly.

Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech stanovuje pravidla a směrnice týkající se řízení odpadů v souladu s právními normami Evropské unie. Cílem zákona je předcházet vzniku odpadů a zajistit, aby nakládání s nimi respektovalo ochranu životního prostředí, zdraví obyvatel a principy trvale udržitelného rozvoje. Zákon určuje přesné postupy pro nakládání s odpady od jejich vzniku až po jejich likvidaci či recyklaci. Dále upravuje práva a povinnosti subjektů zapojených do odpadového hospodářství, včetně podnikatelů, obyvatelstva a veřejných institucí.

Zákon č. 542/2020 Sb. o výrobcích s ukončenou životností představuje legislativní rámec v oblasti odpadového hospodářství. Jeho hlavním cílem je upravit tzv. rozšířenou odpovědnost výrobců, zejména v oblasti elektrozařízení, baterií, akumulátorů, pneumatik a vozidel. Zákon stanovuje povinnosti výrobců, dovozců a prodejců těchto výrobků, včetně elektrických a elektronických zařízení a baterií. Mezi základní povinnosti výrobců, dovozců a prodejců patří zajištění zpětného odběru elektrických a elektronických zařízení, přenosných baterií a akumulátorů z domácností, stejně jako informování konečných uživatelů o ekologickém způsobu likvidace vysloužilých zařízení a baterií. Zákon také klade důraz na zpracování odpadních elektrozařízení, která byla zpětně odebrána, za použití nejlepších dostupných technik. Dále ukládá výrobcům povinnost navrhovat a vyrábět výrobky s ohledem na jejich budoucí demontáž a materiálové využití [66, 67, 68].

5.2.3 Zákon o podporovaných zdrojích

Zákon č. 382/2021 Sb., zákon, kterým se mění zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony. Zákon č. 165/2012 Sb. začleňuje do legislativy o odpadech ustanovení, která se týkají likvidace fotovoltaických panelů. V souladu s výjimkou ze směrnice 2011/65/EU o omezení užívání nebezpečných látek v elektronických a elektrických zařízeních (RoHS) je možné uvádět na trh fotovoltaické panely obsahující toxické látky, jako je kadmium ve CdTe panelech či olovo v předchozích verzích panelů s články z krystalického křemíku (ovšem v současnosti je používáno jiné složení pájek s omezeným obsahem olova). Výrobci CdTe panelů zajišťují recyklaci na vlastních recyklačních zařízeních.

Zákon dále stanovuje, že zpětný odběr elektrozařízení a oddělený sběr elektroodpadu ze solárních panelů s celkovým instalovaným výkonem do 30 kWp musí být zajištěn prostřednictvím sítě míst pro zpětný odběr a oddělený sběr s dostatečnou četností a dostupností [69, 70, 87].

5.2.4 Bezpečnost a protipožární ochrana střešních instalací FVE

Fotovoltaické systémy se neustále osvědčují jako jedny z nejoblíbenějších zdrojů alternativní energie, v roce 2019 bylo ročně instalováno více než 120 GW celosvětově. Fotovoltaické systémy jsou za běžných provozních podmínek mimořádně bezpečné, pokud je instalují a udržují odborníci v souladu s elektrotechnickými předpisy a směrnici. S rostoucím rozšířením různých fotovoltaických systémů provozovaných jak na zemi, tak na střeších, a dokonce integrovaných do budov je však třeba vzít v úvahu riziko možného vzniku požáru v místech, kde jsou fotovoltaické systémy instalovány. Lze na bezpečnost FVE nahlížet stejně jako v případě každé elektrické sítě. V letech 1995-2012 bylo v Německu hlášeno 400 případů požárů, které se týkaly fotovoltaických systémů. Ve 180 případech byla zdrojem požáru jediná fotovoltaická součástka. Pro zdůraznění bezpečnosti FV systémů je nutno uvést, že těchto 180 případů představovalo méně než 0,1 % všech požárů v Německu za uvedené období [71].

Mezi bezpečnostní témata v protipožární ochraně FVE patří odpojení přímo u modulů. To přineslo bezpečnostní výhodu možnosti odpojení solárního generátoru přímo u modulů a tím zajistit stav izolace a stav bez napětí v případě nouze či oprav na instalaci. Odpojení je realizováno montážním prvkem, který zvyšuje investorovi pořizovací náklady. Do budoucna však přináší vyšší míru bezpečnosti. Problémem samotným je zakrývání střešních FV panelů. Střechy zakryté FV panely mohou při požáru fungovat jako poklop, který brání přístupu k požářišti. Elektroinstalace a některé prvky FVE jsou rovněž hořlavé, i přes snahu instalovat vše v materiálech odolných zahoření. Rostoucí trend instalací FVE,

rostoucí poptávka po FVE, společně s dotacemi a zdražováním elektrické energie dalo vzniknout mnoha firmám a velkému množství různých provedení modulů s různými způsoby montáže a upevnění. To ztěžuje vytvoření jednotných pokynů pro efektivní postup při požárních pracích. Tento rychlý vzestup množství montáží FVE má další důsledek a tím je nedostatek přesných návodů a obecně schválených postupů tzv. dobré praxe. To vede k chybám v instalacích, které mohou skončit požárem. S tímto souvisí i spoléhání se na osvědčené dodavatele, kdy služby mohou být plánovány až měsíce dopředu. To přináší čekání, což může být problematické, zejména v případě potřeby rychlého a bezpečného odstranění potenciálních požárních rizik. Lze konstatovat, že bezpečnostní a protipožární opatření při instalaci střešních FVE jsou komplexní a vyžadují pečlivou pozornost k detailům, standardizaci postupů a spolupráci s odborníky na požární ochranu [72].

5.2.5 Povolování a instalace fotovoltaických panelů na střeše budovy

V České republice podléhá instalace FVE pravidlům a postupům stanovených Českými technickými normami. Ty nejsou obecně závazné, závaznými se stávají v okamžiku jejich uvedení v dokumentu vztahujícím se k dané problematice. Poskytují pravidla a směrnice pro opakované používání s cílem dosáhnout optimálního uspořádání v daných souvislostech. Judikatura Nejvyššího soudu potvrdila, že České technické normy jsou považovány za kvalifikovaná doporučení, ačkoli jejich používání není obecně závazné. V některých případech může vzniknout povinnost dodržovat tyto normy, zejména na základě právních předpisů nebo smluvních vztahů [73].

Rokem 2016 vstupuje v platnost legislativní omezení dané profesní kvalifikací. Od té doby je stanoveno, že instalovat fotovoltaická zařízení smí pouze osoba autorizovaná s profesní kvalifikací označenou jako Elektromontér fotovoltaických systémů. Dále se k FVE vztahuje stavební zákon a územní souhlas. Jedná se o odstavec § 96 Územního souhlasu, který specifikuje, že územní souhlas platí 2 roky od vydání, a jeho platnost nelze prodloužit. Územní souhlas není nutný pro stavební záměry uvedené v § 103, zejména pokud jsou umístěny ve vzdálenosti od společných hranic menší než 2 m. Stavební zákon, odstavec 1 Stavby nevyžadující stavební povolení, se vyjadřuje tak, že fotovoltaické stavby pro výrobu energie s celkovým instalovaným výkonem do 20 kW nevyžadují stavební povolení ani ohlášení stavebnímu úřadu. Legislativní rámec v České republice reguluje instalaci fotovoltaických panelů, a je třeba dodržovat příslušné normy, zákony a postupy [72].

5.2.6 ČSN 73 0834 Požární bezpečnost staveb – Změny staveb

Instalace fotovoltaických panelů na střeších budov v České republice podléhá přísným požárním bezpečnostním opatřením a posouzení rizik. Mezi podstatné body patří *posouzení požárního zatížení*, kdy projektant nebo zpracovatel požárně bezpečnostního řešení musí posoudit, zda instalace fotovoltaických panelů významně zvyšuje požární zatížení budovy. Posouzení zahrnuje množství hořlavých látek, které mohou podporovat rozvoj a šíření požáru. Dále se *klasifikují FV panely* dle třídy reakce na oheň. Zařazují se do třídy A1 nebo A2.

Riziko se zvyšuje, pokud jsou komponenty klasifikovány třídou B až F. Je nutné brát v úvahu odstupové vzdálenosti a možné uvolněné teplo. ČSN 73 0834 se zabývá *střešním pláštěm*, projektant zhodnotí střešní plášť z hlediska šíření požáru. V případě hořlavých střešních plášťů je třeba zajistit, aby odpovídaly požadované klasifikaci. Pokud střešní plášť není nehořlavý, je nutné, aby kabely byly třídy reakce na oheň B2CA s1 d0. Prostupy *elektrických rozvodů* stavebními konstrukcemi musí být

dotěsněny v souladu s příslušnou technickou normou, což pomáhá omezit šíření požáru v objektu. Je stanoveno, že funkčnost požárně bezpečnostních zařízení má nejvyšší prioritu. Rovněž prioritní je použití kabelů, které eliminují ve smyslu požární bezpečnosti negativní vliv na lidské zdraví [72, 84].

5.2.7 ČSN 73 0848 Požární bezpečnost staveb – Kabelové rozvody

Při návrhu kabelových tras pro fotovoltaické systémy je nutné brát v úvahu několik klíčových požadavků na zajištění bezpečného vypnutí elektrické energie v případě požáru a usnadnění intervence jednotek integrovaného záchranného systému (IZS). ČSN 73 0848 stanovuje pojem *bezpečné vypnutí (vypojení)*, kdy kabelové trasy musí být navrženy tak, aby bylo možné bezpečně vypnout nebo vypojit elektrickou energii v objektu. Dále stanovuje pojmy *centrální vypnutí* (ang. central stop) a *celkové vypnutí* (ang. total stop). V případě požáru je důležité mít možnost centrálního vypnutí elektrických zařízení, což zahrnuje i možnost celkového vypnutí. Funkčnost těchto prvků je vhodná i pro údržbu FVE. V neposlední řadě je dbáno na *snadný přístup*, viditelné a srozumitelné *označení a ochranu*. Vypínací prvky *central stop* a *total stop* musí být snadno přístupné pro intervenující jednotky IZS, aby mohly rychle a efektivně zasáhnout v případě potřeby. Taktéž by tyto prvky měly být řádně označené, aby bylo jasné, k jakým činnostem slouží a měly by být chráněny proti zneužití, aby nedocházelo k náhodnému nebo záměrnému vypnutí elektrických zařízení [72, 85].

5.2.8 ČSN 73 0802 ed. 2 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty a ČSN 73 0804 ed. 2 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty

Norma ČSN 73 0802 ed. 2 a norma ČSN 73 0804 ed. 2 stanovují nutnost posouzení elektrických zařízení v objektu napájeném fotovoltaickými panely, pokud nejsou k dispozici požárně bezpečnostní zařízení nebo technická a technologická zařízení, která nelze v případě požáru vypnout. V normách se stanovuje *posouzení elektrických zařízení*. V případě absence požárně bezpečnostních zařízení nebo technických zařízení, která nelze při požáru vypnout, je nutné provést posouzení elektrických zařízení podle norem ČSN 73 0802 a ČSN 73 0804, čl. 12.9.3 a 13.10.3. Další bod se týká *souvisejících staveb*, kdy související stavby, jako například trafostanice, musí být z hlediska požární bezpečnosti posouzeny podle relevantních norem. ČSN stanovuje *označení el. zařízení*, tedy rozvodná zařízení elektrické energie a hlavní vypínače elektrického proudu musí být označena podle § 11 odst. 2 písm. f) vyhlášky č. 246/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů. V neposlední řadě stanovuje postup pro *umístění FVE na volném prostranství*. V případě umístění fotovoltaických panelů na volném prostranství lze toto zařízení v souladu s ČSN 73 0804 považovat za otevřené technologické zařízení. Je důležité dodržet odstupovou vzdálenost minimálně 6,5 metru, případně vypočítat odstupovou vzdálenost na základě normy, aby bylo možné minimalizovat riziko šíření požáru [72, 74, 75, 83].

5.2.9 Základní pravidla při posuzování FVE

Základní pravidla na požární bezpečnost při instalaci fotovoltaických panelů na střeších objektů stanovují postupy. Mezi podstatné body patří *stavební povolení* či *ohlášení*. Instalace fotovoltaických systémů na střeších existujících objektů může negativně ovlivnit požární bezpečnost, stabilitu a vzhled stavby. Z tohoto důvodu by mělo být vyžadováno stavební povolení nebo ohlášení podle § 103 stavebního zákona. Posuzuje se *riziko úrazu el. proudem*, kdy zasahující složky IZS mohou čelit riziku úrazu elektrickým proudem při hašení objektů vybavených fotovoltaickými panely. To může být způsobeno obtížným odpojením částí zařízení, které nelze vypnout, a tudíž některé části zůstávají pod

napětím. Fotovoltaická zařízení na rodinných domech mohou dosahovat napětí vyššího než 400 V. V některých případech může být napětí dokonce 600 až 800 V. Za život ohrožující se obecně považuje hodnota proudu procházející lidským tělem při napětí vyšším než 50 V AC. Pro běžné, normální vnitřní prostory v objektech jsou stanovena tzv. bezpečná napětí, do 50 V střídavého a 120 V stejnosměrného napětí. Česká republika reguluje hašení fotovoltaických zařízení metodickými směrnicemi Ministerstva vnitra, tj. generálního ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. Tyto směrnice stanovují, že zasahující jednotky musí postupovat s nadstandardní obezřetností. Je vyžadována *dokumentace technologie*. Projektant požární ochrany (PO) je povinen začlenit do požárně bezpečnostního řešení požadavek na vypracování jednoduché dokumentace s technickým schématem technologie, zakreslením vypínačů a dalších informací. Taktéž jsou stanoveny *požadavky pro projektovou dokumentaci*. Během posuzování střešního pláště se musí zjistit, zda je hořlavý, a v případě potřeby je nutné použít nehořlavé kabely. Projektová dokumentace musí zahrnovat zjednodušené schéma a popis vypínání technologie. *Přejímka technologie* musí být oznámena i odboru IZS (Integrovaný záchranný systém). Při přejímce jsou kontrolovány splněné požadavky a dokumentace [72, 76, 77, 78, 79, 80].

5.2.10 Ochrana před bleskem

Hromosvody (a doprovodný ochranný systém) jsou určeny k ochraně domu nebo budovy před přímým úderem blesku a zejména před požárem způsobeným bleskem. Hromosvody zachycují úder blesku, zajišťují vodivou cestu pro škodlivý elektrický výboj a bezpečně rozptylují energii do země přes uzemňovací síť. Jednotlivé součásti musí být řádně propojeny, aby se minimalizovala možnost vzniku jakýchkoli jisker nebo bočních záblesků. Hromosvody pomáhají chránit stavbu před přímým úderem blesku a jsou doplňovány systémem ochrany před elektrickým přepětím a možným požárem způsobeným bleskem pronikajícím do stavby prostřednictvím vodičů. Kompletní systém zahrnuje také zařízení na ochranu před elektrickým přepětím pro přírodní elektrické, datové a komunikační vedení a zařízení na ochranu před přepětím pro zranitelné spotřebiče. Ochrana před bleskem může být nutná také pro plynové potrubí [81].

Každý *projekt požárně bezpečnostního řešení* musí být zpracován odborně způsobilou osobou a musí být schválen hasičským záchranným sborem kraje. Nedostatky v legislativě ČR však vedou k tomu, že pro realizaci fotovoltaiky není vyžadován projekt. Přitom právě v projektu jsou obsaženy navržené způsoby *postupu při hašení* zohledňující fyzikální vlastnosti fotovoltaických panelů. Tyto postupy jsou nutné, jelikož i po odpojení od napájecí sítě zůstává objekt s fotovoltaickými panely pod napětím.

Podmínkou pro instalaci FV panelů je instalace hromosvodu. Instalaci hromosvodu předchází návrh hromosvodu, včetně svodičů bleskových proudů a přepětových ochran. V návrhu je uvedena analýza rizika podle ČSN EN 62 305–2, edice 2. Hromosvod v první řadě chrání před *bleskovým úderem*, jehož vinou vznikaly požáry staveb v minulosti. V průběhu času se začaly objevovat škody způsobené *přepětím*, které mohou mít za následek závažnější poškození budov než samotný požár [82].

5.2.11 ČSN EN 62 305 – ed. 2 Ochrana před bleskem – Část 2, 3 a 4

ČSN EN 62 305 – ed. 2 se vztahuje k projektu hromosvodu a elektrické instalace ve spojitosti s fotovoltaickými elektrárnami. Stanovuje, že projekt hromosvodu a elektrické instalace musí být zpracován odborně způsobilou osobou, která splňuje nová pravidla a požadavky uvedené v zákoně č. 250/2021 Sb. od 1. 7. 2022. Vyjadřuje se ke změnám v odborné způsobilosti a to tak, že osoba znalá

pro řízení činnosti (vedoucí elektrotechnik) je nyní oprávněna provádět veškeré činnosti jako osoba znalá pro samostatnou činnost a projektování vyhrazených elektrických zařízení, což je změna oproti předchozím pravidlům. Dále je zmíněn vliv volby materiálů kabeláže a spojovacích materiálů na životnost a funkčnost FVE. Podstatný je i vliv UV záření zejména ve spektru ultrafialovém. UV záření způsobuje degradaci izolace kabelů, což může vést ke zkratům na propojovacích vedeních a zvyšovat riziko vzniku požárů. Doporučuje se používání vodičů a kabelů s odolností proti UV záření. Alternativou je použití ochranných trubek, chrániček, buď kovových nebo plastových, které jsou UV stabilní [82].

5.2.12 Montáž FVE na stávající objekty s hromosvodem

Dodatečná montáž fotovoltaických zařízení na střechy stávajících objektů klade na instalaci další nároky v oblasti bezpečnosti a úprav v elektrickém a ochranném systému. Před montáží fotovoltaického zařízení je důležité ověřit, zda je nově instalované zařízení v ochranném prostoru stávajícího hromosvodu. Pokud ne, mělo by být doplněno jímacími tyčemi tak, aby bylo zajištěno bezpečné odvádění bleskových proudů. Je nutno zjistit dostatečnou vzdálenost nově montovaných fotovoltaických zařízení od jímačů, jímacích vedení a případně svodů. Bezpečná vzdálenost může být specifická pro každý konkrétní objekt. Pokud není dostatečná vzdálenost dodržena, měly by se kovové části fotovoltaických zařízení propojit s hromosvodem. Vedení od fotovoltaických panelů ke střídači by mělo být opatřeno přepětovou ochranou třídy 1 a svodiči bleskových proudů. Svodiče by měly být umístěny těsně za vstupem vedení od panelů do objektu. Chybějící svodiče mohou být v případě úderu blesku příčinou zničení elektroniky v domě (indukované přepětí) a mohou zvýšit riziko vzniku požáru. Všechny úpravy na stavbě by měly být provedeny v souladu s platnými bezpečnostními normami a předpisy v oblasti elektroinstalací a ochrany před bleskem. Zajištění bezpečné montáže fotovoltaických zařízení zahrnuje nejen samotnou funkčnost systému, ale také preventivní opatření k minimalizaci rizik souvisejících s elektrickými a atmosférickými vlivy [72].

5.2.13 Vyhláška č. 114/2023 Sb., o požadavcích na bezpečnou instalaci výroby elektřiny využívající obnovitelné zdroje energie s instalovaným výkonem do 50 kW

Vyhláška č. 114/2023 Sb., o požadavcích na bezpečnou instalaci výroby elektřiny využívající obnovitelné zdroje energie s instalovaným výkonem do 50 kW, vydaná Ministerstvem průmyslu a obchodu ve spolupráci s Generálním ředitelstvím Hasičského záchranného sboru ČR ze dne 24. dubna 2023, nabývá účinnosti dnem 1. května 2023. Tato vyhláška stanovuje požadavky na bezpečnou instalaci výroby elektřiny využívající obnovitelné zdroje energie s instalovaným výkonem do 50 kW (dále jen „výrobní elektřina“). Vyhláška platí pro všechny zdroje OZE s instalovaným výkonem do 50 kW. Paragraf 2 se zabývá požadavky na materiálové provedení a stanovuje, že požadavek při provedení instalace výroby elektřiny umístěné na stavbě, která je budovou, je splněn, pokud je ve výrobní elektřině použit pouze fotovoltaický panel tvořený nehořlavou konstrukcí. Konstrukce, na níž je umístěn fotovoltaický panel, je z materiálu třídy reakce na oheň A1 nebo A2. Paragraf 3 stanovuje, že požadavek na bezpečné vypnutí a odpojení od elektrické instalace a distribuční soustavy je splněn vypínacím prvkem, který je umístěn na přístupném místě, označen a je zabráněno jeho volnému užití. Vypnutí a odpojení je zajištěno vypínacím prvkem umístěným v elektroměrovém rozvaděči. Požadavek na bezpečné provedení kabelového vedení výroby elektřiny je splněn následujícími požadavky, uvedenými v paragrafu 4:

- pro kabelové rozvody a úložný materiál pro vnější části kabelových rozvodů je použit materiál odolný proti ultrafialovému záření,
- rozvaděč, sběrač pro spojení kabelového rozvodu a střídač jsou umístěny na konstrukci třídy reakce na oheň A1 nebo A2.

Tyto požadavky se vztahují na všechny běžné FV moduly s krycím sklem a nosné konstrukce, zatímco u ostatních typů výroben elektřiny, než FVE se materiálové požadavky řeší příslušnými produktovými normami [88, 89, 90].

5.2.14 Konfederace evropských sdružení požární ochrany

Tématem bezpečnosti se zabývá i EU. Významná je Konfederace evropských sdružení požární ochrany (CFPA-Europe). Jedná se o sdružení 26 národních organizací v Evropě, které se zabývají především požární prevencí a ochranou, ale také bezpečností a dalšími souvisejícími riziky. Produkty CFPA-E jsou školení, vzdělávací standardy, směrnice a výměna informací. CFPA-E vydává zpravodaje a doporučení na evropské úrovni.

Z jejich doporučení lze jmenovat například Pokyn CFPA-E č. 37:2018 F - Fotovoltaické systémy: Doporučení týkající se prevence ztrát (orig. Photovoltaic Systems: Recommendations On Loss Prevention: CFPA-E Guideline No 37:2018 F). Evropská sdružení požární ochrany (CFPA-E) vypracovala společné pokyny pro jednotnou požární ochranu v celé Evropě. Tyto pokyny se zabývají požadavky trhu na kvalitu a bezpečnost, včetně dopadu přírodních rizik, jako je sucho. Byly formulovány skupinou pro přírodní rizika a jednomyslně přijaty členy CFPA-E. V případě kolize mají přednost národní požadavky. Fotovoltaické systémy se stále častěji instalují za účelem uspokojení poptávky po solární energii. Tyto systémy, zejména solární moduly namontované na budovách, jsou vystaveny různým povětrnostním podmínkám, jako je vítr, sníh, kroupy a výkyvy teplot. Cílem tohoto pokynu je poskytnout návod pro správný návrh, instalaci, provoz a údržbu, aby byl zajištěn bezpečný provoz fotovoltaických systémů, včetně úvah o požární ochraně.

Pokyn CFPA-E č. 37:2018 F - Fotovoltaické systémy: Doporučení týkající se prevence ztrát se vztahuje na fotovoltaické systémy připojené k síti instalované na budovách a zabývá se aspekty požární ochrany, protipožárními, mechanickými, elektrickými a bezpečnostními otázkami. Je určen projektantům, instalátorům, auditorům, provozovatelům fotovoltaických systémů a vlastníkům budov. Pravidelné revize a aktualizace budou prováděny na základě vývoje znalostí a zkušeností v oblasti prevence ztrát a řízení rizik, aniž by byly dotčeny právní předpisy. V rámci pokynu jsou definovány základní pojmy:

- Fotovoltaický systém připojený k síti (FV systém): Přeměňuje sluneční světlo na elektřinu pro vnitřní použití nebo pro dodávku do veřejné sítě. Na rozdíl od solárních tepelných systémů se fotovoltaické systémy skládají z několika komponent.
- Integrované fotovoltaické systémy v budovách: Fotovoltaické moduly integrované do pláště budovy, které slouží jak k výrobě elektřiny, tak ke stavebním účelům.
- Aditivní fotovoltaické systémy: Fotovoltaické moduly přidané k plášti budovy, upevněné rovnoběžně nebo pod úhlem ke střeše nebo fasádě.
- Montážní systém: Součásti používané k bezpečnému připevnění fotovoltaických modulů k budově, včetně nosných rámců a upevňovacích prvků.

Instalace fotovoltaických systémů zahrnuje různá nebezpečí vyplývající z chyb při plánování, instalaci a provozu. Vnější hrozby, jako je vítr, sníh, led, krupobití, blesk, požár, krádež a hlodavci, mohou rovněž ovlivnit jejich strukturu a funkci, což může mít dopad na výrobu energie a využití budovy. Požáry způsobené součástmi fotovoltaického systému mohou navíc poškodit přilehlé stavební konstrukce, jako jsou střešní krytiny a fasády. Při plánování, instalaci a provozu fotovoltaických systémů je nezbytné zajistit, aby nedošlo k negativnímu ovlivnění výkonu stavebních prvků, jako je střešní krytina nebo fasáda. Ochranná opatření musí být v souladu se stávajícími koncepcemi ochrany a užíváním budov a musí odpovídat přijatým pravidlům a normám. Efektivní konfigurace fotovoltaického systému vyžaduje vyjasnění polohy místa, rizik prostředí a dodatečných zátěží způsobených instalací. Tyto komplexní informace tvoří základ pro plánování, instalaci a údržbu. Plánování a instalace vyžaduje stabilní, elektricky bezpečné řešení, včetně požární ochrany. Projektanti a dodavatelé by měli mít potřebné odborné znalosti a všechny aspekty plánování a instalace musí být plně zdokumentovány. Fotovoltaické systémy a komponenty musí dodržovat uznávaná pravidla elektrické instalace a pokyny výrobce, včetně opatření na ochranu před bleskem a přepětím. Opatření k omezení šíření požáru prostřednictvím komponent fotovoltaického systému zahrnují správné instalační vzdálenosti, rozdělení instalačních ploch a dodržování protipožárních instalačních postupů. Před zahájením provozu by měla kompetentní osoba provést kompletní vizuální kontrolu, funkční zkoušky a kontrolu dokumentace systému. Termografické kamery mohou odhalit nedostatky a všechna zjištění by měla být zdokumentována. Provoz a monitorování spolu s pravidelnými kontrolami, údržbou a opravami by měli provádět kvalifikovaní elektrikáři. Pro měření povrchové teploty se stále častěji používá termografie, která pomáhá při identifikaci problémů. Fotovoltaické moduly nadále generují stejnosměrný proud, což potenciálně ztěžuje ruční hašení požáru. Hasiči by měli mít možnost odpojit napájení z fotovoltaických modulů pomocí určeného "hasičského vypínače" a měli by být vybaveni příslušným značením. Budovy s fotovoltaickými systémy by měly být jasně označeny a požární plány by měly obsahovat informace o vedení kabelů pro fotovoltaické systémy, které hasičům pomohou při taktickém rozhodování [91, 92].

6 Konkrétní objekt

V této části bude popsán konkrétní objekt, u něhož se provede návrh na snížení výdajů, a to plánovaným nákupem tepelného čerpadla spojeného s fotovoltaickou elektrárnou. Provedena bude analýza aktuálního technického stavu a energetického vybavení budovy. Zároveň budou vzaty v úvahu již provedené a do budoucna plánované rekonstrukce. Hodnocena bude i spotřeba energií za poslední rok.

6.1 Popis řešeného objektu

V daném objektu, složeného z budov do tvaru L se nachází obytná část a velká dílna sloužící k opravám osobních a menších nákladních vozidel, motorek, sekaček a dalšího drobného zahradního nářadí s motory dvoutaktními a většími. Obytná část, dle katastrální mapy na obrázku č. 11, se nachází na 2/3 na parcelním čísle st. 83/5. Pro lepší představu toto katastrální číslo vyznačeno fialově. Plocha přízemní obytné části činí necelých 100 m². To se liší od výpočtu na katastrální mapě na obrázku č. 12 o více jak 10 m² z důvodu širokých obvodových zdí jak obytné části, cca šířka zdiva 80 cm, tak i objektu dílny.

Informace o pozemku

Parcelní číslo:	st. 83/5
Obec:	██████████
Katastrální území:	████████████████████
Číslo LV:	██████
Výměra [m ²]:	774
Typ parcely:	Parcela katastru nemovitostí
Mapový list:	DKM
Určení výměry:	Graficky nebo v digitalizované mapě
Druh pozemku:	zastavěná plocha a nádvoří



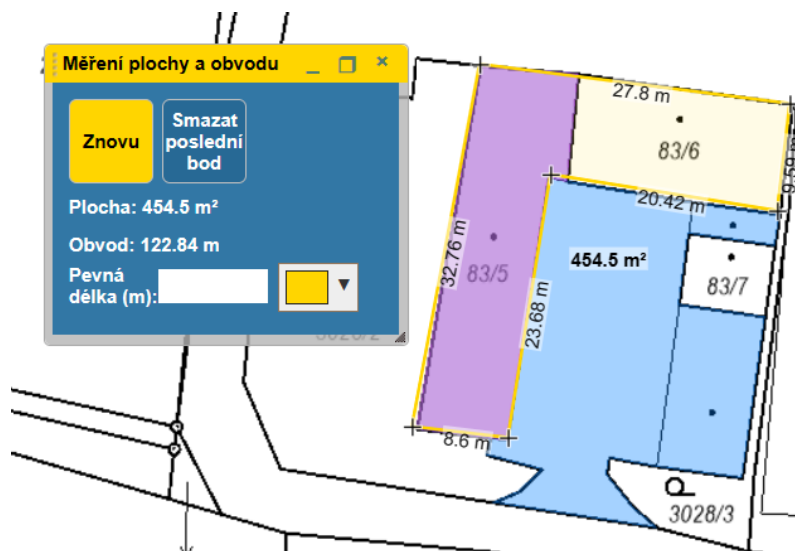
Součástí je stavba

Budova s číslem popisným:	██████████	rodinný dům
Stavba stojí na pozemku:	p. č. st. 83/5	
Stavební objekt:	██████	
Adresní místa:	██████████	

Obrázek č. 11 – Výpis z katastru nemovitostí [93]

Obytná část má rovněž podkroví o užitné ploše 80 m². Tedy plocha podlahová je 180 m². Dílna se nachází v objektu původní stodoly s podlahovou plochou 250 m². Zdivo objektů je složeno z kamenů a místy cihelné. Obvodové zdi nejsou zatepleny. Byla však zateplena střecha obytné části v předchozí rekonstrukci a zároveň byla nainstalována střešní okna. V obytné části po provedení kompletní rekonstrukce byly provedeny provětrávané podlahy se zateplením a přípravou na podlahové topení s úvahou do budoucna zakoupit jako zdroj TUV a otopné vody tepelné čerpadlo. Vytápění obytné části bylo dosud řešeno elektrokotlem do litinových radiátorů. Dílna má nezateplenou střechu a betonovou podlahu s epoxidovou hydrofobní úpravou z důvodu odolnosti a rovinnosti k požadovaným nárokům na servis vozidel. Vytápění probíhá kotlem na topný olej a případně elektrokotlem. Hodnocení technického stavu budov odpovídá letům výstavby obou budov, a to se datuje mezi lety 1850 až 1900. Původní zdivo bylo stavěno pouze z kamenů dostupných v polích, což je dáno geografickým umístěním staveb i geologickým podložím. Objekt se nachází v tábořské pahorkatině, podloží je skalnaté se zvýšenou hladinou radonu. Obytná část byla několikrát v průběhu posledního století přestavována

a dostavována. V roce 1924 byl zvedán krov. V zadní části obytné budovy byl během 80 let minulého století chlév, následně byl však přesunut a přestavěn na obytnou místnost. Nejednotnost zdiva odpovídá letům výstavby a následným částečným rekonstrukcím v průběhu let. Stodola, v níž se nachází dílna, neprošla významnými zásahy od doby výstavby a zdivo je převážně kamenné.



Obrázek č. 12 – Detail z výpisu z katastru nemovitostí

6.2 Náklady na provoz rodinného domu s autoservisem

Výše popsanou nemovitost lze rozdělit na obytnou část a část užívanou k provozu autoservisu. Obytná část má roční spotřebu elektřiny 21 700 kWh na vytápění a dalších 3 500 kWh na ohřev vody, dohromady tedy při úsporném režimu vytápění na 18 °C a ohřevu vody na 45 °C je roční spotřeba 25 200 kWh na obytnou část. Pokud připočteme náklady na osvětlení, spotřebiče a vaření, spotřeba elektrické energie se zvýší na 31 250 kWh za rok. Budova autoservisu, díky částečnému vytápění kotlem na topný olej, má náklady na elektrokotel pouze 11 450 kWh. Na provoz autoservisu je následně ročně potřeba 30 000 kWh. Spotřeba elektrické energie je přehledně zaznamenána v tabulce č. 5. Na spotřebě elektrické energie se značným způsobem podepisuje vytápění elektrokotlem.

Tabulka č. 5 – Roční spotřeba elektrické energie

Položka	kWh	Položka	kWh	Položka	kWh
Obytná část	31 250	Autoservis	41 450	Celkem	72 700
Vytápění	21 700	Vytápění	11 450		
Ohřev TUV	3 500	Provoz	30 000		
Provoz	6 050				

Při ceně 3,5 Kč za kWh se náklady na roční provoz dostanou na částku 254 450 Kč. Při ceně 4 Kč za kWh jsme však již na částce 290 800 Kč a pokud cena stoupne na 5 Kč za kWh, pak se dostávají náklady na elektřinu k ceně 363 500 Kč. Aktuální cena na trhu ve VT však dosahuje na 6,44 Kč za kWh a tedy náklady odpovídají ceně 458 188 Kč. Ceny, pokud není uvedeno jinak, jsou již s DPH.

6.3 Výběr tepelného čerpadla

Ve stávající konfiguraci je nejméně efektivní vytápění elektrokotlem. Ty jsou v popsané nemovitosti primárním zdrojem pro vytápění a TUV. Jsou jednou z nejlevnějších variant, pokud se podíváme na pořizovací náklady, z dlouhodobého hlediska však nepřinášejí žádnou úsporu ani efektivitu. Z toho důvodu bude navržena jiná technologie pro vytápění budov a ohřev TUV pro užitek jak domácnosti, tak autoservisu. Tepelné čerpadlo je jedna z nejdražších variant z pohledu pořizovacích nákladů. V průběhu let v provozu však v závislosti na COP je schopno z 1kWh ze sítě či z fotovoltaické elektrárny generovat ekvivalent 2,5 – 4 kWh. Efektivita se projevuje v závislosti na druhu tepelného čerpadla a vnějších hydrometeorologických podmínkách, lze však počítat s poměrem elektrické energie spotřebované versus generované jedna ku třem. Celkově lze očekávat, že investice do tepelného čerpadla pro objekt v Jižních Čechách bude dlouhodobě finančně výhodná, přinášející úspory v provozních nákladech a přispívající k udržitelnějšímu provozu podniku. Přesné finanční náklady a úspory budou záviset na konkrétních podmínkách provozu a místních energetických cenách [97].

Na trhu se nachází široká nabídka tepelných čerpadel. Základním třídícím parametrem je technologie. Přestože tepelná čerpadla voda-voda či země-voda jsou efektivnější a mají o něco delší životnost, jejich pořizovací náklady jsou v řádu o 100 000 Kč dražší na zařízení. Dále se tato investice navyšuje o terénní úpravy. Z toho důvodu byla vybrána technologie snazší na instalaci, a i méně finančně náročná. Jedná se o technologii vzduch-voda. V této kategorii byly do tabulky seřazeny pro porovnání TČ této technologie od výrobců NIBE, Alpha Innotec, IVT, Schlieger a ACOND.

Tabulka č. 6 – Porovnání základních hodnot u TČ různých výrobců

Výrobce	Typ	Tepelný výkon A2/W35 [kW]	COP A2/W35	Hladina akustického výkonu max. [dB(A)]
Alpha-Innotec	Hybrox 11 [98]	11	4,3	60
	Hybrox 16 [98]	13	4,1	60
	LW 180A [109]	17,2	3,6	52
ACOND [94]	Grandis-N [107]	7,7	5,54 (COP A7/W35)	47,6
	Grandis-R [106]	17	5,52 (COP A7/W35)	49,2
	Grandis-L [96]	29	5,15 (COP A7/W35)	46,1
SCHLIEGER	Premium X-11 [101]	11,4		45
	Premium X-21 [100]	21,5		48
NIBE [102]	F2120-8	6,3	4,43	53
	F2120-12	9,2	4,27	53
	F2120-16	13	4,36	53
	F2120-20	16	4,22	53
IVT [103, 105]	AIR X 70	8,45	5,16	47
	AIR X 90	11,92	4,93	48
	AIR X 130	14,52	4,45	53
	AIR X 170 [95]	17,7	4,85	53

Z tabulky č. 6 vyplývá několik podstatných faktů. Prvním jsou relativně vyrovnané hodnoty COP, byť je nutno uvést, že výrobci do dokumentace uvádějí měření při několika různých venkovních teplotách, mnohdy se však postup měření mezi výrobci neshoduje či není jednoznačně uveden. Hodnoty

akustického výkonu mohou ovlivnit, kam bude vnější jednotka umístěna. Při vyšších hodnotách akustického výkonu může dojít k rušivému efektu a je nutno umisťovat vnější jednotku ve větší vzdálenosti od sousedních staveb.

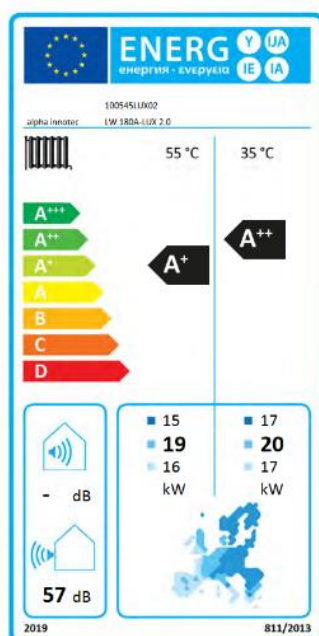
Pro výběr tepelného čerpadla je nutné udělat rozvahu. Jedná se o kamenný rodinný dům po rekonstrukci s autodílnou. V domě trvale žijí 4 lidé. Tepelná ztráta byla odhadnuta vzhledem ke starší stavbě z kamenů a cihel, bez zateplení a s novými okny a střechou, při podlahové ploše nad 400 m² na 17 kW. Tepelná čerpadla se využívají jako zdroj tepla pro vlastní objekt a pro ohřev teplé užitkové vody (TUV). Podle počtu trvalých residentů lze dopočítat výkon potřebný k ohřevu vody, obecně se uvažuje 250 W na osobu, v našem případě se jedná o 1 kW na TUV. Denní ohřev byl spočítán na 250 litrů teplé vody a celkovou roční potřebou tepla 39 350 kWh. Do výběru vstupuje rovněž teplotní charakteristika dané části ČR. Výrobce TČ uvádí výkonové parametry svého zařízení pro klimatické podmínky dané oblasti. Na energetickém štítku, obrázek 13, jsou uvedeny výkonové parametry zařízení pro různé klimatické scénáře. Do předpokladů pro výběr vhodného tepelného čerpadla bylo rovněž započítáno vytápění podlahovým topením, nepočítá se však s vytápěním bazénu či jiné vody než standardní TUV. Vzhledem k nárokům na prostor, který by pro naše požadavky činil minimálně 400 m² pro kolektor v případě instalace země – voda s omezením do budoucna osazováním plochy stromy, byla tato varianta zavrhnuta. Hlubinný vrt přesahuje finančními náklady na pořízení technologii vzduch – voda, která sice není tolik efektivní, rovněž však není prostorově a finančně tolik náročná. Variantou byla vnitřní jednotka, která by však stála v obytné části či v dílně. Pro tyto nároky bylo vybráno tepelné čerpadlo německé firmy Alpha Innotec [99, 104, 108, 110]. Výkonová data jsou shrnuta v tabulce č. 7. Jedná se o model LW 180A pro venkovní instalaci jednotky, obrázek č. 14. Jednotlivé náklady na tepelné čerpadlo LW 180A se nacházejí v tabulce č. 8.

Tabulka č. 7 – Výkonová data tepelného čerpadla LW 180A [109]

Typ	Výkonová data					Zařízení		
	Tepelný výkon A-7/W35	Tepelný výkon A2/W35	COP A2/W35	CO ² Ekv.	Hladina akust. tlaku (ve vzd. 1 m)	Plnicí množství chladiva	Rozměry Š x H x V	Váha
[kW]	[kW]	[t CO ²]		[dB(A)]	[kg]			
LW 180A	7,3/14,1	9,5/17,2	3,8/3,6	12,1	52	6,8	1931 x 1050 x 1780	420

Tabulka č. 8 – Provozní náklady tepelného čerpadla LW 180A [111]

Energetické parametry		LW 180A
venkovní výpočtová teplota - t_e	[°C]	-15
délka otopné sezóny (od 15°C)	[dny]	312
tepelná ztráta - Q	[kW]	17
teplotní spád otopné soustavy při t_e	[°C]	40 / 32
množství TeV	[l/den]	250
Potřeba tepla		
- pro vytápění (VYT)	[kWh/rok]	33 150
- pro ohřev teplé vody (TeV)	[kWh/rok]	6 200
Celková potřeba tepla	[kWh/rok]	39 350
Tepelné čerpadlo		
system tepelného čerpadla	[-]	vzduch-voda
spotřeba energie pro TČ	[kWh/rok]	17 200
spotřeba energie pro bivalentní zdroj [113]	[kWh/rok]	832
spotřeba energie pro vytápění	[kWh/rok]	4 547
průměrné COP pro vytápění	[-]	3,60
teplota bivalence	[°C]	-12,3
Ekonomické parametry		LW 180A
sazba dodávky elektrické energie	[-]	D 57d
velikost hl. jističe pro zdroj tepla	[A]	C 3x20
velikost hl. domovního jističe	[A]	C 3x25
roční spotřeba el. energie (tepelné čerpadlo + elektrokotel)	[kWh/rok]	6 800
měsíční paušální platba za odběr el. energie dle příkonu	[Kč/měsíc]	369
platba za kWh v NT [112]	[Kč/kWh]	4,50
platba za kWh v VT [112]	[Kč/kWh]	6,44
Náklady za energii celkem	[Kč/rok]	46 168,36



Obrázek č. 13 – Energetický štítek LW 180A [109]



Obrázek č. 14 – Vzhled vybraného tepelného čerpadla [109]

Požizovací náklady na tepelné čerpadlo LW 180A dle českého ceníku činí 388 900 Kč [115]. Tato cena ovšem není konečná. Dále je nutno pořídit dvě nádoby, jednu pro vytápění, druhou na TUV. Pro zamýšlenou instalaci společně s FVE je nutno vybrat nádrž pro vytápění s možností připojení elektricky vyhřívané patrony. Ta případně umožní efektivnější ukládání přebytečné elektrické energie ze solárních panelů a rovněž umožní přehřev vody a tepelné čerpadlo bude dohřívat jen menší podíl. Tato nádoba výrobce Alpha Innotec se označuje TPS 200. Jedná se o 200 litrovou nádobu s předpřipravenými otvory pro případ rozšíření instalace FVE. Dále je nutno pořídit nádrž TUV 200, která bude pokrývat denní spotřebu teplé užitkové vody v domácnosti. Cena jedné nádrže se pohybuje kolem 30 tisíc korun českých. Dále je nutno započítat ostatní materiály na propojení jednotlivých komponent. Rozpad na doporučené položky se nachází v tabulce č. 9. Původní ceny uvedeny v CHF (švýcarských francích), do kurzu české koruny převedeno v poměru 1 švýcarský frank ku 26,065 koruny české.

Tabulka č. 9 – Položkový rozpočet

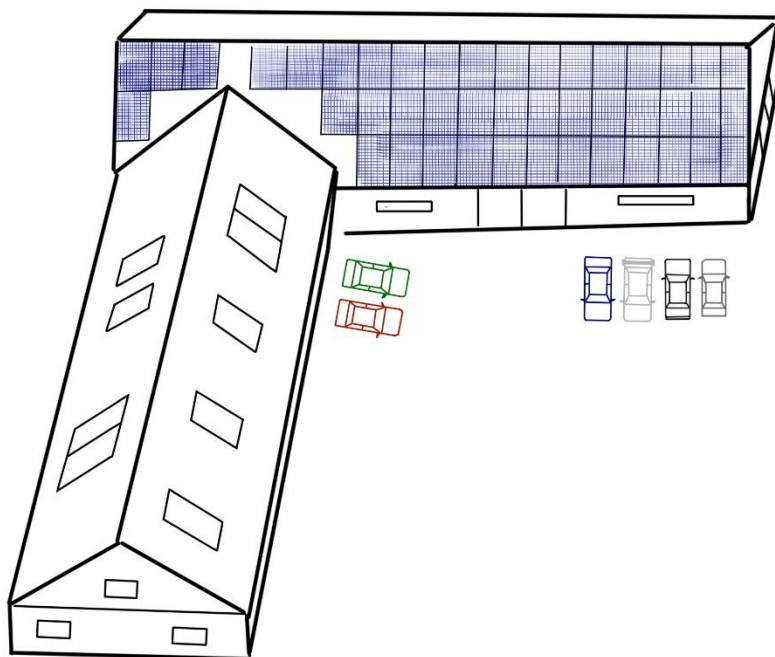
Položka	Typ	Ceníková cena z CHF (Kč)	Cena v ČR (Kč)
Tepelné čerpadlo vzduch-voda	LW 180A	596 682	388 900
Pár krytů	BG4 / BG5	84 421	55 017
Regulátor tepelného čerpadla	LUX 2.0	45 076	29 376
Ovládací kabel 20 m	STL 20 LUX 2.0	9 901	6 452
Vodní hadice 1 ¼"	ANSI 32	12 506	8 150
Šroubení 1 ¼"	VSG 321	3 647	2 377
Odvzdušňovací ventil a odstraňovač nečistot	FVCS 1 ¼" EP	12 767	8 320
Kompaktní rozdělovač topení 1 ¼"	KVS 32OP	7 556	4 924
Cirkulační čerpadlo	MAGNA3 32-60 180	32 048	20 886
Polovodičové relé	500.000.004	1 693	1 104
Akumulační nádrž	TPS 200	31 527	20 546
Teplotní čidlo	FSW	1 250	815
Ponorná trubka ½" x 150 mm mosaz	THE 150	1 042	679
Kompaktní rozdělovač topení 1 ¼"	KVS 32OP	7 556	4 924
Cirkulační čerpadlo	MAGNA3 32-60 180	32 048	20 886
Motorový kuličkový ventil, 3cestný 1 ¼"	300.810.030	19 802	12 905
Izolační skořepina pro 3cestný kuličkový ventil 1 ¼"	300.000.017	2 345	1 528
Ohřívač vody	WWS 507.2	109 174	71 149
Flanšový elektrický topný prvek	FHK 6 / FHK 9	16 936	11 037
Teplotní čidlo	FSW	1 250	815
Elektrický panel	cena na vyžádání (orientační)	52 633	34 301
Zpracovatelská skupina	thermaliQ:HB2	20 063	13 075
Standardní schéma pro TČ	700.000.002	1 303	849
Servisní knížka pro hlášené zařízení	700.000.019	1 303	849
Uvedení do provozu tepelného čerpadla do 19.9 kW (EN14511)	IBN 1	22 668	14 773
Uvedení do provozu ohřívače vody (WW) TČ.	IBN WW	3 648	2 377
Alpha web «domácí+mobilní»	S-Web	4 299	2 802
Celková sada včetně tepelného čerpadla		1 135 155	739 780

Rozpad pořizovací ceny na jednotlivé položky byl převzat z veřejně dostupného ceníku Alpha Innotec pro Švýcarsko [114]. Pořizovací cena tepelného čerpadla byla převzata z ceníku pro Českou republiku na rok 2024 [115]. Vzhledem k rozdílné kupní síle ekonomik, byly ostatní položky úměrně dopočteny pro Českou republiku. Cena odpovídá 65,056 procentům švýcarské ceny. K tomuto kroku bylo přistoupeno, jelikož takto detailní cenová nabídka byla veřejně dostupná v ceníku pro Švýcarsko. Pro kompletní instalaci je rozpad položek nutný a rovněž se téměř z padesáti procent podílí na konečné pořizovací částce za tepelné čerpadlo. Celková cena za instalaci tepelného čerpadla LW 180A byla vypočtena na částku 739 780 Kč.

6.4 Výběr FVE

Instalace FVE je krokem číslo dva po výběru tepelného čerpadla. Ve vybavovaném objektu je plánováno vytápění a ohřev vody tepelným čerpadlem LW 180A firmy Alpha Innotec. Základní parametry objektu pro instalaci FVE bývá určení typu stavby, což v tomto případě je starý dům po rekonstrukci s dílnou. Roční spotřeba energie je aktuálně, bez tepelného čerpadla, 72 700 kWh. Přičemž 30 000 kWh el. energie ročně potřebuje pro provoz autoservis. Dalších 6 050 kWh spotřebuje obytná část. Při vytápění a ohřevu vody elektrokotli činila spotřeba dalších 33 150 kWh. Takto vysoké nároky však pokryje s násobně nižší spotřebou elektrické energie tepelné čerpadlo. Tuto hodnotu lze pouze odhadnout na třetinové náklady v porovnání s aktuálními hodnotami dle očekávané účinnosti TČ COP. Celková odhadnutá spotřeba s tepelným čerpadlem by měla činit 47 100 kWh ročně. Maximální povolený výkon FVE nyní dle české legislativy umožňuje instalovat 50 kWp. Distribuční sazba je D57d a jistič 3x 25 A.

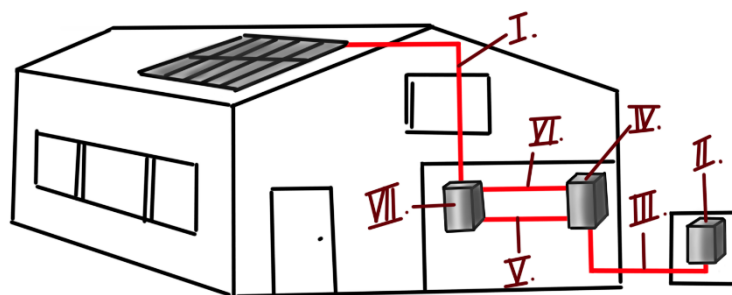
Dalším podstatným údajem je sklon střechy, na níž se bude instalace provádět a rovněž její orientace. Na obrázku č. 15 se nachází vizualizace objektu, kde na střechě stodoly orientované na jih o sklonu 40° a orientaci na jih 10° získává FVE nejvyšší účinnost. Požadovaným cílem instalace FVE je uspokojit většinu, nejlépe však všechnu spotřebu el. energie pomocí FVE a rovněž zajistit zálohu při výpadku distribuční sítě [116].



Obrázek č. 15 – Vizualizace instalace FVE na střechu stodoly

6.4.1 Stavební připravenost fotovoltaické elektrárny

Ze strany zákazníka je nutné splnit základní požadavky na stavební připravenost před započítím instalace. Tyto požadavky většinou upravují jednotlivé instalační firmy, případně i distributoři elektrické energie. Příprava domu na instalaci fotovoltaické elektrárny (FVE) je zásadním krokem pro zajištění úspěšného provozu solárního systému. Zájemce musí vzít v úvahu několik klíčových faktorů, které ovlivňují správnou funkci a dlouhodobou životnost instalace. Za prvé je nutné zvážit stav střechy. Střešní konstrukce musí poskytovat dostatečnou pevnost a kvalitu pro umístění solárních panelů. V současné době životnost solárních panelů často přesahuje 25 let, je zásadní zajistit, aby střecha byla připravena na tuto dlouhodobou zátěž. Pro přípravu střechy na instalaci solárního systému je důležité dodržet následující konkrétní doporučení. Krovky by se měly dimenzovat s ohledem na doporučené zatížení, tj. 20 kg/m² pro šikmé střechy a 35-40 kg/m² pro rovné střechy s bloky pro zatížení. Důležitost kotvení konstrukce je nepopiratelná, zejména u šikmých střech, kde je krytina vhodná pro kotvení konstrukce skrze vruty do krokví. Během výstavby nebo rekonstrukce střechy je třeba zvážit možnost kotvení konstrukce a umístit kotvy do krokví na základě projektu pro fotovoltaickou elektrárnu. Druhým požadavkem je vhodné umístění technických zařízení, které jsou obvykle instalovány do technické místnosti, garáže, kotelny nebo jiného prostoru podle preference majitele. Dále je nezbytné zajistit dostatečný prostor pro tyto technologie a zároveň přívod energie z tohoto místa k hlavnímu domovnímu rozvaděči [117].



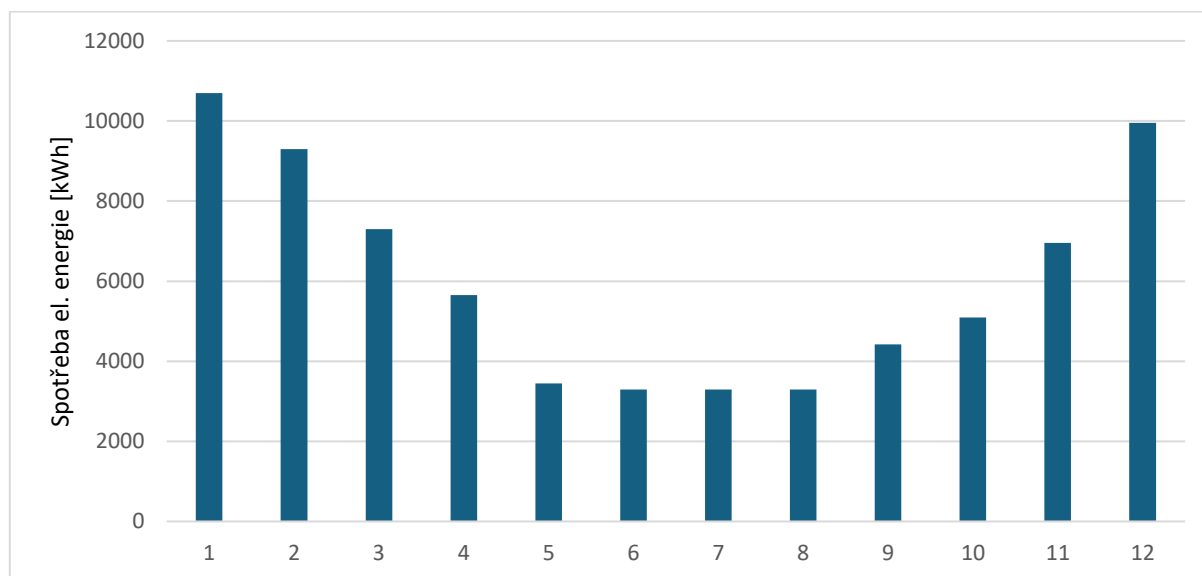
Obrázek č. 16 – Schématické znázornění konstrukčních prvků stavební připravenosti k FVE

V objektu je nutné připravit průchody zdi a určit cestu potřebné kabeláže. Schématické zobrazení jednotlivých prvků k instalaci FVE se nachází na obrázku č. 16. Na střeše jsou instalovány FV panely. Od nich vede husí krk, chránička o průměru 28 mm, na schématu označeno římskou číslicí I. Touto chráničkou povede solární kabel průměru 4 mm v množství až 5 kusů. Římská II. označuje elektroměr, ten slouží jako hlavní přívod el. energie do domu. Je nutno připravit elektroměrový rozvaděč a přívod do něj musí splnit připojovací podmínky správce distribuční soustavy a platné normy ČSN. Konkrétně podle schémat pro výrobní el. energie do 50 kW. Římská III. je silový kabel o minimálním průřezu cyky 4x16 mm², ayky 4x16 mm² nebo cyky-j 5x6 mm². Hlavní domovní rozvaděč, dále HDR, označený římská IV. slouží k umístění jističů, měřících cívek nebo měřícího modulu wattrouteru pro rozvaděč. Měl by být navržen s rezervou, minimální počet pozic 12 až 24 dle náročnosti instalovaného systému. Kabel od HDR k rozvaděči FVE, na schématu římská V., zvolíme dle specifiky kabelu přívodu rozvaděče elektřiny k hromadnému dálkovému ovládní (HDO) a dle volných pozic v hlavním domovním rozvaděči HDR. Pokud je možnost do HDR přidat jistič B16/3 a máme-li volné 3 pozice na smartmeter, připravíme kabel cyky-j 5x2,5 + CYA 10 mm zelenožlutý. Tento postup se uplatní asi u 90 procent případů. Pokud není možnost přidat jističí prvek do HDR, následují varianty podle sítě. Pro síť TN-C je potřeba připravit kabel s minimálním průřezem vodičů 4x10 mm. Síť TN-S vyžaduje kabel o průřezu vodičů 5x6 mm. Pokud by měl hlavní jističí vyšší hodnoty než 25 A, průřezy se změní dle norem ČSN.

Římská číslice VI. označuje FTP kabel. Pro jeho umístění do rozvaděče FVE AC do 10 metrů od domovního rozvaděče je nutné připravit kabelovou trasu pro vodiče 6x1,5 mm a to buďto husím krkem nebo lištou. Pokud je vzdálenost delší než 10 metrů je nutno připravit kabel UTP CAT5 a vyšší. Střídač napětí, označen římská VII., je hlavním řídicím prvkem systému FVE. Střídač je třeba umístit v prostorách, které splňují následující požadavky: teplotní rozmezí od -20 °C do +60 °C (s ohledem na případná omezení při umístění na půdy), absenci vysokého množství prachu, nehořlavost prostředí. To znamená vyhnout se umístění v kotelnách s uhlím, dřevem apod. a dodržet minimální vzdálenost 1 metr od plynového rozvodu a zásobování vodou [117]. Dobré je zajistit Wifi pro připojení střídače napětí a funkčnost online monitoringu. Pokud je stavba vybavena hlavní uzemňovací svorkovnicí je nutno připravit kabel CY16 mm, nebo CYA 16 mm, pro připojení svodiče napětí, pokud tento prvek objekt nemá. Za funkčnost svodiče napětí, hromosvodu, nese odpovědnost investor.

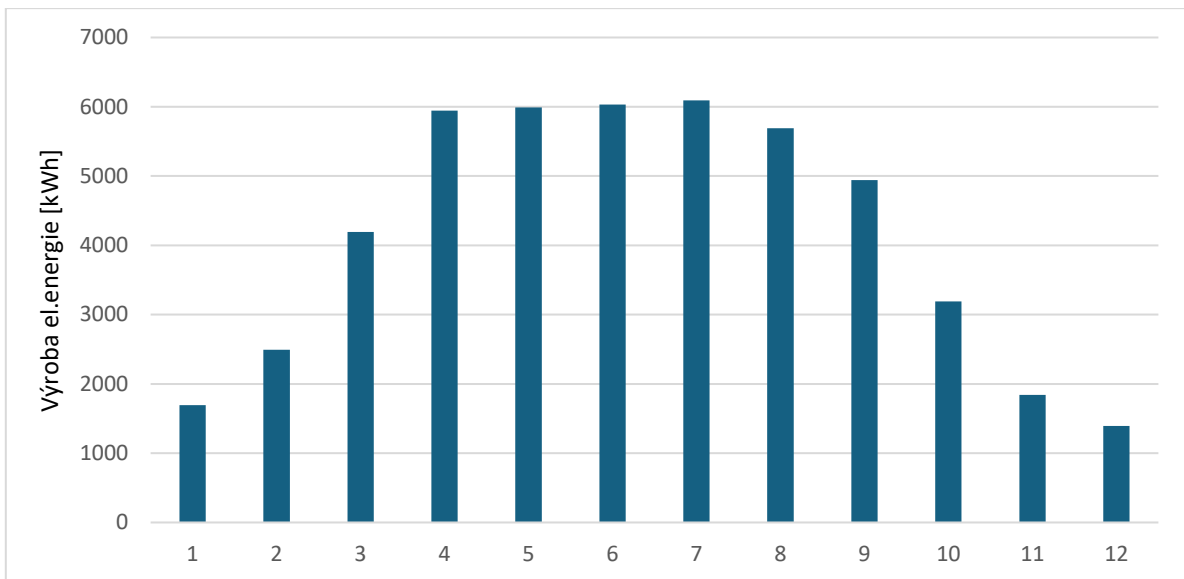
6.4.2 Vstupní a výstupní parametry FVE

Jako vstupní parametry spotřeby byly použity údaje investora o odběru v objektu v současném stavu a informace o budoucím využití objektu.

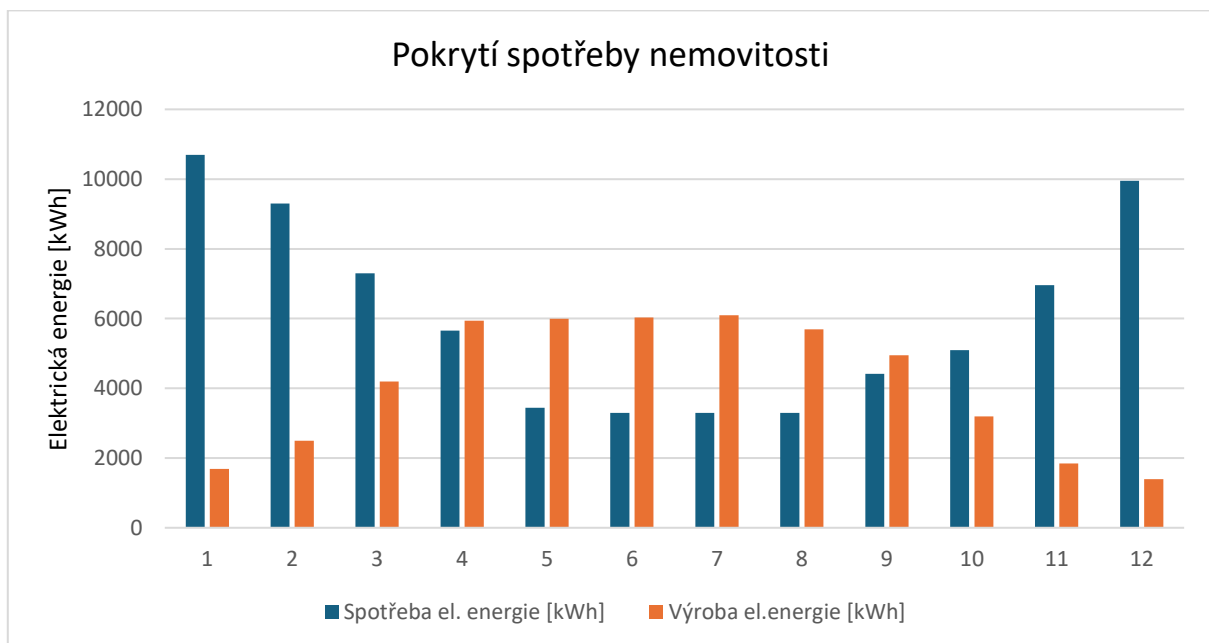


Graf č. 2 – Spotřeba nemovitosti po měsících v kWh

Jako možné řešení se jeví FVE o výkonu 48 kWp, která v dané lokalitě a při známé orientaci střechy dokáže vyrobit až 49,5 MWh elektřiny ročně. Spotřeba rodinného domu s autoservisem je vizualizována na grafu č. 2. Z grafu vyplývá velice vysoká spotřeba elektrické energie v zimních měsících zapříčiněná vytápěním elektrickým kotlem. Na grafu č. 3 se nachází vizualizace výroby elektrické energie navrženou FVE v daných měsících. Zde je vidět zvyšující se výroba elektrické energie v letních měsících.



Graf č. 3 – Výroba FVE po měsících v kWh



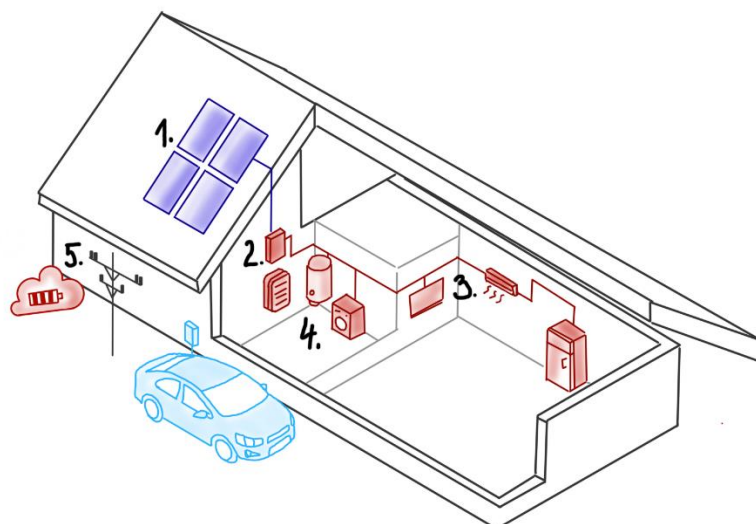
Graf č. 4 – Pokrytí spotřeby elektřinou vyrobenou vlastní 48 kWp elektrárnou

Na grafu č. 4 je zaznamenáno sloučení spotřebované elektrické energie s vyrobenou elektrickou energií navrženou FVE v kWh. Na grafu je vidět, že od dubna do září dokáže FVE pokrýt veškerou spotřebu objektu. Od května do srpna bude FVE vyrábět více elektrické energie, než bude poptávka. Tyto energetické přebytky lze transformovat na ohřev TUV pomocí elektrické patrony v nádrži na TUV, případně lze ukládat do baterií a v poslední řadě prodávat zpět do distribuční sítě. Pokrytí spotřeby objektu včetně rozdílu zaznamenává tabulka č. 10, kde pozitivní bilance výroby elektrické energie je označena zeleně. V ostatních měsících bude nutno dokupovat elektřinu od distributora. Přesto i v prosinci, kdy je efektivita FVE nejnižší, přinese úsporu téměř 1,4 MWh, což při ceně 4,5 Kč za kWh v NT a 6,4 Kč za kWh ve VT přinese úsporu 6 300 Kč nebo 8 960 Kč.

Tabulka č. 10 – Pokrytí spotřeby objektu el. energií vyrobenou FVE

Měsíc	Spotřeba el. energie [kWh]	Výroba el. energie [kWh]	Rozdíl výroba vs. spotřeba
1	10696	1692	-9004
2	9300	2493	-6807
3	7296	4192	-3104
4	5654	5943	289
5	3446	5992	2546
6	3296	6032	2736
7	3296	6094	2798
8	3296	5692	2396
9	4418	4943	525
10	5091	3192	-1899
11	6957	1842	-5115
12	9954	1393	-8561

Instalované řešení počítá s fyzickou baterií Risen 4x 18,7 kWh. Celkem bude kapacita bateriového úložiště 74,8 kWh, využitelná kapacita činí 67,3 kWh. Nominální napětí je 480 V na každý pětimodul, provozní napětí je 405 až 540 V. Maximální nabíjecí a vybíjecí proud je 30 A. Doporučený od 20 A do 30 A. Chlazení probíhá okolním vzduchem. Technologie baterií je LiFePO₄. Rozměr jednoho pětimodulu je výška 1910 x šířka 651 x hloubka 217 mm. Váha dosahuje 198,7 Kg. Instalovány budou 4 pětimoduly, vzhledem k jejich váze se budou umísťovat na betonový povrch v přízemí. Krytí bateriových modulů splňuje IP65 a lze jej instalovat i mimo budovu. Rozsah provozních teplot je od -0 °C do + 50 °C, i zde však platí, že na hranicích těchto teplot bude docházet buďto k rychlému vybíjení nebo přehřívání a nebude ukládání elektrické energie splňovat výše uvedenou efektivitu 90 %. Jako komunikační rozhraní lze použít technologii CAN či RS485 [118]. Proces přenosu elektrické energie lze popsat pomocí schématického obrázku č. 17 následovně. Elektřina z fotovoltaických panelů prochází jištěním a přepětovou ochranou, označeno ve schématu číslem 1. Poté elektřina vstupuje do fotovoltaického střídače, který přemění stejnosměrný proud na střídavý, označeno číslem 2. Následně elektřina putuje do domácnosti a napájí spotřebiče, číslo 3, jako je lednička, televizor, bojler, pračka či TČ. Pokud elektrárna vyrobí více elektřiny, než je schopen objekt spotřebovat v daný okamžik, začne se nabíjet fyzická baterie, označená číslem 4. Fyzickou baterii lze rozšířit i o baterii elektrického vozidla zapojeného přes nabíjecí wallbox do domácí elektrické sítě. Když je fyzická baterie zcela nabitá, odchází přebytek vyrobené elektřiny do sítě, označeno číslem 5. Někteří distributoři umožňují uložení této elektřiny do tzv. virtuální baterie.



Obrázek č. 17 – Instalace FVE s fyzickou baterií

6.4.3 Položkový rozpočet a cena řešení

Cena obsahuje kompletní instalaci systému a vyřízení všech potřebných posudků k získání dotace a připojení FVE k distribuční soustavě. V ceně je rovněž započtena doprava.

Bylo vybráno 96 panelů o výkonu 500 Wp, celkem tedy 48 kWp se zárukou 25 let na 84,8 % výkonu. Předpokládaná životnost panelů je 40 let. Na baterie Risen se vztahuje záruka na dobu 10 let, nebo na 5 500 cyklů nabití baterie při 90 % hloubce vybití, kdy záruka končí naplněním kterékoliv z vedených skutečností. Přibližná životnost se odhaduje na 20 let. Dále byl navržen střídač SOLINTEG MHT-50K-100 na který se vztahuje záruka 10 let, přičemž předpokládaná životnost je 12 až 15 let. Nad rámec FVE byly do CN zahrnuty rovněž dva wallboxy pro nabíjení elektrických vozidel. Systém je navržen na hybridní technologii a umožňuje provoz při výpadku distribuční sítě. Vyrobena elektřina je distribuována do tří fází asymetricky. Elektřina bude primárně spotřebována TČ a na provoz autoservisu, přebytky budou ukládány do baterií a případně do TUV či vytápěcího okruhu. Možností je dále nevyužitou energii dodávat do distribuční sítě a dle možností distributora platit virtuální baterii či pouze prodávat. Panely, kde jsme limitováni střechou i limitem mikrozdroje 50 kWp i baterie již nelze rozšířit. Byla plně využita legislativně povolená velikost do 50 kWp. Přínosem může do budoucna být hybridnost řešení, kdy elektrárna je schopna fungovat bez rozvodné sítě. V případě výpadku veřejné sítě je systém schopen zásobovat objekt v omezeném provozu několik hodin. Podstatný je i střídač umožňující distribuci energie asymetricky dle potřeb zatížení jednotlivých fází. Navržené řešení, vzhledem k legislativnímu omezení, nepokryje celou spotřebu domu, a to zejména v zimním období. Síťový střídač je koncipován tak, že by neměl být dlouhodobě odpojen od distribuční sítě. Dále je nutné počítat s výměnou střídače kolem 15 roku provozu. K samotné instalaci se vztahují rovněž vícepráce, jejichž ceník je shrnut v tabulce č. 12. Do víceprací se například řadí úprava či doplnění zemnění a hromosvodů, administrativní činnosti spojené s propojením FVE do distribuční sítě nebo např. úpravy rozvaděče pro instalaci FVE. Tyto částky nejsou do předpokládané ceny instalace FVE na vybraný objekt zahrnuty, je však nutno s nimi v případě nedostatečné stavební připravenosti objektu počítat.

Tabulka č. 11 – Položkový rozpočet

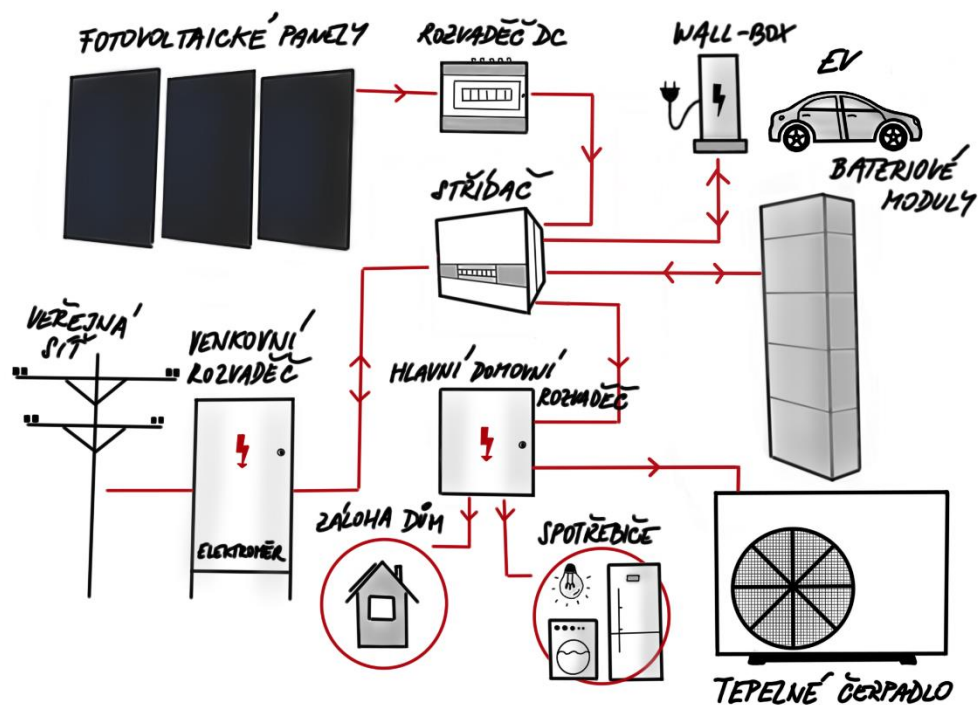
Položka	Počet ks	Cena Kč/kus
Solární panel AEG 500 Wp – Černý rám [119]	96	5 439
Konstrukce pro upevnění na střechu	96	
střídač SOLINTEG MHT-50K-100 solar inverter [120]	1	182 712
Řídící modul uložště – Risen BMS Titan HV [121]	4	
Baterie články 3,74 kW – Risen TITAN HV GS-HV [121]	18 20	55 636
Rozvaděč přepětové ochrany – M4	1	
Rozvaděč přepětové ochrany – M5	1	
Rozvaděč přepětové ochrany – DC	1	
Rozvaděč přepětové ochrany – Rozhraní <i>(na rozmezí prostředí střechy)</i>	1	
Obousměrný elektroměr SmartMeter	1	
Za sestavu fotovoltaického systému		2 240 222
WALLBOX – nabíječka elektromobilu <i>(Celkový výkon 11kW, nabíjecí kabel TYP2)</i>	2	57 080
WALLBOX – IoT meter <i>(Regulace přebytku z fotovolta)</i>	1	4 200
Propojovací kabely, jištění – WALLBOX	2	3 600
Montáž, instalace a zapojení	2	13 132
Za sestavu elektromobilita - WALLBOX		78 012
Instalace a nastavení FVE	1	48 416
Projekt, revize, administrativní úkony	1	12 243
Propojovací kabeláž AC/DC	1	6 122
Propojení se současným systémem	1	1 113
Úprava HDR - A <i>(Externí rozvaděč pro FVE)</i>	1	5 000
Krycí lišta kabelů - 1m	10	3 000
Prostup zdí	1	500
Optimizér výkonu FVE panelu <i>(Pro 1ks panelu)</i>	2	3 400
Za montáž a dopravu		79 794
Cena celkem bez DPH		2 398 028
Cena celkem s DPH (21 %)		2 901 614

Tabulka č. 12 – Ceník víceprací

Popis	Cena v Kč bez DPH
Pomocné zemnění zemnicí tyčí v případě nepřítomnosti ekvipotenciální svorkovnice	10 000
rozvaděč elektřiny – úprava v souladu s přípojovacími podmínkami ČSN	18 000
rozvaděč elektřiny – výměna jističe, popis kabeláže, výměna desky	10 500
rozvaděč elektřiny – výměna jističe, popis kabeláže, dálkový odpojovač	9 500
rozvaděč elektřiny – výměna jističe, popis kabeláže, příprava pro HDO	5 000
HDR – zachování rozvaděče, výměna jističů, přidání jističů k FVE	18 000
HDR – výměna rozvaděče, zachování stávajících jističů, přidání jističů k FVE	13 000
HDR – externí rozvaděč pro FVE	5 000
Prostup zdí	500
Bílá krycí lišta kabelů	300
Bezdrátový Smart meter pro měření toků energie	9 000
Opakovač WiFi Signálu pro zesílení Wifi signálu v místě umístění střídače	650
Router Smart Regulace přetoku z FVE	12 648
Vícepráce elektrikář nad rámec standardních úprav 1 hod./práce	500
Sloučení elektroměrů obsahující elektrikářské práce, potřebný materiál, revizní zpráva rozvaděče elektřiny, administrativní činnost a koordinace	9 500
Změna příkonu či jističů obsahující revizní zprávu rozvaděče elektřiny, žádost a administrativní činnost	4 000
Změna sazby TČ u distributora obsahující revizní zprávu rozvaděče elektřiny, žádost a administrativní činnost	3 500
FVE = Fotovoltaická elektrárna, RE = Rozvaděč elektřiny, HDR = Hlavní domovní rozvaděč, HDO = hromadné dálkové ovládání, TČ = tepelné čerpadlo	

6.5 Sloučení technologií

Navržená řešení tepelného čerpadla a fotovoltaické elektrárny pro vybavovaný objekt jsou jednotlivě efektivními kroky ke snížení vysokých nákladů za elektrickou energii. Přestože investice do pořízení těchto technologií je vysoká, očekávané náklady na provoz po instalaci jsou významně nižší než v posledních letech vytápění elektrokotlem a úplnou závislostí na distribuční síti pro provoz rodinného domu a autoservisu. Tepelné čerpadlo umožní snížit náklady na vytápění a ohřev TUV v ideálním případě na třetinu stávajících. Fotovoltaická elektrárna přináší možnost zvýšit nezávislost objektu na distribuční síti a opět snížit množství placené mandatorní elektrické energie za provoz autoservisu a domácnosti. Sloučení těchto technologií přináší další výhody. Jednou z přidaných hodnot takto spojeného systému je možnost z vyrobené elektřiny FVE napájet tepelné čerpadlo a dle hodnoty COP vyrobenou elektřinu násobit tímto koeficientem. Schématické zobrazení instalace tepelného čerpadla zapojeného do systému s fotovoltaickou elektrárnou se nachází na obrázku č. 18.



Obrázek č. 18 – Schéma propojení technologie FVE a TČ

Na něm se nachází jednak FV panely instalované na střeše objektu generující stejnosměrný proud, ten se pomocí střídače, ovšem se ztrátou až 33 %, kdy se elektrická energie ztrácí v podobě tepla, mění na proud střídavý. Střídavý proud pokryje nároky spotřebičů, může sloužit jako záloha pro objekt a rovněž může napájet tepelné čerpadlo. Pokud jsou tyto nároky uspokojeny, lze elektrickou energii ukládat do bateriových modulů či do baterie elektrického vozu. Ten v případě potřeby může rovněž sloužit jako rozšíření bateriových modulů. Pokud FVE vyrábí více, než je poptávka v objektu, přesouvá se vyrobená elektrická energie přes venkovní rozvaděč do veřejné sítě. Dle možností místního distributora je možnost buďto si pronajmout virtuální baterii k ukládání přebytků do zimních měsíců či prodej elektrické energie za nižší cenu než se obchoduje. Nejméně výhodným scénářem je varianta, kdy distributor veřejné elektrické sítě má elektřiny přebytek a za nadbytky generované instalovanou FVE posílané do veřejné sítě vyžaduje poplatek. V takové situaci je vhodnější vygenerovanou elektrickou energií přímo vytápět vodu. Může se jednat o TUV či otopnou soustavu. Voda vzhledem ke své vysoké tepelné kapacitě 4 180 J na kilogram a °C je látka s nejvyšší měrnou tepelnou kapacitou ze všech běžně dostupných látek. Pro ohřátí jednoho litru vody o 1 °C potřebují podle vzorce:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$$

$$Q = 1 \cdot 4,18 \cdot 1 = 4,18 \text{ kJ}$$

kde:

Q je teplo

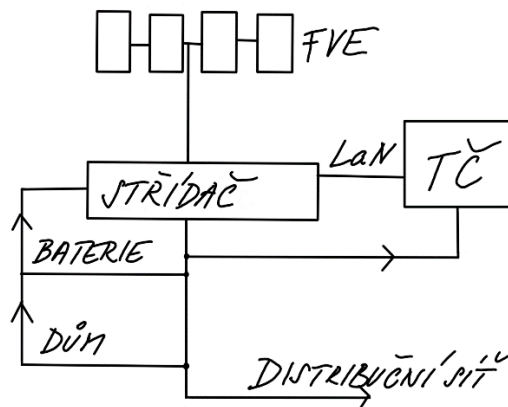
M je hmotnost tělesa 1l vody přibližně 1 kg. Hustota vody činí dle tabulek 998 kg/m³

C je měrná tepelná kapacita v kJ/(kg · °C)

t₂-t₁ je rozdíl teplot

Varianty možného nakládání s elektrickou energií generovanou FVE jsou znázorněny na obrázku č. 19. Na popisovaném schématu je jako první ze střídače řazeno TČ. V zimních měsících tedy i s výrobou FVE kolem 1,4 MWh bude primární čerpání vyrobené elektřiny zhodnoceno, po odečtení ztráty ve střídači,

v poměru 1 kWh z FVE dle koeficientu COP přinese 2-3,6 kWh. Ztráty na střídači snižují COP tepelného čerpadla, proto při maximální ztrátě na střídači 33 % získáme výkon z 1 kWh stejnosměrné z FV panelu v nejlepším případě 2,4 kWh. Tuto efektivní smyčku však vytvoří pouze tepelné čerpadlo. Bez ztrát na střídači lze získat stejnosměrný proud vedený kabeláží odděleně od ostatního zapojení. Stejným proudem přímo generovaným FVE lze přes elektrickou patronu vytápět vodu v systému TUV či otopné vody a to v poměru 1 kWh z FVE se rovná 1 kWh do vody. Nejméně efektivní variantou zapojení TČ s FVE je ohřev vody střídavým proudem, tedy musíme získaný stejnosměrný proud upravit střídačem se ztrátou až 33 % a následně vytápět vodu přes patronu pro střídavý proud. Zde se však dostáváme k poměru 1 kWh z FVE po úpravě ve střídači na střídavý proud činí již jen 0,67 kWh do vody. Ztrátovost střídače je dána především jeho přehříváním, proto se doporučuje jeho instalace do dobře větraných prostor, nejlépe na vnější zeď domu. V zimních měsících bude účinnost střídače, především pak dobře chlazeného studeným okolním prostředím, snížena cca o 3-5 %. V letních měsících, kdy nebude dobře zajistitelné chlazení střídače, dochází k vysokým tepelným ztrátám a účinnost padá na 67 %.



Obrázek č. 19 – Schéma řazení priorit nakládání s elektřinou z FVE

Podobné chování vykazují i FV panely, kdy v chladnějších měsících se lépe chladí a tudíž dosahují, přestože je méně slunečního záření, vysoké efektivity. V letních měsících dochází k zahřívání FV panelů a snižuje se účinnost fotovoltaického jevu. Zásadní vliv na dostatečné chlazení a předcházení požáru způsobeného přehřátím jednoho či více FV panelů, je dobře provedená instalace se vzduchovým prostorem mezi krytinou střechy a jednotlivými panely. Na obrázku č. 19 je dále zaznamenáno, jak se nakládá s energií, která přesahuje spotřebu TČ. Nejprve se dobíjí bateriové články a po jejich doplnění elektrická energie teče k domácím spotřebičům a do autoservisu. Pokud i přesto výroba přesahuje poptávku, odchází přebytečná elektrická energie do distribuční sítě.

7 Možnosti financování investice

Po porovnání a výběru vhodné energetické technologie je nezbytné se zaměřit na možnosti financování investičního projektu FVE s TČ. Výše finančních prostředků, které je investor ochoten investovat, se odvíjí od jeho hospodaření. Podnikatelský subjekt s investicí do zdrojů obnovitelné energie počítal již několik let, a proto si na finančně náročnou investici našetřil. Výši investice spočítáme součtem pořizovacích nákladů. Náklady na tepelné čerpadlo činí 739 780 Kč a FVE s bateriovými moduly stojí 2 901 614 Kč. Celkové náklady investice tedy činí 3 641 394 Kč a budou pokryty z vlastních zdrojů.

V úvahu lze vzít možnost financování části investice z dotačních programů. Program ENERGA, financovaný z Modernizačního fondu, který sloužil pro zlepšení energetické účinnosti v podnicích a poskytoval dotaci 1-100 mil. Kč byl ukončen [122]. V současné době probíhá příprava nového dotačního programu pro podnikající osoby, zejména malé a střední podniky. Jedná se o dotační program na úspory energie, který bude spuštěn od 30. 4. 2024 do 31. 8. 2024. V tomto termínu je možnost podat žádost. Dotace se vztahuje na realizaci úsporných opatření a pohybuje se ve výši 500 tis. Kč - 200 mil. Kč a procento podpory bude činit 35–65 % [123].

Z toho vyplývá, že by investor v dubnu 2024 mohl požádat o dotaci, jako vlastník rodinného domu (fyzická osoba), z programu nová zelená úsporám pro rodinné domy. Pro konkrétní případ uvedený v diplomové práci přibližná finální částka dotace vypočtená z dotační kalkulačky na webové stránce: <https://novazelenausporam.cz/dotacni-kalkulacka/> dosahuje částky 375 000 Kč. Z toho 345 000 Kč je výše dotace na opatření a 30 000 Kč dotační bonus. Konkrétní výše za jednotlivých dotačních opatření jsou vypsány v tabulce č. 13. Jedná se o hodnoty vypočtené z průměrných částek dosud podpořených dotačních projektů [124].

Tabulka č. 13 – Přibližné vyčíslení dotace NZÚ pro rodinné domy [124]

Název dotačního opatření	Výše dotace v Kč	Výše dotačního bonusu v Kč
Výměna zdroje tepla – TČ vzduch-vzduch nebo vzduch-voda pro vytápění a ohřev vody s podporou FVE	125 000	
Ohřev vody – Ohřev vody TČ	45 000	10 000
Domácí fotovoltaická elektrárna – Větší instalace s baterií (8 kWp + 10 kWh)	160 000	10 000
Dobíjecí stanice pro elektromobily – min. 1 stanice bude instalována	15 000	10 000
Celkem	345 000	30 000

V případě, že by nebylo možno investici financovat vlastním majetkem, je možné zvážit financování cizím majetkem, a to ve formě úvěru od banky. Na českém trhu se nachází mnoho bankovních subjektů, které tyto služby poskytují. Například ČSOB Stavební spořitelna, Modrá pyramida stavební spořitelna a Stavební České spořitelny poskytují úvěry k dotaci [125].

ČSOB Stavební spořitelna nabízí půjčku na energeticky úsporné řešení s úrokem od 5,5 % ročně, poskytne až částku 2,5 mil. Kč bez zajištění a splátky je možné rozložit na 20 let [126]. Dále Modrá pyramida stavební spořitelna nabízí úvěr do 2,5 mil. Kč bez zajištění nemovitosti či ručitele s úrokovou sazbou 5,99 % s možností rozložení splátek na 25 let [127]. Dalším subjektem je Raiffeisen Bank, která poskytuje též úvěr bez zajištění, ale jen do výše 2 mil. Kč a s úrokovou sazbou od 5,79 % ročně [128].

Pro ilustrativní porovnání nabídky Modrá pyramida stavební spořitelna a Stavební České spořitelny se počítá s půjčkou ve výši 1,5 mil. Kč a dobou splatnosti 15 let. Úvěr od Stavební České Spořitelny nabízí měsíční splátku ve výši 13 048 Kč s roční úrokovou sazbou 6,29 % [126]. Modrá pyramida stavební spořitelna však navrhuje měsíční splátku ve výši 12 676 Kč s úrokovou sazbou 5,99 % ročně [127].

Z porovnání vychází, že mezi výhodnější varianty se řadí úvěr od Modré pyramidy stavební spořitelna, jelikož poskytuje úvěr až do výše 2,5 mil Kč s úrokovou sazbou 5,99 % a možností splácet 25 let. Oproti tomu ČSOB stavební spořitelny poskytuje nižší úrokovou sazbu, a to ve výši 5,5 % ročně se stejnou výší zapůjčené částky, která ale musí být splacena do 20 let.

8 Návratnost investice do FVE a TČ

Pro zhodnocení, zdali se investice do tepelného čerpadla a fotovoltaické elektrárny vrátí je nutno vyjít z údajů o spotřebě elektrické energie, které jsou zaznamenány v tabulce č. 5. Data jsou shrnuta v tabulce č. 14. V minulých letech byly náklady, především kvůli vytápěním elektrokotlem a zdražení elektrické energie, rostoucí a dosáhly při průměru ceny VT a NT 5,47 Kč za kWh na částku 397 669 Kč ročně. Přičemž na nákladech se téměř rovnoměrně podílel provoz a vytápění s ohřevem TUV.

Tabulka č. 14 – Náklady v minulých letech ve srovnání s náklady na el. energii po pořízení TČ a FVE

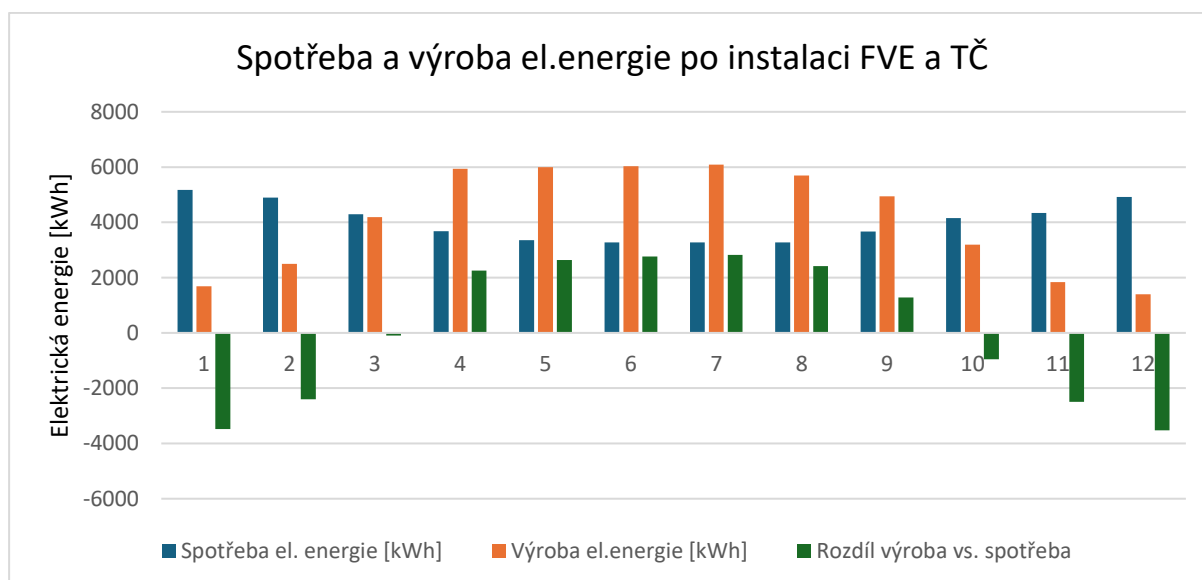
Položka	kWh	Cena v Kč
Celkové roční náklady v minulých letech	72 700	397 669
Autoservis a provoz obytné části	36 050	197 194
Vytápění a ohřev TUV	36 650	200 475
Vytápění a ohřev TUV TČ	12 217	66 827
Provoz spotřeba celková po instalaci TČ	48 267	264 020
Nepokryje FVE – odběr z distribuční sítě	12 953	70 853
Rozdíl cena původní vs. po instalaci TČ úspora		133 649
Rozdíl cena původní vs. po instalaci TČ a FVE úspora		326 816

Po instalaci tepelného čerpadla se nedostaneme na hodnotu očekávaných 46 168 Kč ročně z tabulky č. 8. Reálné náklady na provoz činí 66 827 Kč. Oproti původním nákladům na vytápění a ohřev TUV jsme se však dostali z 36 650 kWh ročně na 12 217 kWh ročně, tzn. jsme v ideálním případě na třetině spotřeby. Toto snížení množství odebrané elektrické energie se projeví jednak v porovnání ceny původní za vytápění a ohřev, tedy 200 475 Kč a nové ceny po instalaci TČ 133 468 Kč ročně. Dále se však pozitivně promítne i do snížení celkového množství odebrané elektrické energie z veřejné sítě a to ze 72 700 kWh na 48 267 kWh ročně. Celková cena za elektrickou energii po instalaci TČ se snižuje na 264 020 Kč ročně. Po instalaci TČ a snížení množství odebrané elektřiny ze sítě je navržené řešení FVE vzhledem k spotřebě a výrobě zaznamenáno po měsících v tabulce č. 15.

Tabulka č. 15 – Pokrytí spotřeby objektu s instalovaným TČ a FVE

Měsíc	Spotřeba el. energie [kWh]	Výroba el. energie [kWh]	Rozdíl výroba vs. spotřeba
1	5 170	1 692	-3 478
2	4 892	2 493	-2 399
3	4 289	4 192	-97
4	3 682	5 943	2 261
5	3 350	5 992	2 642
6	3 271	6 032	2 761
7	3 271	6 094	2 823
8	3 271	5 692	2 421
9	3 665	4 943	1 278
10	4 150	3 192	-958
11	4 340	1 842	-2 498
12	4 916	1 393	-3 523
Celkem	48 267	49 500	1 233

V tabulce č. 15 je zaznamenána spotřeba elektrické energie objektu s TČ, množství vyrobené el. energie fotovoltaickou elektrárnou a rozdíl spotřeby a výroby po měsících v roce. Zeleně jsou označeny měsíce s pozitivní bilancí, tedy měsíce, kdy výroba el. energie FVE přesahuje spotřebu. Za celý rok v součtu pak FVE vyrobí o 1233 kWh více elektrické energie, než je spotřeba objektu. Z toho vyplývá, že pokud by byla vyřešena s veřejnou distribuční sítí možnost tzv. virtuální baterie, FVE by s rezervou přes 1 MWh ročně pokryla veškeré náklady na elektrickou energii objektu. Objekt by byl nezávislý na odběru elektrické energie ze sítě, resp. přes léto by se nadbytky ukládaly do virtuální baterie a v zimních měsících, kdy by FVE nepokrývala spotřebu, by si objekt ze svých zásob ve virtuální baterii u distributora odebíral potřebné množství. V tu chvíli jsou náklady spojené s elektrickou energií objektu na nule. Je nutné přihlídnout k poplatku za virtuální baterii, který je však s ohledem na nulové náklady na elektrickou energii zanedbatelný. Pokud bychom přistoupili k méně optimistickému scénáři bez virtuální baterie, bude nutno počítat s náklady na dokup, viz. tabulka č. 15, elektrické energie ze sítě, a to v měsících od října do března v celkovém množství 12 953 kWh v ceně 70 853 Kč ročně. Pokud bychom shrnuly roční úsporu objektu s instalovaným TČ a FVE bez virtuální baterie s nutností dokoupit chybějící množství el. energie, jedná se o částku 326 816 Kč oproti původním nákladům.



Graf č. 5 – Shrnutí spotřeby, výroby a rozdílu el. energie po měsících v objektu s TČ a FVE

Na grafu č. 5 se nachází vizualizace spotřebované elektrické energie v objektu s TČ modře, oranžově je zaznamenána výroba instalované FVE v daných měsících a zeleně rozdíl mezi nabídkou a poptávkou po el. energii v objektu. S virtuální baterií je reálné dosáhnout v letních měsících dostatečných zásob, aby pokryly náklady objektu v zimních měsících.

Návratnost investice do TČ a FVE bude počítána dohromady, jelikož je v plánu instalace obou technologií současně. Pořizovací náklady, vč. instalace obou technologií jsou shrnuty v tabulce č. 16. Z pořizovacích nákladů není odečtena výše dotace z předchozí kapitoly, jelikož investor má možnost zvážít podání žádosti od konce dubna 2024 jako podnikatelský subjekt a získat vyšší dotační podporu. Z toho důvodu se nebere v úvahu snížení pořizovacích nákladů o dotace.

Tabulka č. 16 – Pořizovací náklady

Položka	Cena v Kč
Tepelné čerpadlo LW 180A	739 780
FVE s bateriovými moduly a 2x Wallbox	2 901 614
Náklady celkem	3 641 394

Návratnost této investice v méně optimistickém scénáři bez virtuální baterie, tedy s ročními náklady 12 953 kWh v ceně 70 853 Kč je odhadnuta v tabulce č. 17. Není zde počítáno se zdražováním cen el. energie do budoucna, tedy cena za 1 kWh činí 5,44 Kč. Návratnost je vyčíslena oproti nákladům na provoz nemovitosti bez TČ a FVE. Investice by se měla vrátit do 12 let od pořízení technologie a do 15 let od pořízení by měla přinést úsporu 1 260 846 Kč. Pokud bychom počítali s ideálním stavem, kdy bude pracováno ještě s virtuální baterií, návratnost investice je o dva roky dříve a v 15 roce od instalace technologie přinese zisk 2 324 641 Kč.

Tabulka č. 17 – Návratnost investice po letech v Kč

Rok	Investice do pořízení technologie	Investice do pořízení technologie s virtuální baterií
0	3 641 394	3 641 394
1	3 314 578	3 242 725
2	2 987 762	2 845 056
3	2 660 946	2 447 387
4	2 334 130	2 049 718
5	2 007 314	1 652 049
6	1 680 498	1 254 380
7	1 353 682	856 711
8	1 026 866	459 042
9	700 050	61 373
10	373 234	336 296
11	46 418	733 965
12	280 398	1 131 634
13	607 214	1 529 303
14	934 030	1 926 972
15	1 260 846	2 324 641

Zde je nutno přihlídnout k tomu, že není započtena možnost získat dotaci jak na FVE, tak na TČ, což by opět mohlo snížit náklady na investici a urychlit její návratnost v závislosti na výši přiznané dotace.

Závěr

Diplomová práce se zabývala návrhem fotovoltaické elektrárny v kombinaci s tepelným čerpadlem pro reálný objekt. V teoretické části jsou uvedeny základní principy fungování FVE, které stojí na objevu a následném intenzivním rozšíření fotovoltaického článku jakožto základního prvku celé fotovoltaické energie. Dále jsou hodnoceny používané materiály pro výrobu fotovoltaických článků a zmíněny i metody výroby křemíku odpovídající nárokům FV článků. Následuje seznámení se s dělením FVE dle varianty zapojení na síťovou, hybridní a ostrovní FVE. Byly popsány jednotlivé komponenty FVE, z nichž se následně celé řešení sestavuje. Mezi podstatné komponenty se řadí FV panely, měnič, někde se s ním lze setkat pod označením střídač, baterie, wallbox a případně virtuální baterie. V rámci popisu komponent byly vysvětleny rovněž odborné termíny nutné k pochopení dané problematiky. Po seznámení se se základy byl shrnut energetický potenciál FVE na území České republiky, kdy námi vybavovaný objekt se nachází v jižních Čechách, které mají geograficky nejvyšší účinnost instalace, společně s jižní Moravou. Následně se v praktické části dostalo na hlubší rozbor bateriových úložišť, která úzce souvisí s problematikou fotovoltaických elektráren, především však s ukládáním elektrické energie. Nejprve byly chemické zdroje elektrického napětí rozděleny a následně byl vytyčen směr k popisu pouze akumulátorů, tj. sekundárním článkům s vratným chemickým procesem. Byl popsán princip fungování a představeny jednotlivé typy akumulátorů. Skladování elektrické energie je, hned po její výrobě, další z otázek efektivního nakládání se zdroji, která nebyla dosud uspokojivě vyřešena, přestože akumulace do bateriových článků je jednou z možných cest do budoucna. Byla představena nejstarší, dosud však v mnoha ohledech nepřekonaná baterie olověná a její pokročilá olověno-uhlíkové verze. Následovalo seznámení se s nikl-zinkovými a nikl-metalhydridovými bateriemi. Popsány byly rovněž velice populární lithium-iontové baterie i s jejich nežádoucími vlastnostmi, a to přehříváním a rizikem výbuchu. Pro fotovoltaické elektrárny jsou však nejpodstatnější baterie lithium-železo-fosfátové, vzhledem k jejich dlouhé životnosti, nenáročnosti na plné nabití, bez citlivosti na přebíjení a zároveň mají minimální samovybíjení. Rovněž se tato technologie ve vysoké míře uplatňuje v elektrických pohonných systémech, tzn. především u elektrických vozů. Zmíněny byly rovněž technologie budoucnosti jako je vodíková baterie či superkapacitory. K problematice akumulátorů se vztahuje řada bezpečnostních postupů, které je žádoucí následovat a respektovat. Bezpečnosti nakládání s elektrochemickými zdroji byla rovněž věnována značná pozornost, byly popsány nejen nežádoucí incidenty, jako byla havárie letu UPS dne 3. září 2010, kdy příčina úmrtí obou pilotů byla vyhodnocena jako následek vzplanutí 81 tisíc lithiových článků, ale rovněž přinesla možnost seznámení se s místy možných zkratů či běžnými postupy hodnocení rizika. Následující kapitola byla věnována technologii tepelných čerpadel, zabývala se fyzikálními pravidly principu jejich funkce, popsány byly jednotlivé součásti tepelného čerpadla obecně. Jedná se o kompresor, kondenzátor, expanzní ventil a výparník. Rovněž byl vysvětlen zásadní pojem COP, který popisuje účinnost tepelného čerpadla. Bylo provedeno dělení tepelných čerpadel dle technologie, z nichž nejdostupnější a obecně nejznámější je technologie vzduch-voda. Poslední teoretickou částí je ekonomický pohled na investici, její pojetí a dělení. Rovněž se zde uplatnil ekonomický pohled na plánování investice, její financování, a hodnocení efektivnosti investice.

Praktická část diplomové práce se ponejprv zabývá legislativním rámcem pro obnovitelné zdroje energie v České republice. Tato agenda je však úzce propojena s agendou Evropské unie, do určitých legislativních procesů se rovněž zapojuje OSN. K obnovitelným zdrojům se vyjadřuje množství zákonů a směrnic, z nichž lze jmenovat např. stavební zákon a zákon o požární ochraně. Dále byly zmapovány

regulace a podpora OZE v ČR, kde významnou změnou je možnost instalovat nově až 50 kWp FVE. Zaznamenány jsou rostoucí trendy v podpoře OZE Ministerstvem průmyslu a obchodu a Ministerstvem životního prostředí. Představeny jsou možnosti čerpání dotačního programu Nová zelená úsporám. S velice rozsáhlou agendou se lze obeznámit v souvislosti s bezpečnou instalací FVE dle legislativy ČR. K tomuto tématu se vyjadřuje trojice zákonů, čtyři normy ČSN, vyhlášky, směrnice a například i Konfederace evropských sdružení požární ochrany. Po seznámení se s legislativními povinnostmi bylo možno přejít k samotnému návrhu vhodného tepelného čerpadla a FVE. Nejprve byl představen samotný objekt, který se skládá z obytné části a autoservisu. Byly zhodnoceny stavebně technické parametry objektu a zaznamenány aktuální náklady na provoz. Tyto náklady činily 72,7 MWh ročně, a to především z důvodu vytápění objektů a ohřevu TUV elektrickým kotlem. Při zprůměrování ceny za vysoký a nízký tarif dostáváme cenu 5,47 Kč za 1kWh, což po vyčíslení vychází na náklady za elektrickou energii objektu 397 669 Kč ročně. Vzhledem ke stáří objektu, přestože prošel rekonstrukcí, je tepelná ztráta odhadnuta na 17 kW. Z toho důvodu bylo vybráno tepelné čerpadlo výrobce Alpha Innotec s označením LW 180A. Jedná se o venkovní model s tepelným výkonem 17,2 kW. Provozní náklady tepelného čerpadla byly předpokládány ve výši 46 168 Kč, reálný provoz byl však vypočítán na 66 827 Kč. Pořizovací cena vybraného modelu včetně ostatních komponent činí 739 780 Kč. Pro výběr FVE byla vybrána střecha s orientací na jih, kde bude dosaženo během celého dne nejvyšší možné účinnosti. Dále byly vypsány všechny podmínky stavební připravenosti objektu a následně graficky zpracovány vstupní a výstupní parametry FVE. Bylo navrženo řešení o výkonu 48 kWp, které respektuje stanovený limit do 50 kWp bez ohlašování a stavebního povolení. Očekává se výroba 49,5 MWh ročně v ideálních podmínkách. Pro zvýšení nezávislosti objektu na distribuční síti je navrženo bateriové úložiště s fyzickou baterií Risen 4x 18,7 kWh, kapacita bateriového úložiště nabídne 74,8 kWh, přičemž využitelná kapacita je 67,3 kWh. FVE umožní pokrýt spotřebu el. energie od dubna do září během roku. Od května do srpna výroba až o 2,7 MWh přesáhne spotřebu a bude možno vyrobenou el. energii prodávat zpět do sítě, jelikož navržený systém je hybridní, případně ukládat do tzv. virtuální baterie, z níž bude možno v zimním období čerpat pro provoz objektu. Objekt není vybaven bazénem ani jinou vodní plochou, kam by bylo možno el. energii v tak vysokém množství efektivně vložit. Řešení obsahuje i dva wallboxy pro nabíjení elektrických vozidel. Baterie vozidel mohou posloužit jako rozšíření kapacity statického bateriového úložiště. Navržené řešení obsahuje 96 panelů o výkonu 500 Wp. Celková cena řešení je 2 901 614 Kč. Kombinace tepelného čerpadla a FVE je zapojena tak, aby byly nejprve pokryty nároky tepelného čerpadla, následně aby byla nabíjena baterie a následně šla elektrická energie do domu a do autoservisu. Pokud bude výroba převyšovat spotřebu, bude odcházet přebytečná el. energie do veřejné sítě. Na konci praktické části se nachází zvážení a vyčíslení návratnosti investice do TČ a FVE. Před instalací těchto systémů byla roční útrata za el. energii 397 669 Kč. Pokud by bylo instalováno pouze tepelné čerpadlo, roční náklady by se snížily na 264 020 Kč. Významná úspora přichází s instalací FVE, kdy roční náklady na provoz klesnou, v pesimistické variantě na 70 853 Kč. Pesimistická varianta počítá s tím, že všechna chybějící elektrická energie bude muset být dokoupena z distribuční sítě, tento dokup čítá 12 953 kWh ročně. Optimistická varianta počítá s možností využití virtuální baterie. Všechnu el. energii vyrobenou v letních měsících nad rámec spotřeby by tak bylo možno uložit u distributora el. energie a vyčerpat v zimních měsících, kdy efektivita FVE nebude dostatečná k pokrytí spotřeby. Vzhledem k dobrému dimenzování FVE by v optimistické variantě měla FVE vyrobit ročně o 1 233 kWh více než je roční spotřeba celého objektu i s autoservisem. To by znamenalo, že spotřeba objektu by byla úplně pokryta FVE a nemovitost by tedy byla plně soběstačná. Hypotéza stanovená v této diplomové práci ve znění, pokud proběhne instalace fotovoltaické elektrárny a tepelného čerpadla v konkrétním objektu, dojde ke snížení nákladů za elektrickou energii,

se nejen potvrdila, nýbrž bylo vypočteno, že s použitím dostupných technologií jako je virtuální baterie, lze náklady snížit pouze na nezbytné poplatky distribuční síti. Pořizovací náklady na navrženou kombinaci tepelného čerpadla a FVE dohromady činí 3 641 394 Kč. Náklady spojené s investicí budou financovány z vlastních zdrojů investora. Snížit pořizovací cenu pomocí dotace lze v aktuální situaci dvěma cestami. Ta první je v podobě nového dotačního programu na úsporu energie pro podnikající subjekty, kdy podávání žádostí bude spuštěno na konci dubna 2024. Druhou cestou je zažádání o dotační podporu NZÚ jako fyzická osoba s možností obdržet částku 375 000 Kč. Nový dotační program pro podnikající subjekty však nabízí podporu ve výši 500 tis. Kč - 200 mil. Kč. Z ekonomického pohledu se pro investora jeví jako výhodnější varianta využít dotační program, který se otevře koncem dubna. Možné snížení nákladů pomocí dotačního programu nebylo započítáno do celkových pořizovacích nákladů. Návrh investice počítaná v případě nepříznivé varianty nutného nákupu elektrické energie byla spočítána na 12 let. Pokud by bylo počítáno s ideálním stavem s virtuální baterií, návratnost by se zkrátila ještě o dva roky. S očekávanou životností tepelného čerpadla 25 let a FVE 40 let je tato investice hodnocena jako efektivní.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Solar Photovoltaics: A Brief History of Technologies [History]. IEEE Power and Energy Magazine [online]. 2022, 20(3), 77-85 [cit. 2024-04-19]. ISSN 1558-4216. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9761153>
- [2] The History of Solar. In: U.S.DEPARMENT OF ENERGY. ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY [online]. 2024 [cit. 2024-04-19]. Dostupné z: https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf
- [3] HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [4] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Solární energie: fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. 2., dopl. vyd. V Praze: ČZU, 2006. ISBN 80-213-1488-5.
- [5] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. Fotovoltaika: elektřina ze slunce. 2. vyd. Praha: EkoWATT, 2008. 21. století. ISBN 978-80-7366-133-5.
- [6] Jak funguje fotovoltaika? - eFotovoltaika.cz. EFotovoltaika.cz [online]. 2024 [cit. 2024-04-19]. Dostupné z: <https://www.efotovoltaika.cz/jak-funguje-fotovoltaika/>
- [7] Fotovoltaické elektrárny - princip funkce a součásti, elektrárny v ČR. OENERGETICE.CZ [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti>
- [8] Solar Photovoltaic Technology Basics. Office of ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-technology-basics>
- [9] Jak funguje fotovoltaická elektrárna. ČEZ, A. S. SKUPINA ČEZ [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/obnovitelne-zdroje/slunce/jak-funguje-sluncni-elektrarna>
- [10] FOTOVOLTAIKA - Tzb-energ. Tzb-energ [online]. 2014 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.tzb-energ.cz/fotovoltaika.html>
- [11] ČTVRTLETNÍ ZPRÁVA O PROVOZU ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY ČR ZA IV. ČTVRTLETÍ 2023. In: Energetický regulační úřad [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/ctvrtletni-zprava-o-provozu-elektrizacni-soustavy-cr-za-iv-ctvrtleti-2023>
- [12] Základní informace o ČR. Velvyslanectví České republiky v Bratislavě [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: https://mzv.gov.cz/bratislava/cz/cr_a_eu/zakladni_informace_o_cr/index.html

- [13] Photovoltaic Electricity Potential. In: SOLARGIS [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/czech-republic>
- [14] Solar Photovoltaic Technology Basics. *U.S. Department of Energy: The Office of Energy Efficiency and Renewable Energy* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-technology-basics>
- [15] Vyplatí se fotovoltaika v podmínkách ČR? SCHLIEGER [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: https://schlieger.cz/blog/vyplati-se-fotovoltaika-v-podminkach-cr/?gad_source=1
- [16] Photovoltaic Energy Factsheet. Center for Sustainable Systems [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://css.umich.edu/publications/factsheets/energy/photovoltaic-energy-factsheet>
- [17] Power Storage for Renewables: The History of Batteries and the Advent of the Virtual Power Station. ALL ABOUT CIRCUITS [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/news/power-storage-renewable-energy-history-of-batteries-virtual-power-station/>
- [18] BATTERY BASICS. *Power&Beyond* [online]. c2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.power-and-beyond.com/battery-energy-storage-systems-past-present-and-future-a-aa4a51926ffa6b159ed4971fcab40eaa/>
- [19] Classification of Cells or Batteries. Materials Science Battery Case Study [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://depts.washington.edu/matseed/batteries/MSE/classification.html>
- [20] Jak funguje olověný akumulátor? Tzbinfo [online]. c2001-2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elekriny/16090-jak-funguje-oloveny-akumulator>
- [21] Olověné baterie: Stálice na poli akumulace již více než půldruhé století. OENERGETICE.CZ [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/olovene-baterie-stalice-poli-akumulace-jiz-vice-nez-puldruheho-stoleti>
- [22] BU-202: New Lead Acid Systems. Battery University [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-202-new-lead-acid-systems>
- [23] Nové systémy olověných akumulátorů. Tzbinfo [online]. c2001-2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elekriny/16890-nove-systemy-olovenych-akumulatoru>
- [24] BU-203: Nickel-based Batteries. Battery University [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-203-nickel-based-batteries>
- [25] Nickel Zinc Battery - an overview | ScienceDirect Topics. *ScienceDirect* [online]. c2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/nickel-zinc-battery>

- [26] Nickel Metal Hydride Battery - How it works | Reaction & Chemistry. *Electricity - Magnetism* [online]. c2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.electricity-magnetism.org/electric-battery/nickel-metal-hydride-battery-how-it-works/>
- [27] Lithiové akumulátory. Tzbinfo [online]. c2001-2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13612-lithiove-akumulatory>
- [28] Li-Ion baterie. *Třípól* [online]. 2014 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/prakticke-informace/1677-li-ion-baterie>
- [29] *How to Find Happiness With LiFePO4 (Lithium-Ion) Batteries* [online]. 2023 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.solacity.com/how-to-keep-lifepo4-lithium-ion-batteries-happy/>
- [30] Baterie - Lithiové. Battery Charger CZ [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: https://www.bch-battery.cz/Baterie-Lithiove-c2_332_2.htm
- [31] Lithium-železo-fosfátové akumulátory – budoucnost domácí výroby a spotřeby elektřiny. Nazeleno.cz [online]. c2018-2023 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/lithium-zelezo-fosfatove-akumulatory-budoucnost-domaci-vyroby-a-spotreby-elektriny.aspx>
- [32] LiFePO4 200Ah (Everything you need to know). In: Climatebiz [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://climatebiz.com/lifepo4-200ah/>
- [33] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Olověný akumulátor. Encyklopedie fyziky [online]. c2006-2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1707-oloveny-akumulator>
- [34] BU-209: How does a Supercapacitor Work? Battery University [online]. c2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-209-how-does-a-supercapacitor-work>
- [35] Jak funguje superkapacitor? *TZB-info* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/16916-jak-funguje-superkapacitor>
- [36] Battery university: BU-210: How does the Fuel Cell Work? [online]. [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/fuel_cell_technology
- [37] Jak fungují palivové články? *TZB-info* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/elektromotory-pohony-a-stroje/16987-jak-funguji-palivove-clanky>
- [38] A new generation of battery technology. In: *HE3DA* [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://he3da.cz/en/about-us/>

- [39] HE3DA: výroba na konci roku 2022. Tzbinfo [online]. c2001-2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elekriny/24844-he3da-vyroba-na-konci-roku-2022>
- [40] Baterie HE3DA – výroba, zátěž, zkrat a crash test. *TBZ-info* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elekriny/16935-baterie-he3da-vyroba-zatez-zkrat-a-crash-test>
- [41] Jak efektivně eliminovat rizika při provozu Li-Ion bateriových systémů. ELEKTRO časopis pro elektrotechniku [online]. c2014 - 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/clanek/jak-efektivne-eliminovat-rizika-pri-provozu-li-ion-bateriovych-systemu--5428>
- [42] RIZIKOVOST ELEKTROCHEMICKÝCH ZDROJŮ Z POHLEDU POŽÁRNÍ OCHRANY. *Hasičský záchranný sbor ČR* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/casopis-112-rocnik-xviii-cislo-5-2019.aspx?q=Y2hudW09NQ%3D%3D>
- [43] History of Heat Pumps. ETDEWEB [online]. [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/21381633>
- [44] Carnot Cycle. LibreTexts CHEMISTRY [online]. [2024] [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/The_Live_Textbook_of_Physical_Chemistry_\(Peverati\)/05%3A_Thermodynamic_Cycles/5.01%3A_Carnot_Cycle#:~:text=Definition%3A%20Carnot%20Cycle%20A%20Carnot%20cycle%20is%20an,and%20no%20energy%20is%20lost%20to%20mechanical%20friction](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/The_Live_Textbook_of_Physical_Chemistry_(Peverati)/05%3A_Thermodynamic_Cycles/5.01%3A_Carnot_Cycle#:~:text=Definition%3A%20Carnot%20Cycle%20A%20Carnot%20cycle%20is%20an,and%20no%20energy%20is%20lost%20to%20mechanical%20friction)
- [45] Jak funguje tepelné čerpadlo? V hlavní roli kondenzace a vypařování. Mastertherm [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://mastertherm.cz/jak-funguje-tepelne-čerpadlo-v-hlavni-rolu-kondenzace-a-vyparovani/>
- [46] Princip tepelných čerpadel. IVT Tepelná čerpadla [online]. c2003-2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/princip-tepelnych-čerpadel>
- [47] Princip tepelného čerpadla. TC MACH [online]. c2019 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.tcmach.cz/index.php/blog-tcmach/12-princip-tepelneho-čerpadla>
- [48] Tepelná čerpadla a jejich řazení. In: JAK NA ČERPADLA [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.jaknacerpadla.cz/blog/tepelna-čerpadla-a-jejich-razeni>
- [49] ABECEDA TEPELNÁ ČERPADLA OD A DO Z [online]. [2024] [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.abeceda-čerpadel.cz>
- [50] SCHOLLEOVÁ, Hana. Ekonomické a finanční řízení pro neekonomy. 3., aktualizované vydání. Praha: Grada Publishing, 2017. Expert (Grada). ISBN 978-80-271-9870-2.

- [51] SYNEK, Miloslav. Manažerská ekonomika. 5., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3494-1.
- [52] FOTR, Jiří a Ivan SOUČEK. Investiční rozhodování a řízení projektů: jak připravovat, financovat a hodnotit projekty, řídit jejich riziko a vytvářet portfolio projektů. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3293-0.
- [53] DLUHOŠOVÁ, Dana. Finanční řízení a rozhodování podniku: analýza, investování, oceňování, riziko, flexibilita. 3., rozš. vyd. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 978-80-86929-68-2.
- [54] VALACH, Josef. *Investiční rozhodování a dlouhodobé financování*. 3., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 978-80-86929-71-2.
- [55] Novela energetického zákona. Www.technicka-zarizeni.cz [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.technicka-zarizeni.cz/novela-energetickeho-zakona/>
- [56] Stavební zákon č. 283/2021 Sb. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Ministerstvo pro místní rozvoj, 2021. Dostupné také z: <https://mmr.gov.cz/getmedia/2aee006a-81fa-4d6a-be27-f1e490baca69/1-Stavebni-zakon.pdf.aspx?ext=.pdf>
- [57] Zákon č. 133/1985 Sb.: Zákon České národní rady o požární ochraně. In: . 1985.
- [58] Zákon č. 250/2021 Sb.: Zákon o bezpečnosti práce v souvislosti s provozem vyhrazených technických zařízení a o změně souvisejících zákonů. In: . 2021.
- [59] Poskytnutá podpora. OTE [online]. 2018 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/statistika-poze/poskytnuta-podpora>
- [60] Dalších 10 miliard přiteče do Nové zelené úsporám z Modernizačního fondu. Ministerstvo životního prostředí [online]. c2008 -2023 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_20240131_Dalsich-10-miliard-pritece-do-Nove-zelene-usporam-z-Modernizacniho-fondu
- [61] Dotace pro rodinné domy – standard. Nová zelená úsporám [online]. [2024] [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/rodinne-domy/standard/>
- [62] Od roku 2022 se v Česku připojilo přes 100 tisíc solárních elektráren. Šlo o jeden ze slibů vlády. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/od-roku-2022-se-v-cesku-pripojilo-pres-100-tisic-solarnich-elektren--slo-o-jeden-ze-slibu-vlady--279121/>
- [63] Změny v dotačním programu Nová zelená úsporám. *Statní správa* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://www.statnisprava.cz/rstsp/clanky.nsf/i/zmeny_v_dotacnim_programu_nova_zelena_usporam_24013119_35999084

- [64] Solar PV: Safety and The Building Regulations. In Balance Energy [online]. c2007-2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://www.inbalance-energy.co.uk/articles/solar_pv_safety_and_the_building_regulations.html
- [65] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2024/884: kterou se mění směrnice 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2024.
- [66] Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů postupně integruje do české legislativy příslušné směrnice Evropské unie. Od svého schválení v roce 2001 byl tento zákon již přepracován zhruba 30krát. Poslední revize byla provedena v souvislosti se zákonem č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. Další úpravy jsou plánovány v reakci na nedávno schválenou směrnicí WEEE.
- [67] Zákon č. 541/2020 Sb.: Zákon o odpadech. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2020.
- [68] Zákon č. 542/2020 Sb.: Zákon o výrobcích s ukončenou životností. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2020.
- [69] Legislativa k recyklaci fotovoltaických panelů. *TBZ-info* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/8945-legislativa-k-recyklaci-fotovoltaickych-panelu>
- [70] Zákon č. 382/2021 Sb.: Zákon, kterým se mění zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2021.
- [71] Pět typů potenciálních požárních hrozeb fotovoltaických systémů a jejich ochrana. *SOLARITY* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://solarity.eu/cs/blog/pet-typu-potencialnich-pozarnich-hrozeb-fotovoltaickych-systemu/>
- [72] MACHALEC, Miroslav. Bezpečnost a protipožární ochrana střešních instalací FVE. *Topenářství instalace* [online]. 2022 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/bezpecnost-a-protipozarni-ochrana-stresnich-instalaci-fve-detail-13354>
- [73] HAVLÍČEK, Karel. Z judikatury pro topenářskou a instalatérskou praxi 2021/7. *Topenářství instalace* [online]. Praha: Praha : Technické vydavatelství Praha, 2021, 2021(7), 32-35 [cit. 2024-04-21]. ISSN ISSN 2336-4718. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/z-judikatury-pro-topenarskou-a-instalaterskou-praxi-2021-7-detail-11884>
- [74] ČSN 73 0802 ED.2 (730802): Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty. In: . Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2023. Dostupné také z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-73-0802-ed-2-730802-250077.html#>
- [75] ČSN 73 0804 ED.2 (730804): Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty. In: . Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2023. Dostupné také z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-73-0804-ed-2-730804-250079.html#>

- [76] Zásady protipožárního zabezpečení střešních instalací FVE a opatření požární prevence. GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČR. *Praktická doporučení pro bezpečnost a požární prevenci střešních FVE* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/prakticka-doporuceni-pro-bezpecnost-a-pozarni-prevenci-stresnich-fve.aspx>
- [77] MINISTERSTVO VNITRA – GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČESKÉ REPUBLIKY. Bojový řád jednotek požární ochrany – taktické postupy zásahu: Požáry střešních konstrukcí s fotovoltaickým systémem, metodický list číslo 47 P. *Požáry.cz* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://storage.pozary.cz/article/5/0/50ee95b0358cb/obr50ee962f19db6.pdf>
- [78] MINISTERSTVO VNITRA – GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČESKÉ REPUBLIKY. Bojový řád jednotek požární ochrany – taktické postupy zásahu: Požáry fotovoltaických elektráren, metodický list číslo 48 P. *Požáry.cz* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://storage.pozary.cz/article/5/0/50ee9ccb1d629/obr50ee9ce59f954.pdf?t=1713707299>
- [79] MINISTERSTVO VNITRA – GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČESKÉ REPUBLIKY. Bojový řád jednotek požární ochrany – taktické postupy zásahu: Hašení vodou elektrických zařízení a vedení pod napětím do 400 V, metodický list číslo 25 P. *Požáry.cz* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://storage.pozary.cz/article/5/4/54970ab066c34/p-25-haseni-vodou-el-zarizeni-pod-napetim-do-400-v.0p1emktjhn.pdf>
- [80] MINISTERSTVO VNITRA – GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČESKÉ REPUBLIKY. Bojový řád jednotek požární ochrany – taktické postupy zásahu: Požáry střešních konstrukcí, metodický list číslo 15 P. *Požáry.cz* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://storage.pozary.cz/article/5/4/543abd680b78c/p-15-strechy.uz4qd90q2b.pdf?t=1713707936>
- [81] Lightning Rods. National Weather Service [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.weather.gov/safety/lightning-rods>
- [82] ČSN EN 62305-2 ED.2 (341390): *Ochrana před bleskem - Část 2: Řízení rizika*. In: . Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. Dostupné také z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-62305-2-ed-2-341390-182511.html#>
- [83] Vyhláška Ministerstva vnitra č. 246/2001 Sb.: o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2001, částka 95, s. 5446.
- [84] ČSN 73 0834 (730834): *Požární bezpečnost staveb - Změny staveb*. In: . Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Dostupné také z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-73-0834-730834-221933.html#>
- [85] ČSN 73 0848 (730848): *Požární bezpečnost staveb - Elektrická zařízení, elektrické instalace a rozvody*. In: . Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2023. Dostupné také z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-73-0848-730848-250081.html#>

- [86] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/19/EU: o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ) (přepřacované znění)*. In: . Evropský parlament, Rada Evropské unie, 2012, s. 194-227. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=celex%3A32012L0019>
- [87] Vyhláška k recyklaci fotovoltaických panelů zveřejněna. Tzbinfo [online]. c2001-2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/112642-vyhlaska-k-recyklaci-fotovoltaickych-panelu-zverejnena>
- [88] Vyhláška č. 114/2023 Sb.: Vyhláška o požadavcích na bezpečnou instalaci výroby elektřiny využívající obnovitelné zdroje energie s instalovaným výkonem do 50 kW. In: . 2023.
- [89] MPO vydalo komentované znění vyhlášky č. 114/2023 Sb., která řeší OZE do 50 kW. Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě [online]. c2020-2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.ckait.cz/mpo-vydalo-komentovane-zneni-vyhlasky-c-1142023-sb-ktera-resi-oze-do-50-kw>
- [90] Komentované znění vyhlášky č. 114/2023 Sb. In: Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. c2005-2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/obnovitelne-zdroje/komentovane-zneni-vyhlasky-c--114-2023-sb---277095/>
- [91] Guidelines. CFPA EUROPE [online]. c2021 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://cfpa-e.eu/category-guidelines/fire-prevention-and-protection/>
- [92] CFPA EUROPE [online]. c2021 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://cfpa-e.eu>
- [93] *Nahlížení do katastru nemovitostí* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://nahlizeniidokn.cuzk.cz/VyberBudovu/Stavba/InformaceO>
- [94] Acond Grandis, TČ – vzduch – voda, Technická data. ACOND [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://acond.cz/wp-content/uploads/Technicka-data-Acond-Grandis.pdf>
- [95] TEPELNÉ ČERPADLO S VYSOKOU ÚČINNOSTÍ IVT AIR X 170 PRO KLIMA KOMFORT + AIR MODUL 9. EUROSISTEMY GROUP, S.R.O. *TEPELNÁ ČERPADLA PRO NOVOSTAVBY A REKONSTRUKCE* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://eurosystemy.cz/tepelne-cerpadlo-ivt-air-x-170.php>
- [96] TEPELNÉ ČERPADLO ACOND GRANDIS L (29 kW). ACOND [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://acond.cz/technicke-udaje-acond-grandis-l/>
- [97] Elektrokotel a jeho spotřeba: Kdy se finančně vyplatí? *SKUPINA ČEZ* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/clanky/vytapeni/elektrokotel-a-jeho-spotreba-kdy-se-financne-vyplati-174095>

- [98] HYBROX 11 a 16. *Alpha innotec* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://www.alpha-innotec.cz/wp-content/uploads/2024/03/HYBROX-11_16_leaflet_2024.pdf
- [99] *Katalog tepelných čerpadel vzduch-voda* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.alpha-innotec.cz/tepelna-cerpadla/tepelna-cerpadla-vzduch-voda/>
- [100] Tepelné čerpadlo vzduch-voda Premium X21. *SCHLIEGER* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://schlieger.cz/wp-content/uploads/2024/03/TC-X21_FIN1_prev.pdf
- [101] Tepelné čerpadlo vzduch-voda Premium X11. *SCHLIEGER* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://schlieger.cz/wp-content/uploads/2024/03/TC-X11_FIN1_prev.pdf
- [102] Tepelné čerpadlo vzduch-voda NIBE F2120. *Tepelná čerpadla vzduch voda* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://assetstore.nibe.se/hcms/v2.3/entity/document/319267/storage/MzE5MjY3LzAvbWFzdGVy>
- [103] *Technický list IVT AIR X včetně vnitřních jednotek* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/cz/ivt-air-x-vzduch-voda>
- [104] DOKUMENTACE KE STAŽENÍ. *PROJEKTUJ TEPELNÁ ČERPADLA - Největší specializovaná databáze PRO PROJEKTANTY A DODAVATELE TEPELNÝCH ČERPADEL* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/cz/dokumentace-ke-stazeni?_gl=1*1d3x5iw*_up*MQ..*_ga*NTUwMjk5NjQ1LjE3MTI0OTk0NDM.*_ga_VPNKN1FQKE*MTcxMjQ5OTQ0MS4xLjEuMTcxMjQ5OTUyNS4wLjAuMA
- [105] IVT AIR X. IVT TEPELNÁ ČERPADLA S.R.O. *IVT Tepelná čerpadla* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/ivt-air-x?_gl=1*n4o0l6*_up*MQ..*_ga*MTI2NzU2NDM2Ni4xNzEyNDk5Mzg3*_ga_Z8WCWQ3FSD*MTcxMjQ5OTM4NS4xLjAuMTcxMjQ5OTM4NS4wLjAuMA
- [106] TEPELNÉ ČERPADLO ACOND GRANDIS R (19,6 kW). *ACOND* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://acond.cz/technicke-udaje-acond-grandis-r/>
- [107] TEPELNÉ ČERPADLO ACOND GRANDIS N (8 kW). *ACOND* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://acond.cz/technicke-udaje-acond-grandis-n/>
- [108] *Průvodce výběrem ideálního tepelného čerpadla* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.alpha-innotec.cz/tepelna-cerpadla/online-pruvodce-vyberem-tepelneho-cerpadla/>
- [109] LWA. *Řada alira LWA* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://www.alpha-innotec.cz/wp-content/uploads/2019/03/LWA_leaflet_2023.pdf

- [110] Návod k obsluze LW 140A – LW 251A. *Řada alira LWA* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://www.alpha-innotec.cz/wp-content/uploads/N%C3%A1vody_k_instalaci/LWA/Navod_k_obsluze_LW140A-251A_CZ.pdf
- [111] TOPINFO S.R.O. *Jak zvolit správný výkon tepelného čerpadla vzduch-voda pro rodinný dům?* [online]. 2017 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/15485-jak-zvolit-spravny-vykon-tepelneho-cerpadla-vzduch-voda-pro-rodinny-dum>
- [112] Přehled sazeb a cen za zajišťování distribuce elektřiny. *Distribuční cena elektřiny pro domácnosti a firmy* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://www.egd.cz/sites/default/files/2024-01/egd_brozura_distribuce_ee_d_2024_01.pdf
- [113] BIVALENTNÍ ZAPOJENÍ TEPELNÉHO ČERPADLA S DOTOPOVÝM KOTLEM. *PROJEKTUJ TEPELNÁ ČERPADLA - Největší specializovaná databáze PRO PROJEKTANTY A DODAVATELE TEPELNÝCH ČERPADEL* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/cz/bivalentni-zapojeni-tepelneho-cerpadla-s-dotopovym-kotlem>
- [114] PREIS- UND TYPENLISTE. *Alpha innotec* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://www.alpha-innotec.ch/fileadmin/content/marketing/Preislisten/Preisliste_alpha_2023_CH-DE.pdf
- [115] AKČNÍ CENÍK. *Ceník tepelných čerpadel alpha innotec* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://www.alpha-innotec.cz/wp-content/uploads/2024/04/Akcni-cenik_vzduch_voda-2024_CZ.pdf
- [116] *Fotovoltaika se nemusí vždy zrovna vyplatit* [online]. 2022 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/fotovoltaika-a-uspورا>
- [117] E.ON ENERGIE, A.S. *Součásti elektrárny* [online]. 2004 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/domacnosti/usporne-technologie/solar/>
- [118] S-Power. *Energy Storage System - Titan HV Series* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://www.s-power.cz/?msclkid=2bab045fcc7f1a20b716627b1d8c41e0&utm_source=bing&utm_medium=cpc&utm_campaign=0%20%7C%20BRA%20%7C%20S-Power%20%7C%20eCPC&utm_term=s-power%20energies&utm_content=S-Power%20Energies
- [119] SVP SOLAR S.R.O. *AEG Fotovoltaický panel 500Wp s černým rámem* [online]. 2005 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/aeg-fotovoltaicky-panel-500wp-s-cernym-ramem/?hgtid=2cd20396-3d92-4231-80d3-2966061f436b>
- [120] IFTECH S.R.O. *SOLINTEG MHT-50K-100 solar inverter* [online]. 2008 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/en/solar-inverters/4242-solinteg-mht-50k-100-solar-inverter.html>

- [121] SPOLEČNOST AEKO S.R.O. *Bateriové úložiště Titan HV 3,74 - 18,7 kWh* [online]. 2009 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://eshop.aeko.cz/detail/bateriove-uloziste-titan-hv-3-74-18-7-kwh-titanhv-bu/>
- [122] Zlepšení energetické účinnosti v podnicích - ENERĢ. Přehled dotací [online]. c2024 [cit. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://www.prehleddotaci.cz/operacni-program/modernizacni-fond/zlepseni-energeticke-ucinnosti-v-podnicich-energ/>
- [123] Úspory energie: Dotace na úspory energie ve firmách. OPTAK [online]. c2024 [cit. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://www.dotace-optak.cz/dotacni-programy/7-uspory-energie-dotace-na-uspory-energie-ve-firmach>
- [124] Dotační kalkulačka pro rodinné domy. Nová zelená úsporám [online]. 2024 [cit. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/dotacni-kalkulacka/>
- [125] Dotační poradenství a výhodný úvěr. Nová zelená úsporám [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/rodinne-domy/oprav-dum/poradenstvi-a-uver/>
- [126] Úvěr od Buřinky pro budoucnost s dotací. STAVEBNÍ České spořitelny [online]. 2024 [cit. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://www.burinka.cz/uvery-na-bydleni/uver-od-burinky-pro-budoucnost-s-vyuzitim-dotace/#spocitejte-si>
- [127] Půjčka na udržitelné bydlení. Modrá pyramida stavební spořitelna [online]. 2024 [cit. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://www.modrapyramida.cz/uvery-na-bydleni/pujcka-na-udrzitelne-bydleni>
- [128] Výhodná půjčka na rekonstrukci? Raiffeisen Bank [online]. 2024 [cit. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://www.rb.cz/osobni/hypoteky/nabidka-hypotek/rekopujcka#formular>
- [129] HEAT PUMPS—WHO USES THEM AND WHY? In: Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies by IEA [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/heat-pumps-who-uses-them-and-why/>
- [130] A History of Refrigeration throughout the World. In: International Institute of Refrigeration [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://iifir.org/en/fridoc/a-history-of-refrigeration-throughout-the-world-4150>.

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 – Fotovoltaický článek [10].....	14
Obrázek č. 2 – Schématické zapojení FVE	16
Obrázek č. 3 – Dlouhodobý průměr energetického potenciálu FVE v letech 1994 až 2018 [13].....	18
Obrázek č. 4 – Schéma olověné baterie [33].....	22
Obrázek č. 5 – Schéma baterie LiFePO ₄ [29]	26
Obrázek č. 6 – Princip palivového článku [36].....	27
Obrázek č. 7 – Schematická struktura lithiové baterie s označenými místy možných zkratů [41]	29
Obrázek č. 8 – Diagram Tlak-Objem Carnotova cyklu [44].....	32
Obrázek č. 9 – Princip tepelného čerpadla a jeho základní komponenty [46].....	33
Obrázek č. 10 – Správné zapojení tepelného čerpadla [49].....	34
Obrázek č. 11 – Výpis z katastru nemovitostí [93]	53
Obrázek č. 12 – Detail z výpisu z katastru nemovitostí.....	54
Obrázek č. 13 – Energetický štítek LW 180A [109].....	57
Obrázek č. 14 – Vzhled vybraného tepelného čerpadla [109]	58
Obrázek č. 15 – Vizualizace instalace FVE na střeche stodoly	60
Obrázek č. 16 – Schématické znázornění konstrukčních prvků stavební připravenosti k FVE.....	61
Obrázek č. 17 – Instalace FVE s fyzickou baterií.....	65
Obrázek č. 18 – Schéma propojení technologie FVE a TČ	68
Obrázek č. 19 – Schéma řazení priorit nakládání s elektřinou z FVE.....	69

Seznam grafů

Graf č. 1 – Poskytnutá podpora na OZE v rozmezí let 2015 až 2022.....	43
Graf č. 2 – Spotřeba nemovitosti po měsících v kWh	62
Graf č. 3 – Výroba FVE po měsících v kWh.....	63
Graf č. 4 – Pokrytí spotřeby elektřinou vyrobenou vlastní 48 kWp elektrárnou	63
Graf č. 5 – Shrnutí spotřeby, výroby a rozdílu el. energie po měsících v objektu s TČ a FVE.....	73

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 – Způsoby zapojení FVE.....	15
Tabulka č. 2 – Dělení chemických zdrojů elektrického napětí	20
Tabulka č. 3 – Přínosy a omezení olověných akumulátorů	23
Tabulka č. 4 – Poskytnutá podpora na obnovitelné zdroje energie [59]	42
Tabulka č. 5 – Roční spotřeba elektrické energie.....	54
Tabulka č. 6 – Porovnání základních hodnot u TČ různých výrobců	55
Tabulka č. 7 – Výkonová data tepelného čerpadla LW 180A [109].....	56
Tabulka č. 8 – Provozní náklady tepelného čerpadla LW 180A [111]	57
Tabulka č. 9 – Položkový rozpočet	59
Tabulka č. 10 – Pokrytí spotřeby objektu el. energií vyrobenou FVE.....	64
Tabulka č. 11 – Položkový rozpočet	66
Tabulka č. 12 – Ceník víceprací.....	67
Tabulka č. 13 – Přibližné vyčíslení dotace NZÚ pro rodinné domy [124].....	70
Tabulka č. 14 – Náklady v minulých letech ve srovnání s náklady na el. energii po pořízení TČ a FVE. 72	
Tabulka č. 15 – Pokrytí spotřeby objektu s instalovaným TČ a FVE	72
Tabulka č. 16 – Pořizovací náklady	74
Tabulka č. 17 – Návržnost investice po letech v Kč	74