



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## TEPELNÉ ČERPADLO VE SPOLUPRÁCI S FVE PRO RODINNÝ DŮM

HEAT PUMP IN COOPERATION WITH PV FOR FAMILY HOUSE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Drašar

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

BRNO 2022



# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Vojtěch Drašar

**ID:** 220759

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2021/22

**NÁZEV TÉMATU:**

## Tepelné čerpadlo ve spolupráci s FVE pro rodinný dům

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Popis funkce a možností řízení tepelných čerpadel
2. Výpočet energetických potřeb vybraného objektu a návrh tepelného čerpadla s funkcí chlazení
3. Návrh FV systému pro napájení tepelného čerpadla, včetně zpracování JPS
4. Energeticko-ekonomické zhodnocení navrženého systému

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

podle pokynů vedoucího závěrečné práce

**Termín zadání:** 7.2.2022

**Termín odevzdání:** 31.5.2022

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

**prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá návrhem tepelného čerpadla ve spolupráci s fotovoltaickým systémem pro rodinný dům. V teoretické části jsou popsány principy funkce tepelného čerpadla a fotovoltaického systému. V práci je uvedeno, jaké jsou způsoby provozu tepelného čerpadla, principy chlazení budov, připojení FV systému k síti, nebo způsoby akumulace přebytečné energie. V praktické části byla určena spotřeba běžného rodinného domu pomocí typových diagramů dodávky. Spotřeba vychází z hodinových statistických hodnot pro rok 2021. Ze získaných hodnot bylo navrženo čerpadlo. Dalším z cílů práce bylo rozmístění fotovoltaických panelů na střechu. Elektrárna je uvažována jako hybridní, za účelem maximalizace spotřeby vyrobené energie a užití energie v místě vzniku. Pro tuto skutečnost byl navržen také bateriový systém. Práce obsahuje energetické i ekonomické zhodnocení, včetně návratnosti dané kombinace. Pro ekonomické zhodnocení byla uvažována dotace z programu Nová zelená úsporám 2021+. Navržené řešení má využití jak při rekonstrukci, tak i při realizaci novostavby, kde je kladen důraz na minimalizaci znečišťujících látek do ovzduší a také použití ekologických zdrojů.

## **Klíčová slova**

tepelné čerpadlo, topný faktor, hlubinný vrt, fotovoltaická elektrárna, hybridní měnič, akumulace, obnovitelné zdroje, dotace, ekonomická návratnost

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with the design of a heat pump in cooperation with a photovoltaic system for a family house. The theoretical part describes the principles of the heat pump and the photovoltaic system. The thesis presents the methods of operation of the heat pump, the principles of building cooling, the connection of the PV system to the grid, or the methods of storing excess energy. In the practical part, the consumption of a typical family house has been determined by means of typical supply diagrams. The consumption is based on hourly statistical values for the year 2021. From the obtained values a pump was designed. Another objective of the work was the placement of photovoltaic panels on the roof. The power plant is considered as a hybrid, in order to maximize the consumption of the energy produced and the use of energy at the point of generation. For this, a battery system was also designed. The work includes an energy and economic evaluation, including the payback of the combination. For the economic evaluation, a subsidy from the New Green Savings 2021+ program was considered. The proposed solution has applications in both renovation and new construction, where the emphasis is on minimizing air pollutants and also the use of ecological resources.

## **Keywords**

heat pump, heating factor, deep well, photovoltaic power plant, hybrid converter, accumulation, renewable sources, subsidy, economic return



## **Bibliografická citace**

DRAŠAR, Vojtěch. Tepelné čerpadlo ve spolupráci s FVE pro rodinný dům. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142357>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Petr Mastný.

# Prohlášení autora o původnosti díla

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| <b>Jméno a příjmení studenta:</b> | <i>Vojtěch Drašar</i>                                       |
| <b>VUT ID studenta:</b>           | 220759  |
| <b>Typ práce:</b>                 | <i>Bakalářská práce</i>                                     |
| <b>Akademický rok:</b>            | 2021/22   |
| <b>Téma závěrečné práce:</b>      | <i>Tepelné čerpadlo ve spolupráci s FVE pro rodinný dům</i> |

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 31. května 2022

-----  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Mastnému, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: 31. května 2022

-----  
podpis autora

# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ABSTRAKT</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....                                     | <b>9</b>  |
| <b>SEZNAM TABULEK</b> .....                                     | <b>9</b>  |
| <b>ÚVOD</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>1. TEPELNÉ ČERPADLO</b> .....                                | <b>11</b> |
| 1.1 PRINCIP FUNKCE ČERPADLA .....                               | 11        |
| 1.2 TOPNÝ FAKTOR .....  | 12        |
| 1.2.1 COP .....   | 12        |
| 1.2.2 SCOP .....  | 13        |
| 1.3 TYPY PROVOZU TEPELNÉHO ČERPADLA .....                       | 13        |
| 1.3.1 Monovalentní provoz .....                                 | 13        |
| 1.3.2 Bivalentní provoz .....                                   | 14        |
| 1.3.3 Alternativně-bivalentní provoz .....                      | 14        |
| 1.3.4 Paralelně-bivalentní provoz .....                         | 14        |
| 1.3.5 Částečně paralelně-bivalentní provoz .....                | 15        |
| 1.4 ROZDĚLENÍ PODLE ZDROJE NÍZKOPOTENCIÁLNÍ ENERGIE .....       | 15        |
| 1.4.1 Energie venkovního vzduchu .....                          | 16        |
| 1.4.2 Energie vody .....  | 16        |
| 1.4.3 Energie země .....  | 17        |
| 1.4.4 Teplo podloží .....                                       | 18        |
| 1.5 FUNKCE CHLAZENÍ TEPELNÝM ČERPADLEM .....                    | 18        |
| 1.5.1 Aktivní chlazení .....                                    | 19        |
| 1.5.2 Pasivní chlazení .....                                    | 19        |
| 1.6 VLASTNOSTI BUDOV .....                                      | 20        |
| 1.6.1 Tepelná ztráta budov .....                                | 20        |
| 1.7 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY PRO TEPELNÉ ČERPADLO .....                  | 21        |
| 1.7.1 Ekvitermní regulace .....                                 | 21        |
| 1.7.2 Invertní řízení .....                                     | 22        |
| 1.7.3 Sazby elektrické energie .....                            | 22        |
| 1.8 ZÁSADY PŘIPOJENÍ TČ K ELEKTRICKÉ SÍTI .....                 | 23        |
| <b>2. FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM</b> .....                            | <b>24</b> |
| 2.1 PRINCIP TECHNOLOGIE FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU .....           | 24        |
| 2.1.1 PN přechod .....  | 24        |
| 2.1.2 Standardní testy FV panelů .....                          | 25        |
| 2.1.3 Charakteristické parametry FV panelů .....                | 25        |
| 2.1.4 Voltampérová charakteristika FV článku .....              | 26        |
| 2.2 ÚČINNOST FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ .....                       | 27        |
| 2.3 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY DLE PŘIPOJENÍ NA SÍŤ .....            | 28        |
| 2.3.1 Autonomní systémy (Grid-off) .....                        | 28        |
| 2.3.2 Systémy přímo připojené k elektrické síti (Grid-on) ..... | 29        |
| 2.3.3 Hybridní systémy s akumulací .....                        | 30        |
| 2.4 ČÁSTI FVS .....   | 31        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 2.5       | MĚNIČE.....   | 31        |
| 2.5.1     | <i>Hybridní měnič</i> .....                             | 32        |
| 2.6       | AKUMULACE .....   | 33        |
| 2.6.1     | <i>Tepelná akumulace</i> .....                          | 33        |
| 2.6.2     | <i>Elektrická akumulace</i> .....                       | 34        |
| 2.7       | LEGISLATIVNÍ PODMÍNKY PŘIPOJENÍ K DISTRIBUČNÍ SÍTI..... | 34        |
| 2.7.1     | <i>Příloha 4 v PPDS</i> .....                           | 34        |
| 2.8       | NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM (NZÚ) .....                         | 36        |
| 2.8.1     | <i>Dotace z NZÚ</i> .....                               | 36        |
| 2.8.2     | <i>Seznam výrobků a technologií pro NZÚ</i> .....       | 38        |
| <b>3.</b> | <b>VÝPOČET ENERGETICKÝCH POTŘEB .....</b>               | <b>39</b> |
| 3.1       | POPIS OBJEKTU .....                                     | 39        |
| 3.1.1     | <i>Metoda TDD</i> .....                                 | 39        |
| 3.1.2     | <i>Určení elektrické spotřeby</i> .....                 | 40        |
| 3.2       | NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA .....                          | 41        |
| 3.2.1     | <i>Bod bivalence</i> .....                              | 43        |
| 3.3       | NÁVRH FV SYSTÉMU .....                                  | 44        |
| 3.3.1     | <i>Fotovoltaické panely</i> .....                       | 45        |
| 3.3.2     | <i>Výběr měniče</i> .....                               | 46        |
| 3.3.3     | <i>Výběr akumulace</i> .....                            | 48        |
| <b>4.</b> | <b>ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ .....</b>                     | <b>50</b> |
| 4.1       | VÝNOSY FVE .....  | 50        |
| 4.2       | GRAFICKÉ POROVNÁNÍ.....                                 | 51        |
| 4.2.1     | <i>Celková spotřeba rodinného domu</i> .....            | 51        |
| 4.2.2     | <i>Spotřeba tepelného čerpadla</i> .....                | 52        |
| 4.3       | EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....                             | 53        |
| 4.3.1     | <i>Finanční výnos FVE</i> .....                         | 53        |
| 4.3.2     | <i>Náklady na roční spotřebu elektřiny</i> .....        | 53        |
| 4.3.3     | <i>Pořizovací náklady a dotace z NZÚ</i> .....          | 54        |
| 4.3.4     | <i>Prostá doba návratnosti</i> .....                    | 55        |
| 4.3.5     | <i>Diskontovaná doba návratnosti</i> .....              | 56        |
| 4.3.6     | <i>Čistá současná hodnota</i> .....                     | 56        |
| <b>5.</b> | <b>ZÁVĚR.....</b>                                       | <b>59</b> |
|           | <b>LITERATURA.....</b>                                  | <b>60</b> |
|           | <b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>                    | <b>65</b> |
|           | <b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>                              | <b>67</b> |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.1 | Princip práce tepelného čerpadla, převzato z [3], upraveno autorem .....   | 12 |
| 1.2 | Grafy závislosti tepelných ztrát na venkovní teplotě: [6] A) monovalentní provoz; B) paralelně-bivalentní provoz; C) alternativně-bivalentní provoz; D) částečný paralelně-bivalentní provoz ..... | 15 |
| 2.1 | VA charakteristika FV modulu.....  | 26 |
| 2.2 | VA charakteristika v závislosti na teplotě FV článku [18] .....  | 27 |
| 2.3 | Schéma zapojení grid-off fotovoltaického systému [22] .....  | 28 |
| 2.4 | Schéma zapojení grid-on fotovoltaického systému [22].....  | 29 |
| 2.5 | Schéma zapojení hybridního fotovoltaického systému [22].....   | 30 |
| 2.6 | Obecné schéma FV pracující paralelně s distribuční sítí .....  | 31 |
| 2.7 | Rozdělení topologie zapojení střídačů .....  | 32 |
| 3.1 | Vzhled tepelného čerpadla NIBE F1245 PC [35] .....   | 42 |
| 3.2 | Bod bivalence pro tepelné čerpadlo NIBE F1245-5 PC .....   | 43 |
| 3.3 | Izolační vzdálenost pro obecné použití [31] .....  | 45 |
| 3.4 | Vzhled hybridního měniče GoodWe GW5K-ET [37] .....   | 46 |
| 3.5 | Vzhled bateriového boxu BYD 7,7 HVS [39].....  | 48 |
| 4.1 | Měsíční výnos fotovoltaické elektrárny [41] .....  | 50 |
| 4.2 | Grafické porovnání výroby FVE a spotřeby celého objektu .....  | 51 |
| 4.3 | Grafické porovnání výroby FVE a spotřeby TČ .....  | 52 |
| 4.4 | Porovnání peněžního toku investice TČ+FVE s čerpáním dotací a bez dotací.....  | 58 |

## SEZNAM TABULEK

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Technické parametry FV modulu od výrobce [17] .....                        | 25 |
| 2.2 | Účinnost různých fotovoltaických článků [21].....                          | 27 |
| 2.3 | Výše podpory pro oblast C.3 [28] .....                                     | 37 |
| 3.1 | Určení předpokládaného soudobého příkonu .....                             | 40 |
| 3.2 | Parametry tepelného čerpadla NIBE F1245 PC, typ 5 [35].....                | 42 |
| 3.3 | Parametry FV panelů [32].....  | 45 |
| 3.4 | Parametry měniče GoodWe GW5K-ET [38].....                                  | 47 |
| 3.5 | Parametry baterie BYD Premium HVS 7.7 [40] .....                           | 49 |
| 4.1 | Ceník elektřiny pro sazbu D57d dle EG.D, a.s. [42] [43].....               | 53 |
| 4.2 | Shmutí ročních provozních nákladů bez FVE a s ní .....                     | 53 |
| 4.3 | Výše dotace pro podoblast C.3–fotovoltaické systémy a C.1–zdroj tepla..... | 54 |
| 4.4 | Pořizovací náklady včetně DPH .....  | 55 |
| 4.5 | Cash Flow pro kombinaci TČ a FVE s diskontní sazbou 10 %.....              | 57 |

# ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá problematikou tepelného čerpadla a jeho vzájemnou spoluprací s fotovoltaickou elektrárnou pro rodinný dům. Dané téma je v dnešní době zvyšujících se cen za elektrickou energii velice populární, protože s touto kombinací lze zajistit velice ekonomický způsob vytápění, ale také ohřev teplé vody. Díky fotovoltaické elektrárně je zajištěna částečná soběstačnost a také beznákladový provoz tepelného čerpadla, respektive pohon kompresoru.

Nejdříve jsou objasněny nejasnosti a princip fungování tepelného čerpadla. Dále se práce zaměřuje na popis a rozdělení dle typů provozu. Jsou zde také uvedeny výhody a nevýhody jednotlivých typů a možností využití, což může pomoci při výběru TČ a jeho následnou aplikaci. Zdroj nízkopotenciální energie tepelného čerpadla je jedním z nejdůležitějších aspektů pro samotný výběr. V neposlední řadě je popsán způsob, jakým lze připojit tepelné čerpadlo k napájecí síti a na jaké věci je dobré dát pozor. Druhá část je zaměřena na popis fotovoltaického systému. I zde je popsán princip technologie, a jakým způsobem je provedena přeměna sluneční energie na elektrickou energii. Práce vysvětluje rozdíly v zapojení fotovoltaického systému a také popisuje podmínky pro připojení elektrárny k distribuční síti. Součástí vypracování je zpracování jednopólového schéma.

Cílem této práce je navrhnout systém pro konkrétní nízkopotenciální rodinný dům. Pro tento systém je určeno energetické porovnání a ekonomická návratnost investice. Při výpočtech návratnosti systému, je zohledněna možnost čerpat dotaci ze státního programu Nová zelená úsporám, která podporuje zvýšení energetické účinnosti budov a snížení emisí skleníkových plynů a dalších znečišťujících látek v ovzduší.

# 1. TEPELNÉ ČERPADLO

Tepelné čerpadlo se v dnešní době již hojně využívá a je považováno za populární zdroj tepla. Svojí funkcí dokáže přeměnit nízkopotenciální teplo odebrané z okolního prostředí a předat tam, kde je třeba. Existuje mnoho důvodů, proč se rozhodnout pro pořízení:

- Snadno dostupná energie pro jeho pohon
- Bezobslužné vytápění
- Kombinace vytápění a klimatizace
- Jedná se o ekologické vytápění, bez úniku škodlivých látek
- Levný provoz

Jako všechny vynálezy, i TČ má svoje nevýhody, které se musí zmínit:

- Vysoké pořizovací náklady
- Nutnost nepřetržité dodávky elektrické energie
- Nízká výstupní teplota vody
- V případě typu země/voda je zapotřebí dostatečná nezastavěná plocha

## 1.1 Princip funkce čerpadla

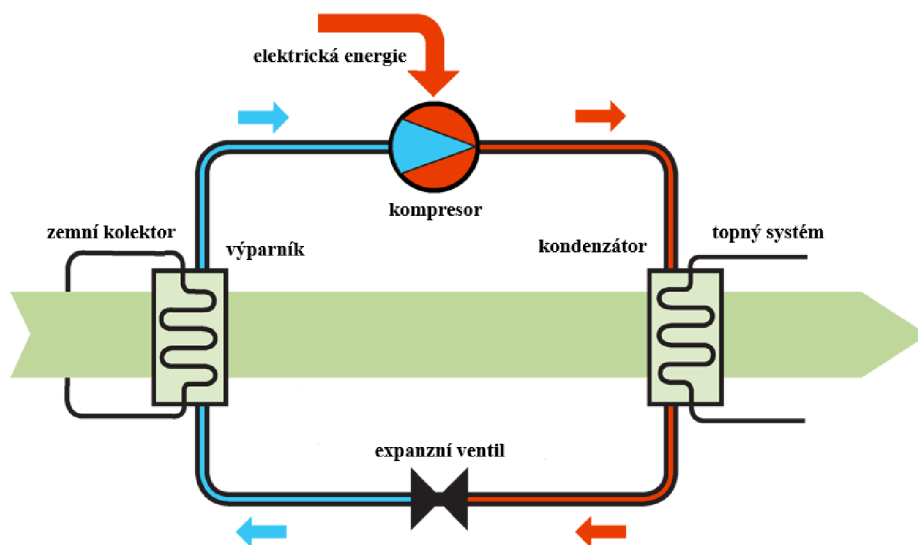
Teplo z venkovního prostředí (voda, vzduch, země) nemůže nikdy samo od sebe přejít z chladnějšího na teplejší těleso. Jinak by tento fakt popíral 2. termodynamický zákon v Clausiově formulaci: „Teplo nemůže samovolně přecházet ze studenějšího tělesa na teplejší“.[1]

Tento proces tedy musí vykonávat tepelné čerpadlo. Velkou roli zde sehraává pracovní látka, pracovní médium. V minulosti byla používána chladiva na bázi plně halogenovaných uhlovodíků (CFC), která sice nejsou jedovatá, ale zatěžují ozónovou vrstvu, proto byla později zakázána. Podobně byly zakázány částečně halogenované typy chladiv ke dni 31. 12. 2014. V současné době se využívají fluorované uhlovodíky a jejich směsi. Tato chladiva jsou již bezchlórová a nenarušují tedy ozónovou vrstvu. Mezi nejpoužívanější chladiva patří v této době R407C, R410A a R134A, což jsou sloučeniny fluorderivátů ethanu. Chladivo cirkuluje právě v okruhu tepelného čerpadla, a přitom mění svůj stav z kapalného na plynný. V primárním okruhu, respektive v zemním kolektoru cirkuluje nemrznoucí směs, která slouží pro předávku nízkopotenciální tepla pracovnímu médium.

Celý cyklus lze rozčlenit do tří částí: zdroj tepla, tepelné čerpadlo, topný systém. Cyklus je popsán pro druh tepelného čerpadla země/voda. Začíná v zemním kolektoru, kde koluje nemrznoucí kapalina. Ta se průchodem zemí zahřívá a získává tepelnou energii ze země. Ve výparníku předává tuto energii pracovnímu médium v plynné formě. Následně kompresor stlačí pracovní médium a tím získá vysokou teplotu a tlak. Při tomto ději je nutné dodávat pro pohon kompresoru elektrickou energii. V kondenzátoru se stlačené



chladiivo ochladí tak, že zkondenzuje, změní svoje skupenství z plynného na kapalné. Při kondenzaci se předává energie přes stěnu kondenzátoru do otopné soustavy, tedy vodě ústředního topení v domě. Cyklus uzavírá expanzní ventil, kde se sníží tlak chladiva na výchozí hodnotu a celý cyklus se opakuje.[2]



Obrázek 1.1 Princip práce tepelného čerpadla, převzato z [3], upraveno autorem

## 1.2 Topný faktor

Topný faktor tepelného čerpadla udává poměr vyprodukovaného tepla a spotřebované elektrické energie, jinými slovy poměr topného výkonu ku příkonu.

### 1.2.1 COP

Topný faktor je jedním z nejdůležitějších parametrů TČ. Vyjadřuje poměr přečerpaného tepla ze zdroje ku spotřebované energii, jedná se zejména o elektrickou energii dodávanou pro pohon kompresoru.

Topný faktor je bezrozměrné číslo, které lze přirovnat k efektivitě čerpadla. Hodnoty topného faktoru se pohybují v rozsahu 2,5 až 5. Když například tepelné čerpadlo z 1 kW elektrické energie na vstupu vygeneruje 4,5 kW tepla, pak má její topný faktor (COP) hodnotu 4,5. Čím vyšší hodnoty topného faktoru čerpadlo dosahuje, tím je jeho provoz efektivnější. Topný faktor není veličinou, která by byla k danému tepelnému čerpadlu trvale přiřazena. Je to proměnná veličina v závislosti na venkovních podmínkách, respektive na rozdílu vnitřní a venkovní teploty.

Pro výběr tepelného čerpadla se musí brát v potaz, při jaké vstupní a výstupní teplotě se topný faktor počítá. Nejčastěji jsou tyto parametry uváděny dle požadavků normy ČSN EN 255, v tomto případě mohou být čerpadla adekvátně porovnána. Pro tepelná čerpadla

typu země/voda se udává poměr vstupní a výstupní teploty, respektive spád 0 °C/35 °C. Realita je ovšem taková, že se elektřina musí dodávat nejen do pohonu kompresoru, ale také do oběhových čerpadel nebo ventilátorů. Spotřeba oběhového čerpadla není nijak závratná, navíc při použití jiného zdroje, například plynové kotle, by bylo nutné použití podobných čerpadel, bez kterých by systém nefungoval. Proto se spotřeba vedlejších pohonů do celkové topného faktoru obvykle nezahrnuje.

Topný faktor je příznivější, pokud je teplota výstupní vody nižší. Z toho důvodu je praktičtější instalovat do otopného systému podlahové topení, pro které je dostačující nižší provozní teplota kolem 20 až 30 °C, než kolik tomu bývá u radiátorů. [2]

### 1.2.2 SCOP

Lepším kritériem při výběru tepelného čerpadla než jmenovitý topný faktor (za standardních podmínek) je sezónní topný faktor tepelného čerpadla SCOP definovaný normou ČSN EN 14825. Sezónní topný faktor se stanoví dlouhodobým měřením, kdy se do příkonu zahrnují veškeré energie, tzn. energie na pohon kompresoru, energie pro ohřev oleje kompresoru, energie pro pohon oběhových čerpadel primárního i sekundárního okruhu a také příkony cívek elektromagnetických ventilů. Výsledné číslo SCOP je nižší než COP, ale je objektivním měřítkem energetické výhodnosti celého topného systému. Reálný topný faktor se od teoretického liší, protože je třeba zohlednit i ohřev TV, dřívě TUV, i když ji tepelné čerpadlo nezajišťuje. Negativní vliv na topný faktor bude tím větší, čím větší podíl na celkové potřebě tepla má příprava TV. Dále do reálného topného faktoru je v případě bivalentního provozu nutné zahrnout příkon doplňkového zdroje.

## 1.3 Typy provozu tepelného čerpadla

Přípravu teplé vody a otopné vody je možné zajistit jedním nebo více zdroji energie.

### 1.3.1 Monovalentní provoz

Monovalentní provoz TČ vyžaduje vysoké nároky na zdroj nízkopotenciálního tepla. Výkon čerpadla se navrhuje na tepelnou ztrátu při venkovní výpočtové teplotě, zvětšený o výkonový přírůstek pro pokrytí doby, kdy čerpadlo v době vysokého tarifu nepracuje. Monovalentní provoz se uvažuje zejména u dobře izolovaných rodinných domů, jejichž tepelná ztráta se pohybuje maximálně do 10 kW. V případě, že je teplá voda i otopná voda ohřívána jediným zdrojem energie, v našem případě tepelným čerpadlem, má obvykle příprava TV přednost před vytápěním objektu. Tepelné čerpadlo pak musí ohřát užitkovou vodu na teplotu 55 až 60 °C. Rozdíl teplot užitkové a otopné vody má nezanedbatelný vliv na provoz TČ, respektive se zhoršuje jeho účinnost. Proto je z tohoto pohledu příprava teplé vody současně s otopnou vodou tepelným čerpadlem nevýhodná. Řešení tohoto problému je takové, že tepelné čerpadlo bude pracovat pouze do výstupní teploty vody, která je pro něj energeticky výhodná. TČ by ohřívalo užitkovou vodu pouze na teplotu vody otopné soustavy, tj. na teplotu 35 až 40 °C. Tím by byl zajištěn předeřev,

následně by byla ohřáta užitková voda na konečnou výstupní teplotu zhruba 60 °C pomocí záložního (bivalentního) zdroje, nejčastěji elektrokotle, případně elektrickým topným tělesem. Pořizovací náklady tepelného čerpadla navrženého v monovalentním provozu jsou velmi vysoké a maximální navržený výkon je využit velmi zřídka. Takto navržené zařízení nepracuje v optimálním režimu a dochází k častým startům a odstávkám. [4]

### **1.3.2 Bivalentní provoz**

Tepelné čerpadlo je výhodné kombinovat se záložním zdrojem. V případě nízké venkovní teploty, kdy výkon TČ již není dostatečný, dochází k připojení bivalentního zdroje. Pro připojení náhradního zdroje je stěžejní stanovení bodu. Bod bivalence je stav, kdy se výkon TČ rovná aktuální tepelné ztrátě objektu vlivem nízké okolní teploty bivalence (u typu země/voda bývá v rozmezí -3 až -8 °C). U nižších výkonů tepelných čerpadel tedy nastává bod bivalence při vyšší venkovní teplotě. Skutečný bivalentní bod nastává při nižších venkovních teplotách než vypočtený teoretický bod. Důvodem je akumulace tepla v budově, vnitřní tepelné zisky a obvyklé rezervy ve výpočtu tepelných ztrát. Proto se neurčuje konkrétní teplota, kdy se má bivalentní zdroj tepla zapnout, ale regulátor tepelného čerpadla vyhodnocuje vývoj teploty topné vody v systému. Je důležité správně dimenzovat výkon TČ, protože při nadměrném využívání bivalentního zdroje klesá efektivita provozu čerpadla. Podíl využití bivalentního zdroje může být nastaven regulací nebo systémem spínání. U bivalentních provozů se tepelné čerpadlo navrhuje tak, aby špičkový zdroj dodával pouze 5-10 % celkové roční spotřeby tepla. [5]

### **1.3.3 Alternativně-bivalentní provoz**

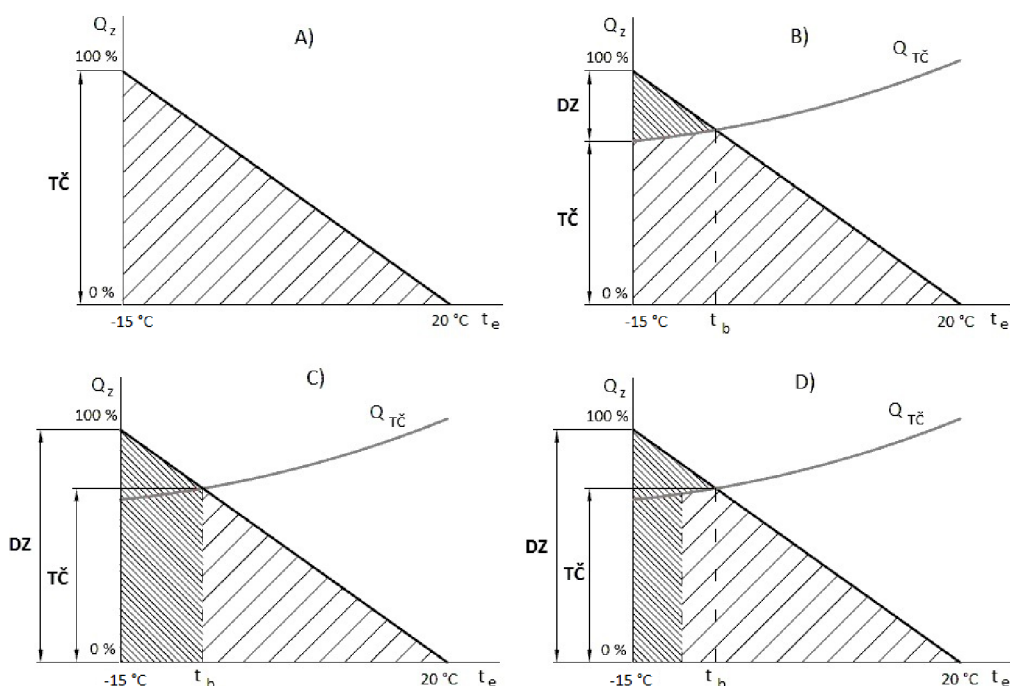
Podle způsobu průběhu využití nízkopotenciálního tepla tepelným čerpadlem se rozlišují tři druhy provozu tepelného čerpadla ve spolupráci s bivalentním zdrojem energie. V případě alternativního provozu se TČ po dosažení bivalentního zdroje vypne a veškerý provoz musí pokrýt pouze záložní zdroj. Záložním zdrojem bývá nejčastěji elektrokotel, plynový kotel, krb, nebo kotel na tuhá paliva. [4]

### **1.3.4 Paralelně-bivalentní provoz**

V případě paralelně-bivalentního provozu pracuje TČ po celou dobu topné sezóny. Při poklesu venkovní teploty na hodnotu, kdy na pokrytí tepelných ztrát objektu TČ nestačí, se připojí bivalentní zdroj energie. Oba dva zdroje jsou v provozu současně. Okamžik aktivace náhradního zdroje a dodávaný výkon řídí regulace tepelného čerpadla. Tento způsob je vhodný pro nízkoteplotní otopnou s výstupní teplotou do 60 °C. [6]

### 1.3.5 Částečně paralelně-bivalentní provoz

Jedná se o kombinaci paralelního a alternativního provozu. Jakmile dosáhne okolní teplota bodu bivalence, sepne dodatkový zdroj tepla a pracuje společně s tepelným čerpadlem. Jestliže se dostane teplota do oblasti, kde TČ zásadně ztrácí na výkonu, přestává být ekonomicky výhodné využívat TČ bivalentně a je třeba ho odpojit. Poté pracuje špičkový zdroj samostatně. Způsoby provozu jsou názorně zobrazeny na obrázku níže.



Obrázek 1.2 Grafy závislosti tepelných ztrát na venkovní teplotě: [6]

- A) monovalentní provoz;
- B) paralelně-bivalentní provoz;
- C) alternativně-bivalentní provoz;
- D) částečný paralelně-bivalentní provoz

## 1.4 Rozdělení podle zdroje nízkopotenciální energie

Tepelná čerpadla jsou nejčastěji dělena podle typu zdroje nízkopotenciálního tepla, které slouží k vytápění. Pracovní médium ve vnitřním okruhu TČ absorbuje teplo od nemrzoucí směsi ve výparníku a v kondenzátoru odevzdává teplo do vody ústředního topení, popřípadě vzduchu, který je ventilátory distribuován do místností. Jako zdroje tepla bývají nejčastěji využívány: venkovní vzduch, voda, nebo země. Existují také méně časté možnosti, jako je například využívání energie obsažené v odpadní vodě, případně odpadním vzduchu. V následujících kapitolách budou blíže popsány všechny zdroje. [7]

#### **1.4.1 Energie venkovního vzduchu**

Odebírání tepla z okolního prostředí je velmi hojně používáno. Je to dáno zejména nízkými pořizovacími náklady. TČ získávající energii ze vzduchu jsou v poslední době na vzestupu i proto, že se neustále zdokonalují parametry čerpadel a zvyšuje se tak topný faktor, který je obecně u tohoto typu nejnižší v porovnání s ostatními zdroji. Tento zdroj je vhodný v klimaticky mírných oblastech, jeho použití se nedoporučuje například v horských oblastech. Vliv na topný faktor a výkonost TČ má teplota i vlhkost vzduchu. Zejména v zimním období je čerpadlo na venkovní vzduch málo efektivní, nedokáže dodávat potřebné množství energie. Proto je nezbytný bivalentní provoz. Tepelný výměník je umístěn často venku, ale zbytek čerpadla, respektive řídicí jednotka se nachází uvnitř objektu. V tom případě se řeší problém se vznikem námrazy ve výměníku, která musí být pro bezproblémový provoz odstraněna. Energie nutná pro odtání námrazy snižuje topný faktor těchto typů čerpadel. Existují i případy, kdy TČ nemá venkovní jednotku, ale je celé umístěno uvnitř. V obou případech je venkovní vzduch nasáván ventilátory do výparníku, a to v množství řádově tisíců m<sup>3</sup>/h. Energie spotřebovaná ventilátory bývá často větší než energie nutná pro pohon čerpadla na vodu. [8]

#### **1.4.2 Energie vody**

Jako vodní zdroj energie se považuje povrchová i spodní voda. Povrchová voda se využívá jen zřídka. Je nutné, aby byl vodní tok nebo nádrž v blízkosti vytápěného objektu. Stojaté vodní nádrže a rybníky v zimě na povrchu zamrzají a v letním období jsou přístupné veřejnosti, nejsou proto vhodným kandidátem na zdroj energie. Většího uplatnění se dostává tekoucím vodám například u vodních elektráren, nebo mlýnů. Trubkový výměník se pokládá na dno a je zatížen. Spodní voda zaručuje poměrně vysoký topný výkon faktor, protože teplota vody je relativně vysoká a není během roku příliš proměnlivá. Princip čerpání tepla ze spodní vody je založen na principu více studní. Spodní voda z širšího okolí je vsakována do zdrojové studny, odtud se voda čerpá ponorným čerpadlem do TČ, kde je následně ochlazená. Ochlazená voda se odvádí do vsakovací studny. Vzdálenost obou studní by měla být dostatečná, aby voda zpětně neprosakovala do zdrojové. Systém je sice jednoduchý a levný, ale vyplývá z něj mnoho rizik. V první řadě musí být zajištěn nepřetržitý a vydatný zdroj vody, který se ověřuje dlouhodobou čerpací zkouškou. Dále musí zdrojová voda splňovat podmínky ohledně složení a její čistoty. Voda nesmí obsahovat mechanické nečistoty, kvůli případnému zanášení filtrů a výměníku TČ. Před instalací tohoto typu čerpadla je nutné provést rozbor vody pro zhodnocení výhodnosti. [8]

### 1.4.3 Energie země

Energii ze země lze získávat prostřednictvím horizontálních a vertikálních kolektorů. Množství energie, které lze ze země získat, souvisí s parametry zeminy a přítomností podzemní vody v lokalitě vytápěného objektu. Před instalací tohoto typu TČ je vhodné znát přesné parametry podloží z geologického průzkumu. Energii ze země lze čerpat třemi způsoby: energetickými piloty, plošným kolektorem nebo hlubinným vrtem. V případě energetických pilot jde o spojení konstrukčního účelu, s využitím energetického potenciálu země jako zdroje energie pro tepelné čerpadlo. Pilota je hlubinný základ ve tvaru sloupu, kterým lze přenést zatížení stavby do základové půdy. Z toho důvodu se často využívá u výškových budov. Po vnitřním obvodu ocelové armatury je navinuta smyčka z potrubí, ve které proudí nemrznoucí směs. Tyto smyčky jsou vedeny skrz základy do technické místnosti, kde se spojí a vývod je přiveden do TČ. Nevýhodou je, že energetické piloty potřebují dodávku energie, tedy v letním období se musí pilotové sloupy regenerovat, aby se teplota sloupů nedostala pod bod mrazu. Kdyby došlo ke špatnému návrhu, mohlo by dojít k poškození základu a tím narušení celé stavby. [8] Plošné kolektory absorbují teplo z horních vrstev půdy. Kolektor se umísťuje do hloubky 1,2 až 2 metry v dostatečné vzdálenosti od základů budovy, aby nedocházelo k promrzání. Jako materiál trubek plošného kolektoru je využíván polyetylen, nebo korozivzdorná ocel, například měď. Uložení potrubí je klasicky podélné, nebo může být uloženo ve tvaru spirály. Délka spirály poté závisí na tepelné ztrátě každého objektu. Průměr trubky plošného kolektoru se volí z řady 25, 32 nebo 40 milimetrů. Při dimenzování je především důležitá plošná výměra zemního kolektoru, více jak systém položení a vzdálenosti jednotlivých smyček. Nevýhodou plošného kolektoru je požadavek na velkou plochu, na které již nesmí být v budoucnu zastavěna. Velkou výhodou je přirozená regenerace půdy v letních měsících a také finanční dostupnost oproti hlubinnému vrtu.

Hlubinný geotermální vrt bývá využíván velmi často. Mezi důležité výhody se řadí zejména stálý a vysoký topný faktor. Návratnost je tedy vlivem vysoké výkonnosti rychlá, avšak pořizovací cena za hlubinný vrt je vysoká. Jedná se o zdroj, jehož teplota je nezávislá na počasí. Ve sto metrové hloubce se teplota pohybuje okolo 10 °C. Díky této poměrně vysoké konstantní vstupní teplotě je možné provozovat TČ s hlubinným vrtem v monovalentním provozu. Stejně jako u plošného kolektoru v uzavřeném systému cirkuluje nemrznoucí směs (směs vody s prostředkem proti zamrzání). V závislosti na projektovaném výkonu tepelného čerpadla je určena hloubka a počet vrtů, do nichž se uloží plastové hadice vytvarované do tvaru písmene U. Hadice se zasypou a upěchují, aby bylo dosaženo dokonalého přenosu tepla. [8]

#### 1.4.4 Teplo podloží

Uvnitř jádra země probíhá neustále nukleární rozpad prvků, díky kterému se generuje velké množství energie. Je tedy jasné, že čím hlouběji se nacházíme pod povrchem, tím se zvyšuje i teplota hornin. Obvykle se teplota hornin zvýší každých 30 metrů o 1 °C. Tepelný tok, respektive hustota zemského jádra se na území České republiky pohybuje v rozmezí  $60 \pm 10 \text{ mW/m}^2$ . Existují zde oblasti, kde je více výhodné použití TČ typu země/voda, například na Ostravsku, nebo v oblasti Krušných hor, kde dosahuje tepelný tok hodnot až  $90 \text{ mW/m}^2$ . V praxi se pro 10 kW TČ hloubí vrt o hloubce 100 až 140 metrů. Někdy se také využívá možnosti vyhloubení 2 méně hlubokých vrtů po 70 metrech. Samotný vrt má v průměru 130 až 220 milimetrů. Přímo po vyvrtání se do vrtu vsune polyethylenová hadice kolektoru. V kolektorové hadici cirkuluje nemrznoucí směs, nejčastěji se jedná o vodní roztok monoproplenglykolu, nebo se využívá monoethylenglykol. Následně se zbytek vrtu zasype jílocementovou směsí. Při využívání hlubinných vrtů se musí dbát na to, aby vrt nezamrzl. Uvnitř hadice sice koluje nemrznoucí směs, je-li ale vrt malý, hrozí zamrznutí, které je částečně způsobeno právě odběrem tepla ze země. Tepelný tok z okolních hornin nestačí pokrýt odčerpávané teplo a dochází tak k neustálému ochlazování půdy. Z toho důvodu je třeba vrt správně dimenzovat. Délka vrtů musí být dostatečná, využíváme-li vrt i přes letní období například na vyhřívání vody v bazénu. V době mimo topnou sezónu se okolí vrtu samo zregeneruje a dostane se na svoji obvyklou teplotu. Druhou možností je v případě funkce chlazení vnitřních prostor budovy regenerovat (ohřívat) hlubinný vrt reverzním chodem TČ. Pro tento případ je třeba speciálních úprav TČ. [2]

### 1.5 Funkce chlazení tepelným čerpadlem

Při chlazení, klimatizování obytných prostor se využívá obráceného principu, než je tomu při běžném vyhřívání. Na území České republiky lze zažít tropické dny, které sice netrvají dlouho, ale jsou pro člověka velmi nepříjemné. Chceme-li bydlet komfortně i přes letní období, je možné použít TČ s kombinovanou realizací vytápění i chlazení. Během teplých letních dnů dosahuje vnitřní teplota obydlí vyšších teplot, než je požadováno. Tepelné čerpadlo v tomto případě přepne do reverzního chodu a začne čerpat teplo z obytných prostor skrze podlahové nebo stropní topení. Díky obrovské ploše tohoto systému můžeme snížit teplotu v místnosti o několik stupňů. Chlazení TČ funguje ve dvou principech. Chladit dokáže aktivně, nebo pasivně.

Velkou nevýhodou tohoto způsobu chlazení je nepříjemný pocit studené podlahy, avšak teplota podlahy by se měla pohybovat kolem 20 °C, což je teplota prostředí, která je pro organismus zcela přirozená. Je možné brát v potaz i pár výhod, kterými jsou komfortní sálavé chlazení bez průvanu a teplotních šoků, nebo provoz bez hluku. U podlahového vytápění, či chlazení je důležitý výběr podlahové krytiny. Vhodnou krytinou je dlažba, vinyl, lino nebo plovoucí podlahy.

Další variantou chlazení obytných prostor je použití fancoilů. Použití fancoilů se doporučuje všude tam, kde není možné nainstalovat podlahové a stěnové vytápění. Fancoil obsahuje, jak už samotný název napovídá, ventilátor a tepelný výměník. Principově fungují podobně jako klimatizace, rozdíl je však v chladicím médiu. Zatímco u klimatizací je použito jako médium samotné chladivo, u tepelného výměníku fancoilu se pro ochlazení nebo vytápění využívá vody z topného systému tepelného čerpadla. Podle umístění se fancoily rozlišují na podparapetní, nástěnné, kazetové nebo kanálové, které jsou zapuštěné v podlaze. Nevýhodou tohoto použití je cena a zabraný prostor. Při chlazení pomocí TČ je třeba pohlídat, aby nedocházelo ke srážení vody na podlaze. Aby k tomuto problému nedocházelo, musí být teplota přívodní vody chladicího systému vyšší, než je teplota rosného bodu okolního vzduchu. V letním období má vzduch vysokou teplotu a vyšší relativní vlhkost, obsahuje tedy velké množství vodních par. Při styku vzduchu s podlahou, která má nižší povrchovou teplotu, než je rosný bod vzduchu, by docházelo ke kondenzaci vody a rosení podlahy. Z toho důvodu se používají prostorové termostaty s čidlem rosného bodu. [9]

### **1.5.1 Aktivní chlazení**

V případě aktivního chlazení se jedná o režim reverzního chodu tepelného čerpadla, kdy je v provozu oběhové čerpadlo, kompresor i kondenzátor. Teplo není odváděno ze zemního vrtu, vody nebo venkovního vzduchu, ale z obytného prostoru. Ve srovnání s pasivním režimem lze dosáhnout nižší teploty, což představuje vyšší chladicí výkon, takže požadavky na velikost teplosměnné plochy klesají. Provozní náklady jsou ale z důvodu provozu kompresoru a dalších součástí vyšší než u pasivního. V režimu aktivního chlazení se prohodí funkce výparníku a kondenzátoru tepelného čerpadla. Chladicí výkon je dostatečný v průběhu celého léta. Podle teploty chladicí vody rozlišujeme kompresorové chlazení na kondenzační a bezkondenzační. [9]

### **1.5.2 Pasivní chlazení**

Pasivní režim neboli volné chlazení představuje méně efektivní, ale také ekonomicky méně náročný proces výroby chladu. Tepelné čerpadlo je odstaveno a je využíván přirozený tok tepla z teplejšího zdroje do studenějšího. Tento způsob je využíván u tepelných čerpadel typu země/voda. Během pasivního chlazení je v provozu pouze oběhové čerpadlo, které cirkuluje vodu, jako teplonosné médium mezi chlazeným prostorem s vyšší teplotou a plošným kolektorem nebo zemním vrtem, který má nižší teplotu. Voda se v zemním vrtem přirozeně ochladí a směřuje k chlazenému prostoru, kde přijme teplo z okolí, a tím prostor ochlazuje. Díky stálé teplotě půdy v hloubce, ve které se nachází kolektor, dochází ke zpětnému ukládání energie zpátky do zemního kolektoru a dochází k regeneraci primárního okruhu. Regenerace vrtů v letním období je velice prospěšná. Má pozitivní vliv na přípravu a prohřátí zeminy na zimní období, kdy se z vrtu teplo odebírá. Tím pádem zajistí lepší topný faktor pro vytápění obydlí v zimním období.



S tím je spojená výhoda menší potřebné hloubky vrtu. Pro úspěšné řešení pasivního chlazení je zásadní kombinace vhodných stínících prostředků (žaluzie, slunolamy, atd.) a chladicího systému (ideálně velkoplošné chlazení). Bez použití základních stínících prostředků jako jsou např. vnitřní žaluzie, nemá pasivní chlazení velkou, ani dlouhodobou šanci na úspěch.

## **1.6 Vlastnosti budov**

Důležitým faktorem pro ekonomické fungování TČ je dostatečná izolace a zateplení objektu. Důvodem je snaha o minimalizaci nákladů na zbytečně výkonné čerpadlo. Investice do kvalitního zateplení budovy se vyplatí, protože se v průběhu let navrátí tato investice díky velmi nízkým ztrátám. Kdežto nadměrné investování do výkonnějšího tepelného čerpadla se již nikdy nevrátí. Dalším z důvodů, proč je dobré investovat do kvalitního zateplení, je možnost využít zisku dotací od státu. V dnešní době je možnost získat dotaci z programu NZÚ (Nová zelená úsporám 2021+). Tepelná náročnost se určuje dle výpočtů a je rozdělena do kategorií A – mimořádně úsporná budova, až po kategorii G – mimořádně nevyhovující budova. Pro zajištění maximální efektivity tepelného čerpadla, by měla být výstupní teplota vody co nejnižší. Tento předpoklad se zajistí při malém teplotním spádu, kdy voda vstupující do podlahového topení má teplotu 40 °C a na výstupu by měla voda teplotu 30 °C. V porovnání se starými vytápěcími soustavami, které byly často hodně předimenzované a disponovaly teplotním spádem 65/55 °C. Nicméně tuto výhodu omezoval fakt, že kotle byly obsluhované ručně, a proto se přes noční pauzu interiéry znovu ochladily. Neomezeným ohřevem přes noc, tepelné čerpadlo kompenzuje malou předávací plochu skrz podlahu. [2]

### **1.6.1 Tepelná ztráta budov**

Dimenzování tepelného čerpadla se uskutečňuje podle požadované teploty vnitřních prostor, která většinou bývá okolo 20 až 22 °C, i za podmínek, kdy venkovní teploty klesají pod -15 °C. Respektive záleží, v jakých klimatických podmínkách a oblastech se nachází daný objekt. TČ se pak dimenzuje na takový výkon, aby odpovídal 50 až 80 % tepelných ztrát pro bivalentní provoz. Tepelné čerpadlo se nedimenzuje na maximální výkon, protože by to bylo neekonomické. Je tedy vhodné dodatečně doplnit dalším, tzv. špičkovým zdrojem tepla. Nejčastěji se jedná o plynokotel, nebo elektrokotel. Plynokotel dále může posloužit jako záloha při náhlém výpadku elektrické energie, nebo poškození čerpadla. Bivalentní provoz má zásadní nevýhodu ve zvyšování kapacity elektrické přípojky. Vlivem navýšení na přípojku rostou měsíční platby za jistič. Jako druhý zdroj tepla může posloužit také krb, který není nikterak propojený na tepelnou soustavu a lze jej využít při nízkých teplotách, nebo výpadech v síti. [2]

Monovalentní provoz tepelného čerpadla je využíván u moderních, dobře zaizolovaných RD, jejichž tepelná ztráta je velmi malá. Mezi tyto stavby lze zařadit nízkoenergetické a pasivní domy. Nízkoenergetická stavba je v pořizovacích nákladech vyrovnána s klasickou novostavbou, avšak v budoucnu dokáže ušetřit nemalé finance. Nízkoenergetický dům se vyznačuje nízkou spotřebou tepla, která by ročně neměla přesáhnout 50 kWh/m<sup>2</sup>. V porovnání s pasivním domem, nízkoenergetický dům potřebuje výkonnější zdroj tepla, u pasivního domu je dostačující instalace záložního zdroje v podobě krbových kamen. Pasivní dům by měl ročně spotřebovat maximálně 15 kWh/m<sup>2</sup>. Dále je nutné u pasivních domů zařídit řízené větrání. Běžné větrání okny nepřipadá v úvahu, jelikož vznikají velké tepelné ztráty. U pasivního domu je větrání řízeno vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací tepla. Okna disponují velmi nízkými tepelnými ztrátami a slouží jako solární kolektory. Celkově jsou tepelné ztráty u pasivního domu tak nízké, že není třeba běžný vytápěcí systém. [11]

## 1.7 Řídící jednotky pro tepelné čerpadlo

Pojem tepelné čerpadlo nepředstavuje pouze venkovní jednotku, primární a sekundární okruh nebo akumulaci nádrž. Součástí veškerých komponentů je také řídicí jednotka, která dohlíží na efektivní fungování a kooperaci celé sestavy. Řídící jednotka by se dala chápat jako procesor počítače, který vydává veškeré povely pro spuštění daných akcí. V dřívějších dobách byla regulace topení manuální záležitostí, kdy se pomocí kohoutů regulovalo množství teplé vody a tím se regulovala teplota.

### 1.7.1 Ekvitermní regulace

V dnešní době lze najít na trhu řídicí jednotky, které jsou lepší a horší. V tom případě se rozlišuje řídicí jednotky na dvoustupňové, které jsou velmi omezené a spínají pouze do stavu zapnuto a vypnuto. Dražší a efektivnější jednotkou je typ vícestupňové, která dokáže regulovat výkon tepelného čerpadla v závislosti na počasí a potřebách, zároveň zajišťuje maximální topný faktor.

Řídící jednotka zajišťuje optimální provoz venkovní jednotky s bivalentním zdrojem. To znamená, že určuje, kdy má TČ dostatečný výkon na to, aby zajistila požadované podmínky pro otopný systém. V případě velkých mrazů, kdy by čerpadlo výkonově nestačilo, zajišťuje sepnutí sekundárního zdroje tepla – elektrického kotle. Spuštění dotopného systému musí řídicí jednotka vyhodnotit tak, aby byl zachován ekonomicky úsporný provoz. V případě, kdy je výkon čerpadla dostačující, dává řídicí jednotka povel pro vypnutí sekundárního zdroje a pokračuje v běžném režimu. Na základě predikce počasí je řídicí jednotka schopna vyhodnotit, zda je ekonomické vytápět akumulaci nádrž, nebo topit přímo do topného systému. Pro tento případ musíme do řídicí jednotky přivést výstupní teplotní sondy. Na základě naměřených dat je schopna jednotka optimalizovat chod systému. Další vlastností, kterou by měla každá řídicí jednotka disponovat, je ekvitermní regulace. Ta zajišťuje, aby v rodinném domě, či objektu byla

zajištěna požadovaná teplota, bez ohledu na to, jaká je venkovní teplota. Tedy když se venkovní teplota sníží, musí ekvitermní regulace zvýšit výstupní teplotu topné vody tak, aby pokryla zvyšující se tepelné ztráty objektu. Dále je možnost využít řídicí jednotku pro ohřev vody v bazénu. Právě v létě čerpáme pomocí fotovoltaických panelů nejvíce energie ze slunečního záření a byla by škoda toho nevyužít. Teplo je do bazénu předáváno pomocí bazénových výměníků. Řídicí jednotka se může postarat také o spouštění bazénové filtrace. [12]

Díky řídicí jednotce lze maximálně využívat speciální sazby za cenu elektřiny, která je poskytnuta distributorem v případě, kdy využíváme tepelné čerpadlo pro vytápění objektu. Jedná se o dvoutarifní sazbu, kdy máme možnost využívat spotřebu elektrické energie zejména v nízkém tarifu. Nízký a vysoký tarif byl zaveden z důvodu regulace spotřeby elektrické energie. V době, kdy je v síti malý odběr elektrické energie, dochází k nestabilitě. Z toho důvodu se pomocí hromadného dálkového ovládní (HDO) aktivuje nízký tarif a tím dochází k automatickému připojení spotřebičů k síti. [12]

### **1.7.2 Invertní řízení**

Invertní řízení umožňuje regulovat topný výkon TČ dle aktuální potřeby. Tohoto řízení se využívá v obdobích s vysokým počtem teplých dní. Zejména v létě, kdy hrozí velký přebytek výkonu, ale také v teplých dnech na jaře, či na podzim. Na rozdíl od spínaných systémů vypnuto/zapnuto, které v případě dosažené cílové teploty čerpadlo vypínají, umožňuje měnit plynule výkon zařízení. Je tak schopno pružně reagovat na změny počasí i momentální požadavky spotřeby. V praxi to znamená, že pokud potřebuje topná soustava menší výkon, venkovní jednotka se přizpůsobí a dodá jen potřebné množství tepelného výkonu. Je tak snižována spotřeba energie, zvyšuje se spolehlivost a životnost čerpadla. Tepelná čerpadla s invertním řízením jsou výhodné pro maximální využití vyrobené energie ve spojení s fotovoltaikou. [13]

### **1.7.3 Sazby elektrické energie**

Dvoutarifní sazby jsou určeny především domácnostem, které vytápějí elektřinou a mají tedy vyšší spotřebu. Využívají se zde dvě různé ceny elektřiny – nižší, označovaná jako nízký tarif (NT) a vyšší, označovaná jako vysoký tarif (VT). Každá dvoutarifní sazba u konkrétního dodavatele má přesně určené hodiny, kdy lze využít nízký tarif. Jedná se tedy o nabídnutí levnějších cen elektřiny v denní a noční době, kdy není celkový odběr ve společnosti tak vysoký a elektřinu je potřeba spotřebovat. Sazby elektřiny se rozdělují do několika skupin, v závislosti na tom, jaké typy spotřebičů se v objektech využívají. Nejběžnější sazbou je D02d, která je určena pro domácnosti se střední spotřebou elektrické energie. V domácnosti se využívá klasických spotřebičů, jako například pračka, myčka, lednička a dále elektrické spotřebiče pro osvětlení. Sazba, do které je domácnost zařazena, se řídí určitými podmínkami. Jedna z hlavních podmínek je

dostatečná hodnota hlavního jističe na daném odběrném místě (daná spotřebou elektrické energie). Procedura změny sazby bývá proto často spojena s výměnou hlavního jističe. V domech vytápěných tepelným čerpadlem se využívá elektrické sazby označené D55d a od dubna roku 2005 sazbou s označením D56d, která má tu podmínku, že TČ musí pokrýt alespoň 60 % tepelných ztrát. Tarif D57d je určen pro domácnosti využívající přímotop, hybridní vytápění nebo tepelné čerpadlo, které o sazbu zažádaly po 1. 4. 2016. Nízký tarif pro tyto sazby může být denně čerpán po dobu 20 hodin. [14]

## **1.8 Zásady připojení TČ k elektrické síti**

Pro provoz TČ je nutné dodávat elektrickou energii kompresoru, díky kterému koluje pracovní látka v oběhu. Při rozběhu kompresoru dochází k prudkému nárůstu zapínacího proudu, který se po krátké době ustálí a je odebírán jmenovitý proud. Poskytovatelé distribučních sítí se snaží o eliminaci těchto proudových nárůzů tak, že stanovují maximální možné startovací proudy. Pro případy, kdy startovací proud přesahuje daný limit, je nutné osadit obvod frekvenčním měničem s funkcí softstart, nebo je možné zapojit předřadnou tlumivku. Softstart, v češtině měkký start, má za cíl krátkodobě snížit proudové nárazy a postupně zvedat napájecí napětí při spouštění motoru. Dokáže snížit náběhový proud až o třetinu. Dle tabulek se instaluje požadovaná velikost hlavního jističe pro kotelnu v závislosti na výkonu TČ. Nesmíme také zapomenout na odpovídající typ přívodního kabelu pro napájení TČ. V kotelně se umístí podružný rozváděč pro tepelné čerpadlo s přivedeným přívodním kabelem a dále kabel pro ovládání stykače signálem HDO, pro blokadu TČ ve vysokém tarifu. Samotné napájení TČ může být provedeno jednofázově. Obvykle je levnější, ale potřebuje vyšší hlavní jistič v domě a s tím jsou spojeny i vyšší paušální poplatky. Výkonnější tepelná čerpadla jsou většinou připojena na sdružené napětí. [8]

## 2. FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM

Fotovoltaické systémy se staly už v blízké minulosti důležitou součástí RD a komerčních budov výroby elektrické energie z obnovitelného zdroje, slunečního svitu. Je to jeden z mnoha způsobů, jakým lze zajistit pro budovu energetickou soběstačnost a nezávislost. Proto se fotovoltaických instalací využívá i v odlehlých, rekreačních místech, která nejsou propojena s distribuční soustavou. Jedná se o obnovitelný zdroj, který v provozu neprodukuje žádné emise znečišťujících látek nebo oxidu uhličitého. Je to způsob, jakým lze respektovat zelenou dohodu (Green Deal) České republiky vůči Evropské unii, na podporu snížení emisí skleníkových plynů a dlouhodobé udržitelnosti. Tímto by se mělo docílit, aby Evropa byla klimaticky neutrálním kontinentem.

### 2.1 Princip technologie fotovoltaického systému

Metoda přeměny slunečního záření spočívá ve fotovoltaickém jevu, který byl poprvé popsán v roce 1839 A. E. Becquerelem. Princip jevu spočívá v dopadu slunečního záření – fotonu na povrch fotovoltaického (polovodičového) článku. Při tom dochází k emitaci (uvolňování) elektronů, jejichž hromaděním vzniká stejnosměrné elektrické napětí. Připojením tohoto napětí na elektrický obvod vzniká stejnosměrný elektrický proud. Vlastní fotovoltaické systémy pak představují spojení fotovoltaických součástek v řetězec, který je ukončen elektrickými spotřebiči. Stejnosměrným proudem lze dobíjet akumulátory, nebo napájet stejnosměrné elektrospotřebiče. Stejnosměrný proud může být pomocí moderních frekvenčních střídačů přeměněn na proud střídavý, který se využívá například pro ohřev vody pomocí tepelného čerpadla, případně lze elektřinu dodávat do veřejné distribuční sítě. [15]

#### 2.1.1 PN přechod

K přeměně sluneční energie dochází skrze fotovoltaický článek, který je složen z PN přechodu. Tento přechod obsahuje polovodiče typu P (positive) s přebytkem děr a polovodičový materiál typu N (negative) s převahou záporně nabitých elektronů. Spojením polovodičů typu P a N dochází ve snaze vyrovnání koncentrací k difúzi elektronů do části P a děr do části N. Zadní kontakt, který je tvořen kovovou vrstvou, slouží k odvedení kladných nosičů náboje z fotovoltaického článku. A přední kontakt slouží k odvedení záporných nosičů náboje. Na rozmezí PN přechodu vzniká po vybuzení kladných a záporných iontů napěťový potenciál cca 0,5 až 0,6 V. Základním materiálem polovodičového přechodu je čtyřmocný křemík, nebo germanium. Oba prvky disponují čtyřmi elektrony v poslední valenční vrstvě. Při dodání energie zvenci, například sluneční energie, se valenční elektrony uvolní a vzniká vlastní vodivost. Při každém přesunu elektronu vzniká v původní vazbě prázdný prostor, díra. Díru lze chápat jako kladně nabitý elektrický nosič. Pokud atom z vedlejšího atomu zaplní tuto mezeru, díra poskočí

v opačném směru, než je pohyb elektronů. Po připojení vnějšího napětí na PN přechod dojde k pohybu elektronů ke kladnému pólu a děr k zápornému pólu. Tímto způsobem vzniká v polovodiči stejnosměrný proud.

### 2.1.2 Standardní testy FV panelů

Testování fotovoltaických panelů probíhá při standardních podmínkách, označované z anglické literatury jako STC (Standard Test Condition). Elektrický výkon krystalických křemíkových a tenkovrstvých FV modulů se obecně měří za standardních testovacích podmínek, to zajišťuje relativně nezávislé porovnání a zhodnocení výkonu různých solárních modulů. STC je standard pro indikaci výkonu modulů a specifikuje teplotu článku na hodnotu 25 °C a ozáření 1 kW/m<sup>2</sup> se spektrem slunečního záření 1,5 (AM1,5). Tyto hodnoty odpovídají ozáření a spektru slunečního světla dopadajícího na zem pod úhlem 45 °, během jasného slunečního poledne. Měření výkonu založená na STC se používají v testech mnoha výrobců. Dalším srovnávací kritériem jsou NOCT podmínky, při kterých je modul většinou dlouhodobě provozován a při kterých výrobce často uvádí také „druhé“ hodnoty maximálního výkonu, napětí a proudu. Tyto podmínky jsou bližší reálným pracovním podmínkám, oproti laboratorním STC podmínkám. Za NOCT se považuje: intenzita záření 0,8 kW/m<sup>2</sup>, teplotu okolí 20 °C, teplotu článku 47 °C a rychlost proudění větru 1 m/s. [16]

### 2.1.3 Charakteristické parametry FV panelů

Stejně jako elektromotory mají i fotovoltaické moduly své nominální hodnoty, které charakterizují vlastnosti panelu. Tyto hodnoty můžeme nalézt v technické specifikaci modulu nebo na samotném štítku FV modulu.

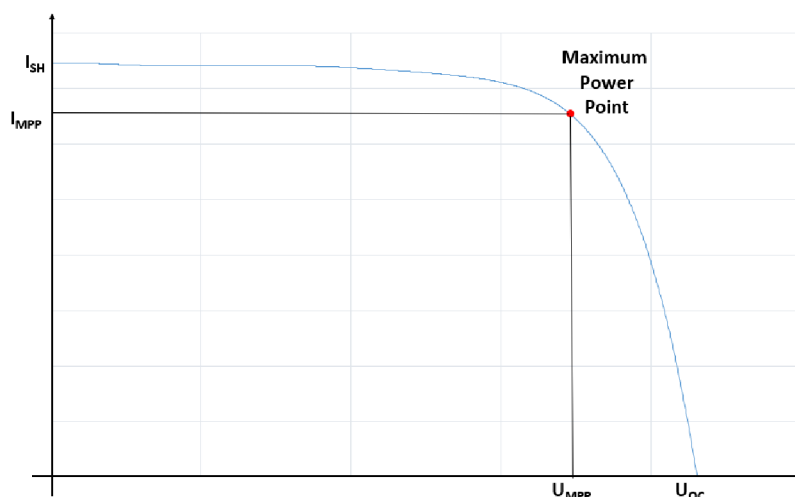
Tabulka 2.1 Technické parametry FV modulu od výrobce [17]

| Veličina                             | Označení                  | Jednotka |
|--------------------------------------|---------------------------|----------|
| Jmenovitý výkon                      | $P_{mpp}$                 | Wp       |
| Jmenovité napětí                     | $U_{mpp}$                 | V        |
| Jmenovitý proud                      | $I_{mpp}$                 | A        |
| Napětí naprázdno                     | $U_{0c}$                  | V        |
| Proud nakrátko                       | $I_{sc}$                  | A        |
| Účinnost modulu                      | $\eta$                    | %        |
| Zatížitelnost zpětným proudem        | $I_R$                     | A        |
| Teplotní koeficient napětí naprázdno | $U_{oc}(T_{min}/T_{max})$ | %/K      |
| Teplotní koeficient proudu nakrátko  | $I_{sc}(T_{min}/T_{max})$ | %/K      |

### 2.1.4 Voltampérová charakteristika FV článku

Výkony FV článku se dají určit pomocí voltampérové charakteristiky. Proud  $I_{SH}$  je protékající zkratový proud při spojení modulu nakrátko a  $U_{OC}$  je napětí při chodu naprázdno. Bod, kde se obdélník dotýká křivky, je označován jako Maximum Power Point (MPP). Je to bod při maximálním napětí  $U_{MPP}$  a proudu  $I_{MPP}$ , kdy FV modul dodává právě maximální výkon. Výkon i generovaný proud FV modulu je samozřejmě závislý na množství zachycených fotonů, a tedy na intenzitě záření. Maximální výkon lze vyjádřit jako:

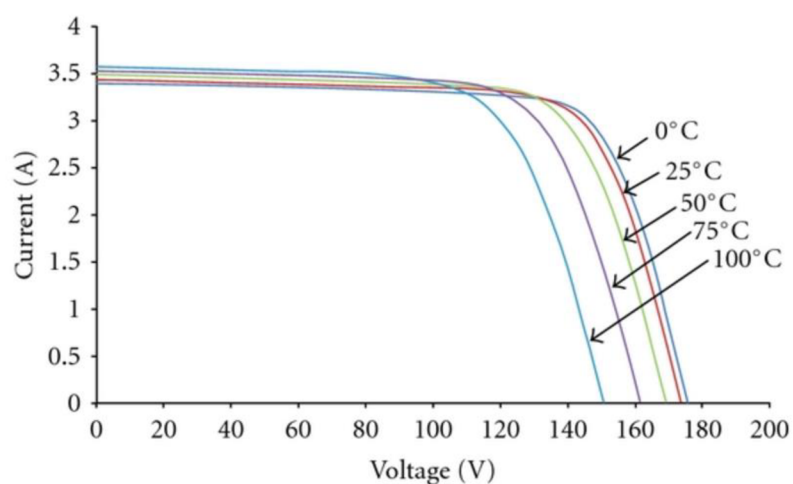
$$P_{MPP} = U_{MPP} \cdot I_{MPP}, (W; V; A) \quad (2.1)$$



Obrázek 2.1 VA charakteristika FV modulu

Výkon je také závislý na teplotě. Čím teplejší je článek, tím se zhoršuje jeho výkonost. Je to ovlivněno zejména poklesem napětí naprázdno. Jak je z obrázku patrné, tak proud nakrátko se téměř nemění. Při instalaci panelů je dobré pamatovat na to, aby panely nebyly ukotveno natěsno vedle sebe. Je dobré ponechat mezeru mezi každým panelem pro případnou cirkulaci větru, čímž se dosáhne ochlazení panelů a maximalizaci jejich výkonu.

Téměř všechny moduly jsou osazeny přemost'ovacími (by – pass) diodami, které zajišťují, aby fotovoltaický modul dodával maximální výkon, i když je část panelu zastíněna.



Obrázek 2.2 VA charakteristika v závislosti na teplotě FV článku [18]

## 2.2 Účinnost fotovoltaických článků

Účinnost FV článku neustále roste, díky výzkumu a vědě se v laboratořích neustále vyvíjí a zdokonalují články tak, aby byly schopné přeměnit co nejvíce sluneční energie na energii elektrickou. V dnešní době se účinnost FV pohybuje v rozmezí 13 až 20 %. U nejlepších komerčních článků se účinnost pohybuje kolem 22 %. U experimentálních pokusů bylo docíleno dokonce až 24,7 %. Teoretické maximum pro jeden přechod je stanoveno na 34 %. Vyšší efektivity se z fyzikálního hlediska nedá dosáhnout. Maximální účinnost přeměny slunečního záření na elektřinu určuje Shockleyův–Queisserův limit. Limit závisí na šířce zakázaného pásu použitého polovodiče. Plně jsou využity pouze fotony, jejichž energie odpovídá šířce tzv. zakázaného pásu, například pro křemík je to 1,1 eV. Fotony s nižší energií článkem projdou nebo jsou pohlceny materiálem bez využití její energie, která se následně přemění na teplo. Fotony s vyšší energií mají využitelnou pouze tu část, která odpovídá šířce zakázaného pásu, přebytek energie se rovněž přemění na teplo. Tyto limity jsou uvedeny pro jednovrstvé články první a druhé generace při definované intenzitě slunečního záření. [19] [20]

Tabulka 2.2 Účinnost různých fotovoltaických článků [21]

| Materiál článku        | Maximální laboratorní účinnost (%) | Maximální provozní účinnost (%) | Plocha potřebná na 1 kW (m <sup>2</sup> ) |
|------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|
| Monokrystalický křemík | 18,5                               | 21,5                            | 6,7                                       |
| Polykrystalický křemík | 18,5                               | 15,0                            | 7,2                                       |
| Amorfní křemík         | 12,7                               | 8,0                             | 16,7                                      |
| CdTe                   | 16,5                               | 10,0                            | 14,3                                      |
| Koncentrátové články   | 40,7                               | 35,0                            | 3,6                                       |



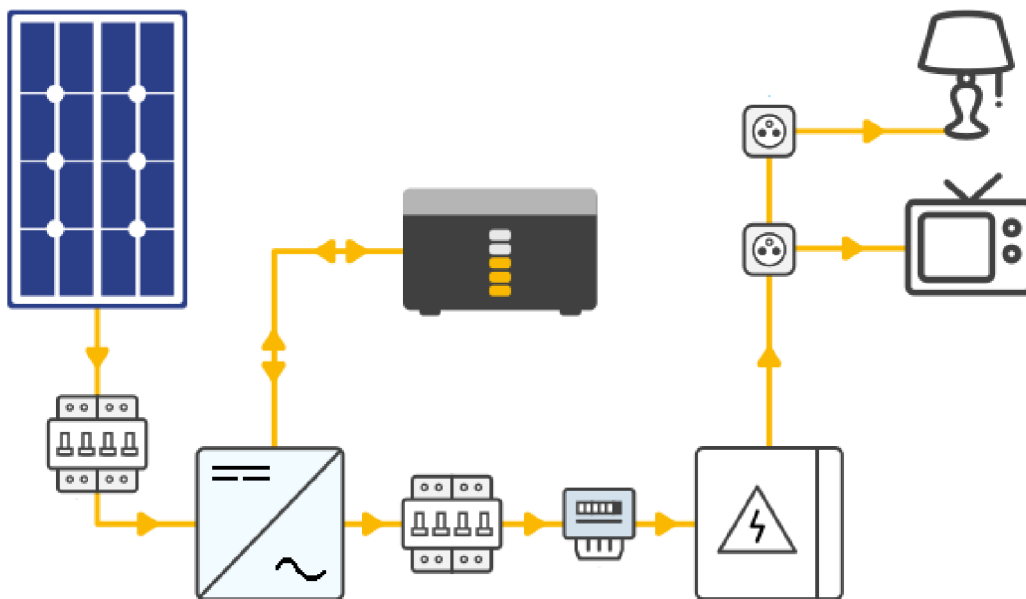
## 2.3 Fotovoltaické systémy dle připojení na síť

FVS můžeme rozdělit dle způsobu zapojení do třech základních typů. U těchto zapojení se rozlišuje, zda je, či není přímo připojená k distribuční síti, případně může částečně kombinovat obě tyto varianty.

### 2.3.1 Autonomní systémy (Grid-off)

Známé také pod názvem ostrovní systémy, kterých se využívá v odlehlých místech, kde není dostupná distribuční síť. Tento systém je z hlediska používání nejstarší. Jedná se o přímé spojení FV panelu, který napřímo nabíjí určitý spotřebič.

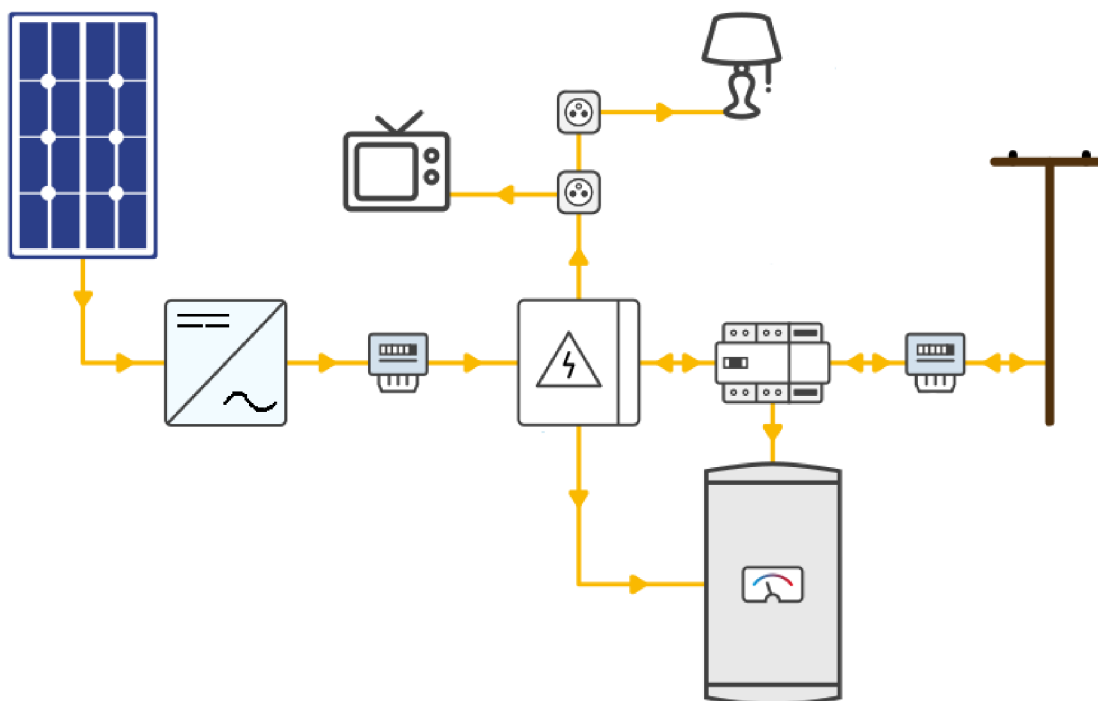
V typickém novodobém ostrovním systému nechybí akumulace energie do baterie, která je konstruována na pomalé vybíjení a nabíjení. K systému lze připojit spotřebiče napájené stejnosměrným proudem. Kdybychom chtěli napájet spotřebiče střídavým napětím, je nutné doplnit systém o napěťový střídač. Autonomních systémů se nejčastěji využívá v hausbótech a jachtách, na chalupách nebo u zahradních domků. Na obrázku je zobrazena výroba elektrické energie z FV panelu, který je chráněn a jištěn proti přepětí. Z měniče se ukládá (stejnosměrná složka) elektrická energie buď do baterií, nebo je vedena skrze domovní rozváděč s elektroměrem a následně spotřebována v domácích spotřebičích. [19]



Obrázek 2.3 Schéma zapojení grid-off fotovoltaického systému [22]

### 2.3.2 Systémy přímo připojené k elektrické síti (Grid-on)

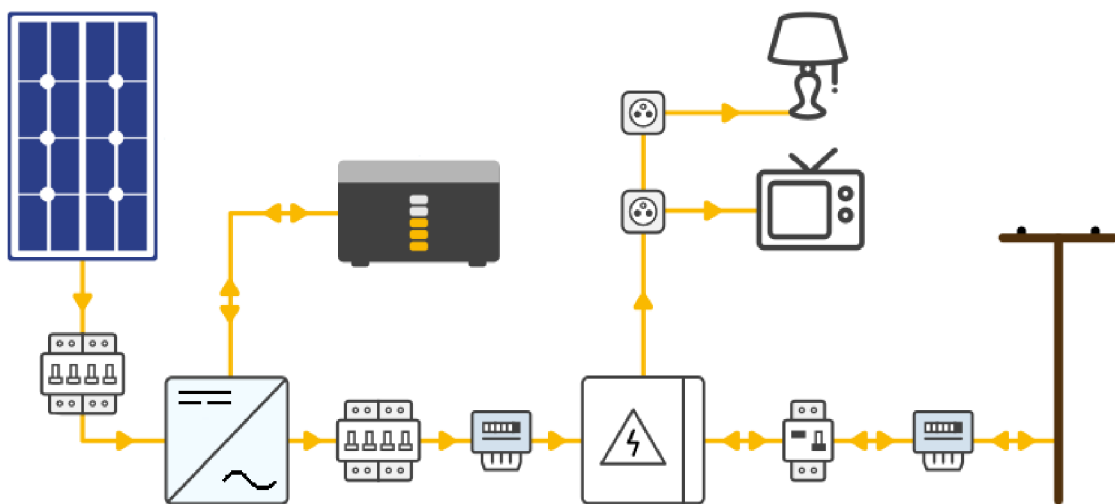
Pro grid-on systém je typické připojení na elektrorozvodnou síť. Systém je vybaven chytrým střídačem, který si nejprve zjistí parametry sítě a následně se ve vhodný okamžik připojí, tomu se odborně říká přifázování. Po přifázování musí střídač pracovat paralelně se sítí a musí respektovat normy pro připojení k distribuční síti. FVS prvotně napájí spotřebiče vlastní energií a v případě přebytků začne dodávat energii do sítě, čímž je možné získat úhrady za každou dodanou kWh elektrické energie. Z ekonomického hlediska je mnohem výhodnější spotřebovat veškerou energii v místě výroby, než ji dodávat do distribuční sítě. Sestava neobsahuje bateriové úložiště. Na obrázku vidíme možnost, se kterou lze minimalizovat přebytky, které by otekly do distribuční sítě. Pro maximální využití lze instalovat bojler pro ohřev vody. Na obrázku jsou dva elektroměry. Elektroměr ze strany FV měří elektrickou výrobu, kdežto domovní elektroměr před připojením na distribuční síť sčítá a odečítá výkon, který je zakoupen z distribuční sítě. Tento elektroměr je čtyřkvadrantní. Čtyřkvadrantní elektroměr slouží pro měření energie až ve čtyřech kvadrantech (složka činná – odběr/dodávka, složka jalová – induktivní/kapacitní). Obsahuje vnitřní zálohované hodiny, které tvoří měřicí periodu a řídí tarifní spínání. V paměti elektroměru se ukládají stavy celkové spotřeby, spotřeby v jednotlivých tarifech, výkonová maxima v tarifech a stavy všech registrů při posledních 3 odečtech. [19]



Obrázek 2.4 Schéma zapojení grid-on fotovoltaického systému [22]

### 2.3.3 Hybridní systémy s akumulací

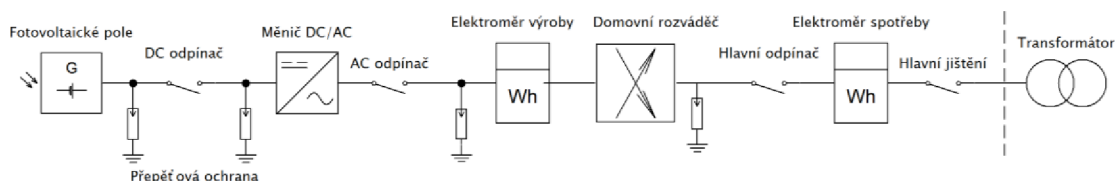
Jedná se o kombinaci klasické síťové elektrárny a autonomního systému. Výhodou hybridních systému oproti grid-on zapojení spočívá v maximalizaci využití energie pro vlastní spotřebu v místě výroby. Výhodou systému je inteligentní hybridní měnič, který dokáže přeměňovat přebytečnou energii v reálném čase, či s řízeným zpožděním do předem určených spotřebičů (tepelné čerpadlo, bojler, klimatizace, mrazák, bazén apod.). Při výpadku energie se systém chová jako záložní zdroj. Nevýhoda tohoto systému spočívá ve vyšší pořizovací ceně. Hybridní systém s akumulací do baterie je použit v praktické části.[19]



Obrázek 2.5 Schéma zapojení hybridního fotovoltaického systému [22]

## 2.4 Části FVS

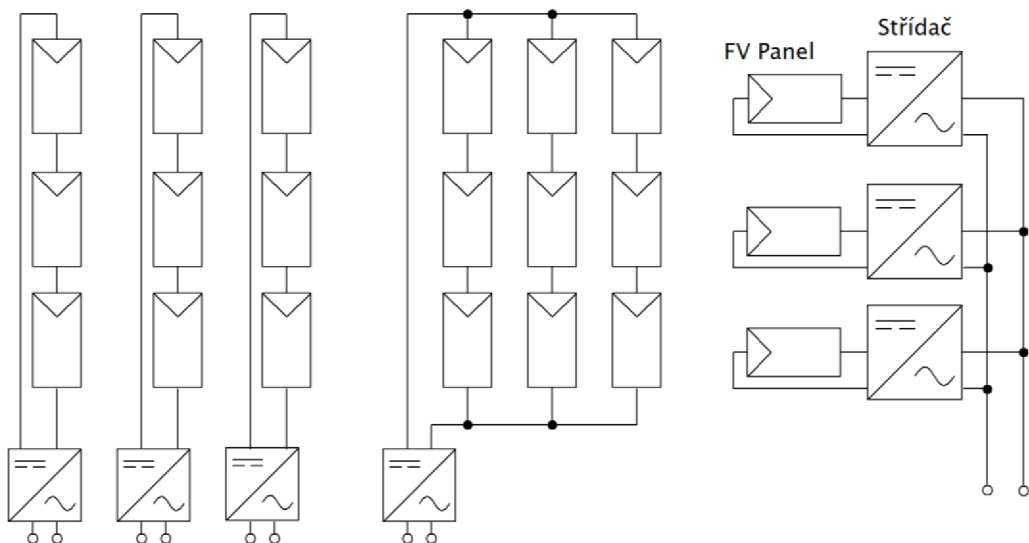
Složení celého fotovoltaického systému záleží na účelu použití. Obecně platí, že většinu z celkových pořizovacích nákladů tvoří panely, nosná konstrukce panelů a inventory. Pro všeobecné zapojení FVS připojeného k elektrické síti, tedy ke Grid-on systému, je možné použít toto schéma. Zdrojem elektrické energie je fotovoltaické pole, které je spojeno s měničem. V případě více paralelně řazených stringů je třeba zajistit ochranu fotovoltaických panelů proti zpětným proudům a nadproudovou ochranu kabelů fotovoltaického pole při poruše. Současně je zde řešena ochrana proti přepětím. K zajištění údržby měniče je nutné splnit požadavek na jeho možné odpojení od AC i DC strany, proto jsou u měniče instalovány DC a AC odpínač. V případě, že je funkčně zajištěno, aby vypnutí (zapnutí) DC strany probíhalo vždy bez zátěže, tzn. že AC strana bude vypínána dříve a zapínána následně, pak lze na místě DC strany použít i odpojovač.[23]



Obrázek 2.6 Obecné schéma FV pracující paralelně s distribuční sítí

## 2.5 Měniče

FV panely generují stejnosměrný proud. Pro připojení FV elektrárny k elektrorozvodné síti, je nutné stejnosměrný proud převést na střídavý. Zařízení, které umožňuje tuto přeměnu, se nazývá měnič, střídač, nebo také invertor. Většina dostupných měničů je také schopna poskytovat informace o výrobě elektrické energie. Základním a jedním z nejdůležitějších parametrů měničů je dodávka co nejvyššího výkonu s minimem ztrát. Tento požadavek může být zajištěn například odstraněním transformátoru, čímž poklesnou také ztráty. Další možností je využití zařízení pro sledování bodu maximálního výkonu, které nám změnou vstupního odporu zajišťuje ideální provozní vlastnosti střídače. Toto zařízení se nazývá MPP tracker. Přifázování střídače k elektrorozvodné síti je u většiny střídačů plně automatizováno. Z kmitočtového hlediska můžeme měniče rozdělit na ostrovní a síťové. Z hlediska zapojení FVE je možné rozdělit na tři základní skupiny, které jsou zobrazeny na obrázku níže.



Obrázek 2.7 Rozdělení topologie zapojení střídačů

- Vlevo: Řetězcové nebo swingové střídače (ke každému střídači je připojeno několik FV panelů vzájemně propojených do série, případně paralelně).
- Uprostřed: Centrální střídače (k střídači jsou připojeny stovky až tisíce FV panelů).
- Vpravo: Modulové střídače (k střídači je připojen pouze jeden FV panel).

Modulové střídače se využívají pouze pro malé aplikace. Elektrárny středních velikostí využívají řetězcové střídače a velké elektrárny využívají centrální střídače. Dle síťové připojení k rozvodné síti se střídače dělí na on-grid, které jsou připojeny a off-grid, které pracují v ostrovním režimu. Čistý on-grid systém je určen pro elektrárny, které slouží pouze pro dodávku energie do elektrické rozvodné sítě. Příkladem mohou být velké elektrárny na polích. Tento systém je v dnešní době již na ústupu vzhledem k nízké ceně výkonu. Dnešním trendem jsou spíše střídače v kombinovaném zapojení. Kombinované zapojení využívají hybridní střídače, které jsou popsány v další kapitole.

### 2.5.1 Hybridní měnič

Hybridní měniče jsou kombinací síťových a ostrovních měničů. Vynikají hlavně tím, že jsou schopny optimalizovat a vyrovnat rozdíly mezi nestabilní výrobou a spotřebou elektrické energie. Jejich provoz tak vyjde daleko výhodněji vzhledem k využitému výkonu. Celý systém za použití tohoto měniče vyjde tak výhodněji i po finanční stránce. Hybridní měniče je možné také rozdělit podle zapojení na jednofázové nebo třífázové. Jednofázové zapojení měniče je pro Českou republiku ne příliš použitelné. Většina domů je totiž připojena na třífázovou distribuční síť a domovní zapojení spotřebičů je rozfázováno. Jednofázový měnič pak dodává energii jen pro jednu fázi a zbytek energie

u dalších fází se nakupuje, což není ekonomicky rentabilní. Nespornou výhodou hybridního měniče je, že využívá tzv. „chytroú síť“, kdy reguluje orientaci změny energie FV systému do a z distribuční sítě a ukládá přebytečnou energii do akumulátorů. Řídí vlastně celý tok elektrické energie a energetickou bilanci objektu. Oproti ostrovním systémům mají hybridní měniče tu výhodu, že neukládají veškerou energii do akumulátorů, ale ukládají do ní pouze přebytky, omezí se tak zbytečné ztráty v akumulátorech a vyrobená energie se využije na maximum. Jsou opatřeny vnitřním systémem řízení, který má za úkol rozhodnout, zda se energie ihned spotřebuje, uloží do akumulátoru, nebo se přesměruje jako přebytek do distribuční sítě. Další výhodou je, že u třífázového zapojení dokáží pracovat v asymetrickém módu a rozdělují tak zisk z FV systému do jednotlivých fází dle potřebného nerovnoměrného odběru spotřebičů. Symetrický střídač dodává energie do každé fáze rovnoměrně. Z tohoto důsledku se pak může stát, že na jedné fázi s přebytkem se vyrobená energie prodává za nízkou cenu, kdežto na druhé fázi, na které je nedostatek, se energie za vysokou cenu odkupuje ze sítě. V České republice se měří odběr elektrické energie z distribuční sítě po fázích, ve většině ostatních států se měří odběr součtem všech fází. Proto je pro Českou republiku výhodnější použít asymetrický střídač, který tento problém odstraňuje.

## 2.6 Akumulace

V případě, kdy aktuální spotřeba objektu je nižší, než vyrobená elektrická energie ve fotovoltaické elektrárně, je vhodné přebytečnou energii akumulovat a následně, v době nedostatku, ji využívat. Když už domácnost investovala do fotovoltaické elektrárny, jejím hlavním cílem je využít co nejvíce množství vyrobené energie pro vlastní spotřebu. Spotřeba domácnosti kolísá, stejně jako kolísá její výroba v závislosti na intenzitě slunečního svitu. Elektřinu nelze přímo uchovávat, proto se využívají procesy vratné přeměny elektřiny na jinou formu energie. Nejčastěji na chemickou, tepelnou nebo mechanickou. Přebytky elektrické energie jsou v domácnostech akumulovány v bateriích nebo jsou přeměněny na teplou vodu, která se akumuluje v zásobníku teplé vody pro pozdější použití.

### 2.6.1 Tepelná akumulace

Jedná se o možnost nepřímého uchování elektrické energie. Přebytečná elektrická energie je využita pomocí elektrického odporového ohřevu a zde je přeměněna do formy teplé vody. Teplá voda se dále uchovává v akumulární nádrži, zásobníku. Elektrická spirála může být konstruována na napájení přímo stejnosměrným nebo standardně střídavým elektrickým proudem. Díky přeměně elektrické energie na tepelnou, není možná zpětná přeměna na elektrickou. Při akumulaci teplé vody skrze tepelné čerpadlo se doporučuje velikost akumulátoru o objemu 10 až 20 litrů na kilowattu výkonu tepelného čerpadla. Ohřátá voda je využívána jako užitková nebo pro potřeby vytápění. [24]

## 2.6.2 Elektrická akumulace

Dalším ze způsobů, jak uchovávat elektrickou energii, je uskladnění energie v elektrické akumulátorové baterii. Přebytky energie se uschovají v elektrické podobě a v době potřeby budou následně využity. Regulátor nabíjení BMS (Battery Management System) zajistí optimální nabití akumulátoru se všemi požadovanými parametry tak, aby byla zajištěna maximální životnost akumulátorů. Kapacita akumulátoru je hlavní ukazatel toho, jak velké množství energie je možné v akumulátoru uložit. Velkou nevýhodou je životnost akumulátorů, která závisí na typu použitého akumulátoru, dobíjení a okolních podmínkách ve kterých je akumulátor umístěn. Čím je akumulátor starší, tím se jeho kapacita snižuje. [24]

## 2.7 Legislativní podmínky připojení k distribuční síti

Pravidla provozování distribuční soustavy (dále jen PPDS) vytváří jednotlivé energetické subjekty podnikající v distribuci elektrické energie. V České republice je to pro jižní oblast distribuční společnost EG.D, pro Prahu PRE a pro zbytek republiky ČEZ. Podmínky jsou schvalovány Energetickým regulačním úřadem (ERÚ) a navazují na Pravidla provozování přenosové soustavy. Pravidla stanovují minimální technické, provozní a plánovací požadavky pro připojení uživatelů k distribuční síti. Stanovují základní pravidla pro spolupráci a koordinaci mezi jednotlivými účastníky trhu s elektřinou. Tento dokument je obecně platný od května roku 2016, ovšem průběžně aktualizován pomocí příloh. Poslední aktualizace příloh proběhla v říjnu 2021. [25]

### 2.7.1 Příloha 4 v PPDS

Příloha byla zpracována provozovateli distribučních soustav v roce 2020 a následně byla schválena Energetickým regulačním úřadem. V případě připojení malé FVS s instalovaným výkonem do 10 kW včetně, podléhá připojení podmínkám zjednodušeného režimu. Jedná se o režim pro připojení mikrozdvoje. Mikrozdvoj je v rámci energetické legislativy nový pojem a jeho obsah definuje vyhláška o podmínkách připojení k elektrizační soustavě. Aby bylo možné výrobu elektřiny považovat za mikrozdvoj, a tedy vůbec uvažovat o možnosti využít zjednodušeného režimu pro připojování k distribuční soustavě, je třeba splnit následující podmínky:

- Výrobna je určena pro paralelní provoz s distribuční soustavou nízkého napětí.
- Jmenovitý střídavý proud fází nepřesahuje 16 A.
- Celkový instalovaný výkon elektrárny nepřesahuje 10 kW.
- Pro připojení mikrozdvoje ve zjednodušeném režimu je nutné prokázat, že hodnota impedance proudové smyčky nepřesahuje hodnotu 0,47  $\Omega$  (pro zdroje do 16 A).

- Zamezení přetokům vyrobené elektřiny do distribuční soustavy. Vyhláška umožňuje v tomto smyslu tzv. krátkodobé přetoky, avšak nedefinuje, jak dlouhé či velké přetoky lze považovat za krátkodobé.
- Nutnost uzavření smlouvy s provozovatelem distribuční soustavy. [25]

Samotné podání žádosti o připojení mikrozdroje musí obsahovat tyto náležitosti, dle přílohy 10 k vyhlášce č.16/2016 Sb.:

V části A jsou uvedeny údaje o žadateli:

- Identifikace osoby, žádající o připojení.
- Identifikace odběrného místa pomocí 18místného kódu EAN (European Article Number).

V části B jsou uvedeny údaje o mikrozdroji:

- Požadovaný termín připojení.
- Hodnota instalovaného výkonu mikrozdroje.
- Existence zařízení pro akumulaci elektrické energie (baterie) včetně kapacity v Ah.

Část C obsahuje povinné přílohy žádosti:

- Výkresovou dokumentaci o způsobu připojení mikrozdroje.
  - jednopólové schéma zapojení mikrozdroje včetně zapojení do odběrného místa s vyznačením rozpadového bodu
- Zprávu o výchozí revizi elektrického zařízení obsahující náležitosti dle ČSN včetně naměřených hodnot impedance poruchové smyčky v místě připojení (hlavní domovní kabelové připojení nebo pojistkové skříni).
- Technickou zprávu s parametry mikrozdroje.
  - druh mikrozdroje
  - počet panelů a jednotkový výkon v kW
  - typ, štítkové parametry a počet generátorů (u FVE střídačů), činný výkon, zdánlivý výkon, účinník, počet fází, výrobce
  - možnost ostrovního provozu
  - typy a parametry ochrany výroby
  - zapojení akumulace do baterie, pokud je instalována [26]



## 2.8 Nová zelená úsporám (NZÚ)

Jedná se o program Ministerstva životního prostředí administrovaný Státním fondem životního prostředí ČR zaměřený na úspory energií v rodinných a bytových domech. Státní fond životního prostředí poskytuje dotace na TČ, ale také na různé kombinace výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů, nejčastěji s fotovoltaickými panely. Program je financován z prostředků z Nástroje pro oživení a odolnost (RRF – Recovery and Resilience Facility) v Národním plánu obnovy (celkem 19 mld. Kč), od roku 2026 z podílu prodeje tzv. emisních povolenek (4 mld. Kč ročně). Povolenky byly prodány převážně do Japonska. Nová zelená úsporám probíhá od roku 2021 až do roku 2030. Dotaci lze získat jak na náhradu neekologického zdroje tepelným čerpadlem, tak na instalaci tepelného čerpadla do novostavby. Žadatel o dotaci může požádat i dopředu na tepelné čerpadlo, které teprve pořídí, tak zpětně na tepelné čerpadlo, které již instaloval. Dotace se každopádně vyplácí vždy zpětně, po předložení faktur a dalších dokladů. Základní podmínkou je, že tepelné čerpadlo musí být zapsáno na Seznamu výrobků a technologií. Musí ho také namontovat firma zapsaná na Seznamu odborných dodavatelů. Tepelná čerpadla zapsaná na tomto seznamu musejí mít mimo jiné minimální topný faktor, dotace se tedy neuděluje na nekvalitní zařízení s nízkým topným faktorem. To je výhodné i pro koncového zákazníka. Dotace je vyšší pro tepelná čerpadla země/voda a voda/voda oproti tepelným čerpadlům vzduch/voda. Důvodem jsou nižší investiční náklady a větší spotřeba elektřiny u vzduchových tepelných čerpadel. Dotace není nároková, avšak pokud žadatel splní všechny podmínky, dotaci získá. Výši dotačních bonusů lze vypočítat pomocí dotační kalkulačky na oficiálních stránkách Nová zelená úsporám.

### 2.8.1 Dotace z NZÚ

Veškeré dotace musejí splňovat podmínky, které jsou uvedeny v dokumentu Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory programu Nová zelená úsporám v rámci Národního plánu obnovy určené pro rodinné domy. Tento dokument je platný od data 21.9.2021. Pro daný návrh tepelného čerpadla a fotovoltaického systému je možné čerpat dotaci ze dvou oblastí podpory C – zdroj energie, respektive z podoblasti C.1 – Tepelné čerpadlo pro teplovodní systém vytápění s přípravou teplé vody a druhé podoblasti. Zde připadá v úvahu jednotková výše podpory na 100 000,- Kč. Dále je možné čerpat z podoblasti C.3 – Fotovoltaické systémy pro výrobu el. energie, kde je možné dosáhnout maximálního příspěvku až 200 000,- Kč. Niže bude naznačená jednotková výše pro daný RD. [27]

Tabulka 2.3 Výše podpory pro oblast C.3 [28]

| <b>Instalované části systému FVE</b>  | <b>Výše podpory [Kč]</b> |
|---|--------------------------|
| Minimální instalace o výkonu 2 kWp  | 40 000                   |
| Minimální instalace o výkonu 2 kWp s hybridním měničem                      | 60 000                   |
| Minimální instalace o výkonu 2 kWp s efektivním využitím tepelného čerpadla | 100 000                  |
| Za 1 kWp instalovaného výkonu nad 2 kWp                                     | 10 000                   |
| Za 1 kWh el. akumulčního systému s akumulátory na bázi lithia               | 10 000                   |

**Dále je třeba splnit Podmínky pro podoblast C.3:**

- a) Maximální podporovaný výkon systému (instalovaný výkon FV modulů) je 10 kWp.
- b) Podpora se poskytuje pouze na nové systémy, nelze ji poskytnout na rozšíření nebo úpravy stávajícího systému, včetně případů dodatečného pořízení elektrických akumulátorů.
- c) Systém musí být vybaven měničem s minimální účinností 95 % (Euro účinnost). Měníče a nabíječe připojené přímo k fotovoltaickým panelům musí být navíc vybaveny technologií pro sledování bodu maximálního výkonu s minimální účinností přizpůsobení 98 %. U hybridních měničů, se připouští minimální účinnost 92 % (Euro účinnost).
- d) Navrhované měniče musí vyhovovat požadavkům Nařízení Komise (EU) 2016/631, kterým se stanoví kodex sítě pro požadavky na připojení výroben k elektrizační soustavě, pro výrobní moduly typu „A“ a požadavkům normy EN 50549-1:2019 (požadavky na paralelně připojené výrobní s distribučními sítěmi).
- e) V případě, kdy jsou použity samostatné měniče pro připojení FV modulů a pro připojení akumulátorových baterií, musí výše uvedené požadavky na účinnost splňovat každý z nich.
- f) Minimální účinnost (vztažena k celkové ploše fotovoltaického modulu) při standardních testovacích podmínkách STC je: 18 % pro panely a moduly složené z monokrystalických a polykrystalických článků, 12 % pro panely a moduly složené z tenkovrstvých amorfních článků, bez požadavku pro fotovoltaické střešní krytiny a fasádní systémy a jiné než plošné kolektory (např. trubcové).
- g) Pro účely porovnání s podmínkami programu je uvažována jmenovitá kapacita baterií deklarovaná výrobcem (neuvažuje se snížení vlivem vybíjecích cyklů) stanovená při vybíjení konstantním proudem po dobu 10 hodin nebo kratší.

- h) V případě použití bateriového systému (s el. akumulátory) je minimální podporovaná kapacita stanovena na jednonásobek a maximální podporovaná kapacita na dvojnásobek podporovaného instalovaného výkonu FV modulů v kWh. Akumulátory na bázi olova (vč. gelových, AGM a trakčních), Ni-MH, Ni-Fe nejsou podporovány.
- i) Systém musí být umístěn na rodinném domě, jiné stavbě plnící doplňkovou funkci ke stavbě rodinného domu, či jiné speciální konstrukci uzpůsobené tak, aby neomezoval růst vegetace a její údržbu.
- j) Pro získání podpory na systém s efektivním využitím tepelného čerpadla musí být splněny následující podmínky:
  - tepelné čerpadlo spolupracující s FVE musí být využíváno jako hlavní zdroj tepla pro vytápění a ohřev teplé vody a musí umožňovat řízení výkonu.
  - v systému musí být instalována akumulační nádrž o celkovém objemu min. 400 litrů pro ohřev teplé vody a vytápění, popř. mohou být použity samostatné nádrže, přímo ohřívané tepelným čerpadlem. [28]

### **2.8.2 Seznam výrobků a technologií pro NZÚ**

Státní fond životního prostředí České republiky, z něhož jsou financovány dotace, spravuje webovou stránku s názvem SVT, tedy Seznam výrobků a technologií. V tomto seznamu lze najít v jednotlivých kategoriích (Tepelná čerpadla, Fotovoltaické moduly, Fotovoltaické střídače atd.) konkrétní výrobky, na které lze žádat dotaci. Pro jednotlivé výrobky je přiřazen SVT kód, pomocí kterého lze dohledat jednotlivé specifické parametry. Seznamy výrobků, materiálů a technologií výrazně zjednoduší podání a následné vyřízení žádosti o dotaci. Nicméně seznam výrobků a technologií není závazný. V případě využití výrobků, které nejsou uvedeny v seznamu, je nutné doložit veškeré dokumenty prokazující technické vlastnosti použitých výrobků. Všechny navržené komponenty pro tuto bakalářskou práci se vyskytují na tomto seznamu. [29]

## 3. VÝPOČET ENERGETICKÝCH POTŘEB

### 3.1 Popis objektu

Pro praktickou část bakalářské práce byl vybrán typový objekt rodinného domu. Jedná se o dvoupatrový dům o vnější zastavěné ploše 105 m<sup>2</sup>. RD stojí samostatně a žádná venkovní stěna není spojena se sousedním domem. Garáž není součástí. Objekt je novostavba určená až pro 6 osob. Zvolený dům má střechu sedlového typu, kde jednotlivé strany střechy jsou orientovány severovýchodně a jihozápadně s azimuty 45° (SV) a 225° (JZ). Tato střecha obsahuje na jihozápadní straně 2 vikýře a na severovýchodní 2 komíny. Sklon střechy je 40°. Jako střešní krytina je použita pálená taška. Dům má dvě nadzemní podlaží a v jeho nejbližším okolí se nenachází žádné překážky, které by během dne zabraňovaly dopadu slunečního záření na FV panely a tím snižovaly účinnost celého systému. Rodinný dům se nachází v lokalitě Brna.

Tepelná ztráta objektu byla určena po konzultaci s vedoucím práce na 7 kW. Daný objekt je zobrazen v dokumentaci pro stavební povolení v příloze A.

#### 3.1.1 Metoda TDD

Metoda typových diagramů dodávek elektřiny (TDD) je náhradní postup pro stanovení velikosti hodinového odběru pro skupinu oprávněných zákazníků s měřením typu C, tedy neprůběhové měření. V případě měření typu A,B se jedná o průběhové měření, které se uvažuje pro velkoobdoběratele, kteří jsou připojeni k síti o vysokých parametrech dodávky (napětí VVN, VN), případně pro velkoobdoběratele mající odběr vysokých objemů. Jedná se o odhad hodinového odběru dané skupiny oprávněných zákazníků, kterým se nahrazuje průběhové měření. Pro řešení je použita náhradní metoda zátěžových profilů, kterou reprezentují typové diagramy, rozdělené podle odběrových tarifů. Tím je zaručen srovnatelný charakter odběru elektrické energie. Smysl použití TDD spočívá v tom, že zákazníci bez průběhového měření jsou přiřazeni do příslušné třídy TDD 1 až 7 s relativně podobným průběhem spotřeby. Každá třída má svůj specifický, předpokládaný hodinový požadavek na spotřebu elektřiny. Tento požadavek je stanoven ze statisticky naměřených údajů při určité teplotě. Pro výběr tříd se vychází z tarifní struktury zavedené k 1.7.2001. V normalizovaných typových diagramech je určeno 8760 relativních hodnot průměrných hodinových odběrů v roce, vztažené k roční hodnotě maxima. Roční spotřeba je pak určena součtem hodinových spotřeb, daných soudobým příkonem daného objektu a relativní hodnotou dané třídy typového diagramu.

### 3.1.2 Určení elektrické spotřeby

Pro samotné určení elektrické spotřeby daného objektu se vycházelo z normalizovaných typových diagramů dodávek pro rok 2021, jehož data jsou volně přístupná na stránkách operátora trhu s elektřinou a plynem pro Českou republiku (OTE). Spotřeba vychází z hodnot pro distribuční sazbu D57d, která je určena domácnostem s přímotopem, hybridním vytápěním nebo tepelným čerpadlem. Jedná se o dvoutarifní sazbu, kde zákazníci využívají tzv. nízký tarif s nižší cenou a to po dobu 20 hodin denně. Pro tento tarif odpovídá TDD s označením 7. Vypočítaná roční spotřeba vychází ze soudobého příkonu, který je určen v tabulce níže. V tabulce jsou definovány běžné spotřebiče, které jsou použity v rodinných domech. Roční spotřeba objektu, která je určena součtem 8760 hodinových spotřeb, vychází 17,1 MWh. Určení elektrické spotřeby je dále graficky znázorněno v kapitole 4.2.

Tabulka 3.1 Určení předpokládaného soudobého příkonu

| Běžné spotřebiče v domácnosti |                          | Příkon [W] | Soudobost $\beta$ | Soudobý příkon [W] |
|-------------------------------|--------------------------|------------|-------------------|--------------------|
| Vaření                        | Trouba                   | 2700       | 0,2               | 540                |
|                               | Indukční deska           | 4600       | 0,2               | 920                |
|                               | Rychlovarná konvice      | 2000       | 0,3               | 600                |
|                               | Kombinovaná chladnička   | 200        | 1,0               | 200                |
|                               | Myčka nádobí             | 600        | 0,3               | 180                |
|                               | Mikrovlnná trouba        | 800        | 0,3               | 240                |
| Domácnost                     | Pračka                   | 600        | 0,3               | 180                |
|                               | Sušička                  | 700        | 0,3               | 210                |
|                               | Osvětlení celkové        | 100        | 0,9               | 90                 |
| Zábava                        | Televize                 | 70         | 0,4               | 28                 |
|                               | Notebook                 | 60         | 0,4               | 24                 |
|                               | Internet (modem, router) | 30         | 1,0               | 30                 |
| Zdroj tepla                   | Tepelné čerpadlo         | 1100       | 1,0               | 1100               |
| <b>Instalovaný příkon</b>     |                          | [kW]       | <b>13,56</b>      |                    |
| <b>Celkový soudobý příkon</b> |                          | [kW]       | <b>4,34</b>       |                    |

## 3.2 Návrh tepelného čerpadla

Samotný výběr tepelného čerpadla je dimenzován na pokrytí 60 % tepelných ztrát vytápěného objektu. Při tepelné ztrátě objektu 7 kW vychází požadovaný výkon čerpadla na minimální teoretickou hodnotu 4,2 kW. Pro daný objekt bylo zvoleno tepelné čerpadlo značky NIBE typ F1245 PC, typ 5, který disponuje výkonem 4,7 kW dle EN 14511 při spádu 0/35 °C a topným faktorem 4,3. Dané čerpadlo má minimální provozní náklady, je šetrné k životnímu prostředí a dokáže zajistit vysoký komfort pro bydlení. Tento typ obsahuje řídicí systém, vestavěný nerezový zásobník teplé vody o objemu 180 litrů, trojcestný ventil pro přípravu teplé vody, záložní elektrokotel, stejnosměrná oběhová čerpadla. Tento typ čerpadla splňuje kritérium pro návrh tepelného čerpadla s funkcí chlazení. Je zde vestavěný výměník pro pasivní chlazení, které při své aktivitě nevyužívá kompresor. Pasivní chlazení představuje ekonomičtější řešení, které pro svoji činnost spíná pouze oběhová čerpadla. Nevýhodou pasivního chlazení je nižší chladicí výkon. Tepelné čerpadlo bude připojeno k nízkoteplotnímu teplovodnímu systému, kterým je podlahové vytápění. Typ F1245 PC je dále připraven pro připojení příslušenství pro ohřev bazénu nebo řízené větrání se zpětným získáváním tepla.

Jako bivalentní zdroj je použit elektrokotel s nastavitelnými výkony 1 až 7 kW. Záruka na kompresor tepelného čerpadla je od výrobce stanovena na 10 let. Podle staršího typu energetických štítků se zařazuje do energetické třídy A+++ pro vytápění s tepelným spádem 35/55 °C.

Zástupce firmy NIBE, pracovník v technické podpoře, Petr Kalous uvedl, že TČ dokáže plně pokrýt tepelnou potřebu rodinné domu, a to až do bodu bivalence, která byla určena za pomoci softwaru na -5 °C. Pro dané čerpadlo výrobce doporučuje hloubku vrtu 80 metrů (čím hlubší vrt je, tím vyšší je jeho teplota a následně nižší výkon pasivního chlazení). Pro zvýšení chladicího výkonu vrtu je vhodná 4-trubková sonda (PE 4x32x2,9mm) místo běžně používané 2-trubkové sondy pro účely vytápění. [34]

Elektrické připojení je zhotoveno pomocí kabelu CYKY 5x4 mm<sup>2</sup>. Jištění bude dimenzováno tak, aby pokrylo příkon elektrokotle, který disponuje příkonem až 7 kW. Tedy bude zvolen třípólový jistič se jmenovitým proudem 20 A. Avšak samotné čerpadlo obsahuje vestavěný miniaturní jistič, který vypíná napájení kompresoru při proudovém přetížení. Dále bude přiveden do TČ kabel CYKY 2x0,5 mm<sup>2</sup> pro signál hromadného dálkového ovládání. Pro komunikační kabely bude použit kabel EKKX 2x2x0,5 mm<sup>2</sup>.



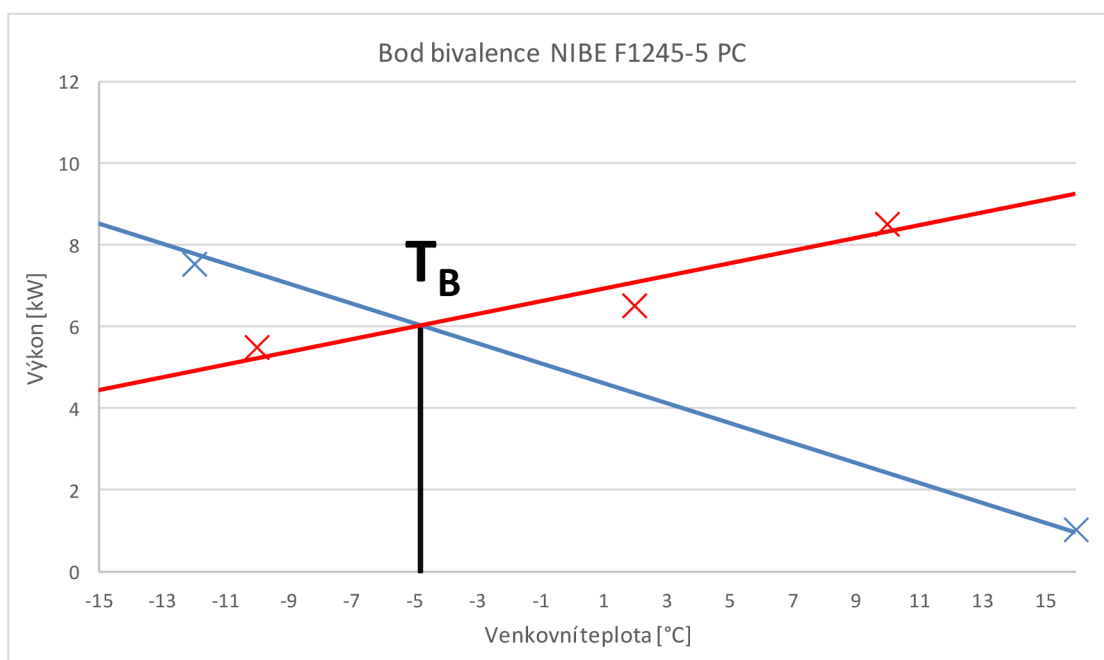
Obrázek 3.1 Vzhled tepelného čerpadla NIBE F1245 PC [35]

Tabulka 3.2 Parametry tepelného čerpadla NIBE F1245 PC, typ 5 [35]

| <b>TČ NIBE F1245 PC typ 5</b> |      |        |
|-------------------------------|------|--------|
| Tepelný výkon při 0/35 °C     | [kW] | 4,7    |
| Elektrický příkon             | [kW] | 1,1    |
| COP - topný faktor            | [-]  | 4,3    |
| Tepelný výkon při 0/45 °C     | [kW] | 4      |
| Elektrický příkon             | [kW] | 1,2    |
| COP - topný faktor            | [-]  | 3,4    |
| <b>Další parametry</b>        |      |        |
| Provozní napětí               | [V]  | 400    |
| Objem zásobníku teplé vody    | [l]  | 180    |
| Doplňkový elektrokotel        | [kW] | 1 až 7 |
| Chladivo R 407C               | [kg] | 1,2    |
| Hladina hluku                 | [dB] | 37     |
| Hmotnost                      | [kg] | 260    |
| Výška                         | [mm] | 1800   |
| Šířka                         | [mm] | 600    |
| Hloubka                       | [mm] | 620    |

### 3.2.1 Bod bivalence

Tepelné čerpadlo, které je dimenzováno na 100 % tepelné ztráty je zbytečně ekonomicky náročné a není efektivní pro provoz. Z toho důvodu je lepší zvolit kombinaci tepelného čerpadla a bivalentního zdroje. Pro určení bodu bivalence se vycházelo z dat a informací, které poskytnul odborný personál výrobce tepelných čerpadel NIBE. Na určení bodu bivalence se podílí mnoho aspektů, které mají vliv na hodnotu bodu bivalence  $T_B$ . Mezi ně patří zejména lokalita objektu, průběh venkovních teplot v roce, teplota vstupu primárního okruhu, izolace a s ní spojené ztráty prostupem daného objektu a jiné. Jak bylo zmíněno v kapitole 3.2, dle softwaru byl stanoven bod bivalence na venkovní teplotu  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Obrázek 3.2 Bod bivalence pro tepelné čerpadlo NIBE F1245-5 PC

Z nasbíraných dat Českého hydrometeorologického ústavu bylo zjištěno, kolikrát v roce dojde k sepnutí bivalentního zdroje, který bude zálohovat tepelné čerpadlo a v případě potřeby budou oba tepelné zdroje pracovat paralelně. Hodnoty průměrné teploty každého dne v roce 2021 byly nasbírány pro stanici Brno, Tuřany. Z naměřených dat bylo pomocí programu MS Excel určeno, že průměrná denní teplota v daném roce klesla pod  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  v 7 případech, z toho 2x k tomu došlo v lednu a 5x během února. Dané výsledky jsou zohledněny v určení elektrické spotřeby. [36]



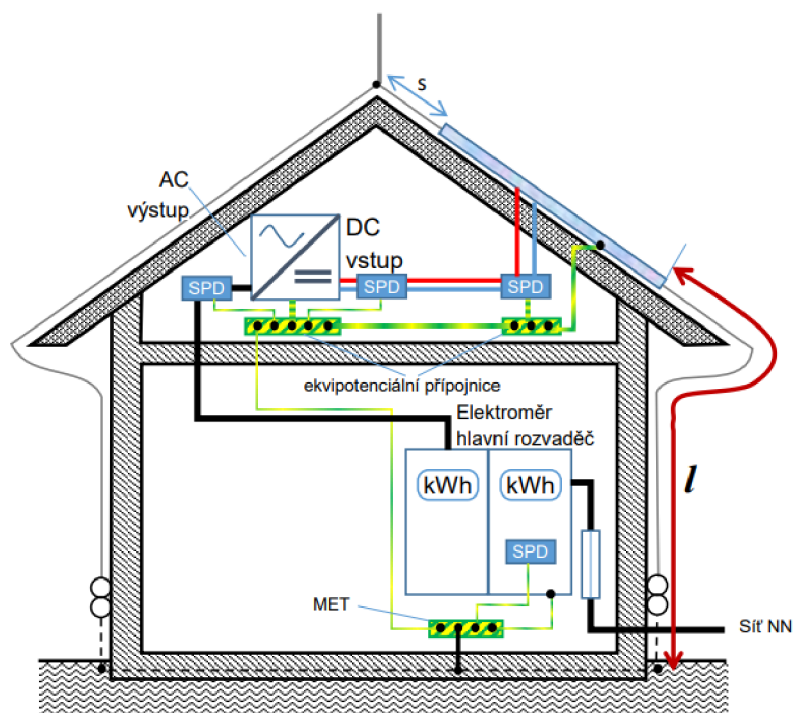
### 3.3 Návrh FV systému

Použití fotovoltaického systému snižuje energetické náklady na provoz objektu. Energetické soběstačnosti s omezeným výkonem do 10 kWp nelze dosáhnout, zejména v období zimy, kdy je nízký sluneční osvit. Instalace střešního FV systému může být velmi výhodná investice vzhledem k finanční podpoře a růstu cen elektrické energie. Pro návrh a instalaci panelů byla vybrána jedna část sedlové střechy orientované tak, aby doba a intenzita osvětlení byly co nejvyšší. Pro tento účel byla vybrána pouze jihozápadní. Pro nejvyšší využití energie slunce je v ČR ideální sklon 35°. V našem případě má střecha sklon 40°. Střešní plocha bude osazena po 12 panelech se špičkovým výkonem 450 Wp. Pro tento string bude použit MPP tracker pro zvýšení výkonového přizpůsobení. Dále je při návrhu a instalaci fotovoltaické elektrárny důležité dodržet dostatečnou izolační vzdálenost  $s$ . Izolační vzdálenost je vzdálenost mezi kovovými prvky budovy, jako je například armování nebo spojovací materiály střešní konstrukce, od hromosvodu a jímače přepětí. Pro určení této vzdálenosti od okraje střechy lze použít zjednodušující vzorec, nicméně samotné umístění by mělo být pod dohledem osoby k tomu určené: Nákres střechy a rozmístění jednotlivých panelů je uvedeno v Příloha B -. [31]

$$s = \frac{k_i \cdot k_c}{k_n} \cdot l = \frac{0,04 \cdot 0,66}{1} \cdot 8,1 = 0,214 \text{ m} \quad (3.1)$$

|             |  |
|-------------|--|
| $k_i \dots$ | 0,08 (LPS I); 0,06 (LPS II); 0,04 (LPS III a IV)   |
| $k_n \dots$ | 1 (vzduch); 0,5 (beton, dřevo, cihly)              |
| $k_c \dots$ | 0,66 (2 svody); 0,44 (3 a více svodů)              |
| $l \dots$   | délka hromosvodu od země po spodní hranu FV panelu |

Pro ilustraci je uveden obecný nákres objektu níže.



Obrázek 3.3 Izolační vzdálenost pro obecné použití [31]

### 3.3.1 Fotovoltaické panely

Pro návrh fotovoltaické elektrárny byly vybrány monokrystalické panely od firmy Longi. Typ modulu má označení LR-72HPH-450M. Pro instalaci bude použito 12 panelů s účinností 20,7 %. Výrobce udává 12 let záruky, přičemž po 25 letech poklesne na 84,8 % jmenovitého výkonu. Připojení FV panelů k hybridnímu měničiči bude provedeno pomocí kompatibilních konektorů MC4 a samozhášivým solárním kabelem H1Z2Z2-K 4 mm<sup>2</sup>.

Tabulka 3.3 Parametry FV panelů [32]

| Longi LR-72HPH-450M dle STC |      |              |
|-----------------------------|------|--------------|
| Jmenovitý výkon             | [Wp] | 450          |
| Jmenovité napětí $U_{mpp}$  | [V]  | 41,5         |
| Jmenovitý proud $I_{mpp}$   | [A]  | 10,85        |
| Zkratový proud $I_{sc}$     | [A]  | 11,6         |
| Napětí naprázdno $U_{oc}$   | [V]  | 49,3         |
| Účinnost                    | [%]  | 20,7         |
| Hmotnost                    | [kg] | 23,5         |
| Rozměry V x Š x H           | [mm] | 2094x1038x35 |

### 3.3.2 Výběr měniče

V rámci dodržení podmínek dotačního programu, je nutné vybrat měnič s účinností minimálně 92 %. Dále musí být vybavené technologií pro sledování bodu maximálního výkonu s minimální účinností 98 %. Také je třeba se držet pravidel pro optimální návrh FV systému v ČR, kde se elektřina nakupuje podle jednotlivých fází. Měnič tedy musí být schopen dodávat energii do jednotlivých fází asymetricky, jak již bylo popsáno v teoretické části. Jako nejvhodnější se jeví tedy hybridní měnič, který dokáže spolupracovat s elektrickým akumulátorem energie. Na trhu je celá řada střídačů. Pro tento návrh byl vybrán hybridní měnič od značky GoodWe GW5K-ET. Tento třífázový hybridní měnič napětí z řady ET je standardně vybaven dvěma MPPT se dvěma samostatnými výstupy a umožňuje připojení vysokonapěťových baterií. Je odolný vůči výpadku distribuční sítě a poskytuje tak dokonalou zálohu pro rodinný dům. Na první výstup se připojí fáze rodinného domu a na druhý výstup se připojí zálohované spotřebiče, které mají fungovat i v případě výpadku distribuční sítě. Do zálohované větve je možné připojit chladničku, zásuvky v pracovně pro PC nebo osvětlení. Pokud je měnič připojen k síti, dodává do obou výstupů. V případě výpadku distribuční sítě dodává pouze do druhého výstupu. Přechod do záložního režimu se děje v rámci milisekund. Jedná se tak o UPS (Uniterupted Power Supply). Další zajímavou vlastností měniče je bezplatný monitorovací systém elektrárny (výkon FVE i stav baterií) pomocí Wi-Fi. Výhodná je i možnost nabíjet akumulátor z AC strany. [37]



Obrázek 3.4 Vzhled hybridního měniče GoodWe GW5K-ET [37]

Tabulka 3.4 Parametry měniče GoodWe GW5K-ET [38]

| <b>Hybridní měnič GoodWe GW5K-ET</b>  |      |                 |
|---------------------------------------|------|-----------------|
| <b>Všeobecné parametry</b>            |      |                 |
| Rozměry V x Š x H                     | [mm] | 415 x 516 x 160 |
| Hmotnost                              | [kg] | 25              |
| Hladina hluku                         | [dB] | < 25            |
| Rozsah teplot                         | [°C] | -35 ~ +60       |
| <b>Vstupní DC parametry</b>           |      |                 |
| Max. vstupní výkon                    | [W]  | 6500            |
| Max. vstupní napětí                   | [V]  | 1000            |
| Počet MPPT                            | [ks] | 2               |
| Rozsah MPPT                           | [V]  | 200 ~ 850       |
| Jmenovité DC vstup. napětí            | [V]  | 620             |
| Max. vstup. proud                     | [A]  | 11              |
| Max. zkrat. proud                     | [A]  | 13,8            |
| <b>Specifikace baterie Li-Ion</b>     |      |                 |
| Rozsah napětí baterie                 | [V]  | 180 ~ 550       |
| Max. nabíjecí/vybíjecí proud          | [A]  | 25/25           |
| <b>Výstupní AC parametry</b>          |      |                 |
| Max. výstup. zdánlivý výkon           | [VA] | 5000            |
| Jmenovitá výstup. frekvence           | [Hz] | 50/60 Hz        |
| Jmenovité AC napětí                   | [V]  | 400/230         |
| Max. proudový výstup                  | [A]  | 8,5             |
| <b>Účinnosti</b>                      |      |                 |
| Maximální účinnost                    | [%]  | 98              |
| Evropská účinnost FV modul-AC         | [%]  | 97,5            |
| Účinnost přizpůsobení MPPT regulátoru | [%]  | 99,4            |

### 3.3.3 Výběr akumulace

Pro využití přebytků energie bude použit systém vysokonapěťových baterií firmy BYD. Akumulátory Battery-Box od společnosti BYD jsou založeny na lithium-železo-fosfátové technologii (LiFePO<sub>4</sub>), která je nejbezpečnější na trhu. Tato technologie přináší efektivní využití energie po celou, mimořádně dlouhou životnost a zajišťuje tak vysoký podíl vlastní spotřeby. Jeden bateriový box Premium HVS se skládá ze dvou až pěti HVS bateriových modulů, které jsou zapojeny do série s využitím kapacity od 5,1 až 12,8 kWh. Možnost paralelního zapojení až 3 identických bateriových boxů pro dosažení kapacity až 38,4 kWh. Jeden bateriový modul HVS disponuje kapacitou 2,56 kWh, napětím 102,4 V a váhou 38 kg. Konkrétní box bude sestaven ze 3 modulů, což odpovídá označení BYD 7,7 HVS. Tato sestava obsahuje základnu i BCU (Battery Control Unit), která disponuje funkcí BMS, který se stará o správnou hladinu napětí v modulech, díky čemuž se prodlužuje životnost baterie. Komunikace s baterií probíhá přes sběrnici CAN nebo RS485.[39]



Obrázek 3.5 Vzhled bateriového boxu BYD 7,7 HVS [39]

Tabulka 3.5 Parametry baterie BYD Premium HVS 7.7 [40]

| <b>Baterie BYD Premium HVS 7.7</b> |       |                 |
|------------------------------------|-------|-----------------|
| Počet modulů                       | [ks]  | 3               |
| Jmenovitá kapacita                 | [kWh] | 7,68            |
| Počet cyklů při 90% DoD            | [ks]  | 6000            |
| Provozní napětí                    | [V]   | 240 ~ 360       |
| Jmenovité napětí                   | [V]   | 307             |
| Maximální vybíjecí proud           | [A]   | 25              |
| Špičkový výstupní proud 5s         | [A]   | 50              |
| Provozní teplota                   | [°C]  | -10 ~ +50       |
| Rozměry V x Š x H                  | [mm]  | 945 x 585 x 298 |
| Hmotnost                           | [kg]  | 129             |

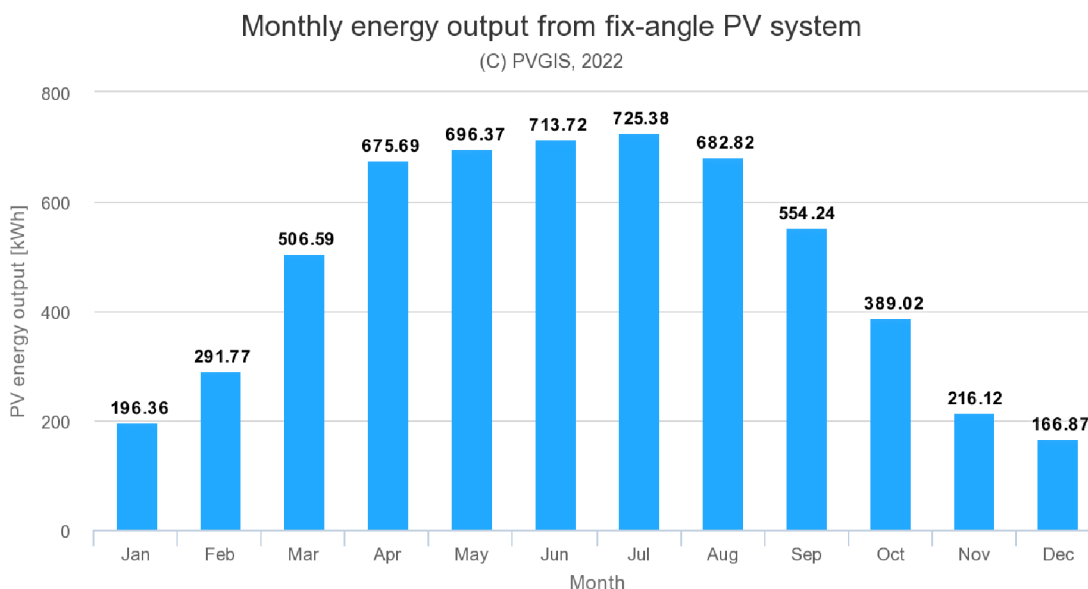
## 4. ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ

V rámci energetického zhodnocení bude porovnávána výroba a spotřeba elektrické energie v rámci celého rodinného domu a zvláště pro samotný provoz tepelného čerpadla.

### 4.1 Výnosy FVE

Výnosy navrženého FV systému jsou spočítány pomocí online kalkulátoru na stránkách PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Tento software spočítá odhadovaný výnos FVE na základě meteorologických dat pro konkrétní GPS souřadnice. Do kalkulátoru byly zvoleny tyto hodnoty.[41]

|                     |   |
|---------------------|---|
| Lokalita:           | Brno  |
| Typ FV technologie: | Krystalický křemík                            |
| Instalovaný výkon:  | 5,4 kW  |
| Ztráty v systému:   | 10 % (součet ztrát na kabeláži a na měničích) |
| Pozici elektrárny:  | Na budově                                     |
| Sklon panelů:       | 40 °  |
| Azimut natočení:    | 225 ° (JZ)                                    |
| Roční výnos:        | 5815 kWh                                      |



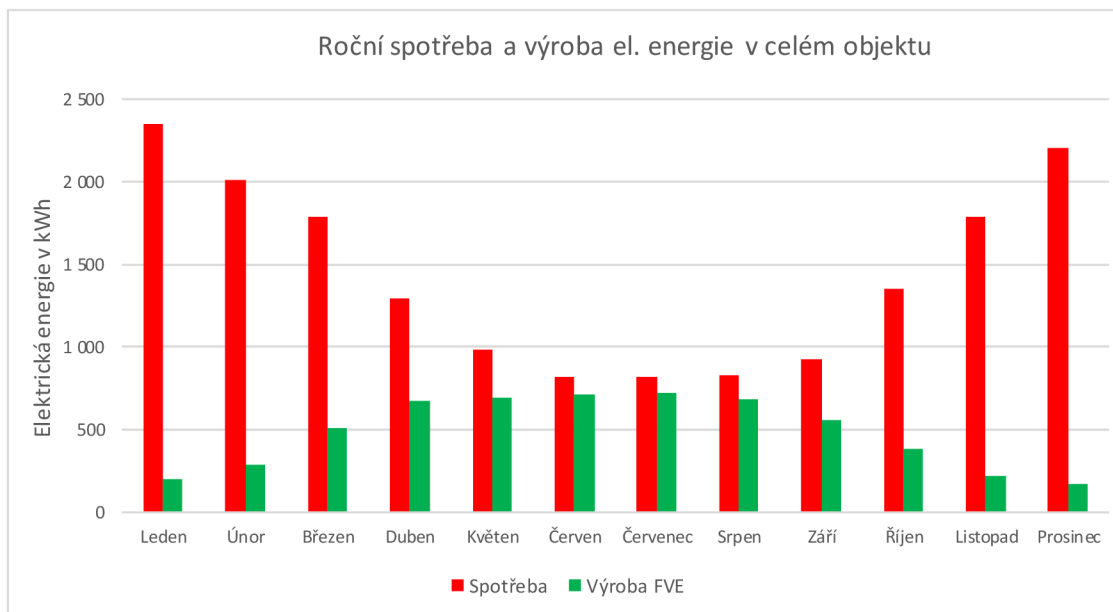
Obrázek 4.1 Měsíční výnos fotovoltaické elektrárny [41]

## 4.2 Grafické porovnání

V grafickém zhodnocení je porovnána celková elektrická spotřeba a výroba fotovoltaické elektrárny.

### 4.2.1 Celková spotřeba rodinného domu

Celková spotřeba rodinné domu zahrnuje energii spotřebovanou na vytápění objektu, ohřevu TV a provoz běžných spotřebičů. Z grafu je patrné, že vyrobená elektrická energie z fotovoltaických panelů nepřevyšuje spotřebu domu ani v letních měsících. V případě denních přebytků je energie uložena do baterií a následně je v době potřeby využita v místě vzniku. Tím je zajištěno, že nebude docházet k přetokům energie do distribuční sítě. Fotovoltaická elektrárna ročně vyrobí 5,815 MWh elektrické energie. Celková roční spotřeba domu je téměř třináásobná, oproti výrobě, konkrétně je určena na 17,1 MWh.



Obrázek 4.2 Grafické porovnání výroby FVE a spotřeby celého objektu

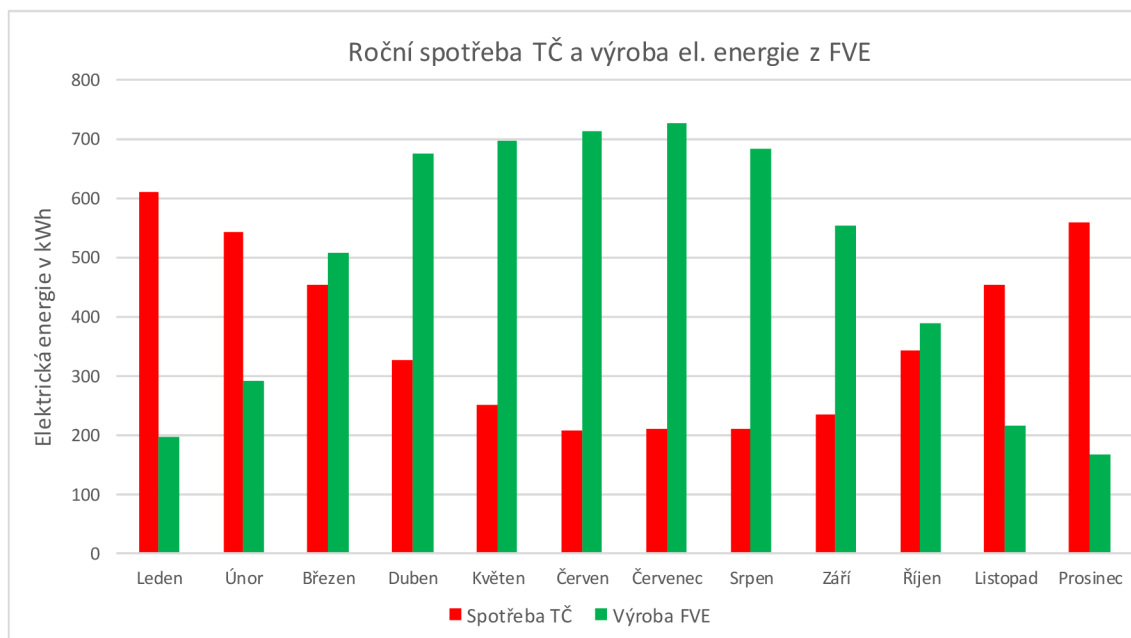


#### 4.2.2 Spotřeba tepelného čerpadla

Ve druhém grafu je porovnána spotřeba samotného tepelného čerpadla, u kterého se uvažuje spotřeba elektřiny pro ohřev topné vody, vytápění, chlazení a při překročení bodu bivalence i spotřeba elektrického dotopu. Samotná spotřeba elektrického dotopu s příkonem 2 kW byla určena na 65,6 kWh. K sepnutí bivalentního zdroje by došlo v roce 2021 v 7 případech, kdy průměrná teplota klesla pod bod bivalence. Pro provoz záložního zdroje se vychází z paralelně-bivalentního provozu s tepelným čerpadlem, kdy docházelo ke spínání dotopu každou druhou hodinu, po dobu jedné hodiny.

Při pasivním chlazení není defacto potřeba tepelné čerpadlo. Výměna chladu probíhá ze země, přes primární okruh s nemrznoucí směsí, dále přes výměník do chladicí vody. Tedy pro funkci pasivního chlazení jsou potřeba 2 oběhová čerpadla, která mají téměř zanedbatelnou spotřebu elektřiny. Chladivo v okruhu kompresoru se děje pasivního chlazení vůbec neúčastní. Spotřeba energie na chlazení objektu je dána příkonem elektrických oběhových čerpadel, který se pohybuje v rozmezí 30 až 90 W, v závislosti na nastavených otáčkách. Spotřeba pasivního chlazení objektu je započítána do 27 letních dnů, kdy průměrná venkovní teplota vystoupala nad 22 °C. Tedy celková spotřeba pasivního chlazení 2 oběhových čerpadel s průměrným příkonem 60 W a dobou provozu 9 hodin denně, vyjde na celkových 29,2 kWh.

Z grafu vyplývá, že provoz čerpadla by se dal pokrýt vyrobenou energií z FVE od března do října. Během zbylých měsíců bude tepelné čerpadlo napájeno z elektrorozvodné sítě. Roční spotřeba tepelného čerpadla je dle TDD7 určena na 4,40 MWh.



Obrázek 4.3 Grafické porovnání výroby FVE a spotřeby TČ

## 4.3 Ekonomické zhodnocení

V rámci ekonomického zhodnocení bude vypočtena efektivnost a doba návratnosti investice do kombinace tepelného čerpadla a fotovoltaické elektrárny za pomocí ekonomických ukazatelů.

### 4.3.1 Finanční výnos FVE

Fotovoltaická elektrárna vyrobí ročně 5815 kWh energie. Cena elektřiny vychází z ceníku EG.D z tarifu Variant PRO 24 Jaro II.

Tabulka 4.1 Ceník elektřiny pro sazbu D57d dle EG.D, a.s. [42] [43]

| Distribuční sazba D57d      |            | bez DPH | s DPH (21%) |
|-----------------------------|------------|---------|-------------|
| Cena ve vysokém tarifu (VT) | [Kč/kWh]   | 4,906   | 5,936       |
| Cena v nízkém tarifu (NT)   | [Kč/kWh]   | 4,755   | 5,753       |
| Platba za jistič 3x25 A     | [Kč/měsíc] | 324,20  | 392,28      |
| Podpora elektřiny z POZE    | [Kč/měsíc] | 296,00  | 358,16      |

### 4.3.2 Náklady na roční spotřebu elektřiny

Celkové náklady za roční spotřebu elektřiny vycházejí ze sazby D57d, která je dvousazbová. Při výpočtu se bude vycházet z průměrné ceny elektřiny s připočtením DPH.

Tabulka 4.2 Shrnutí ročních provozních nákladů bez FVE a s ní

| Způsob provozu        | Roční odběr elektřiny ze sítě [kWh] | Roční náklady za elektřinu [Kč] | Roční úspora [Kč] |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| TČ + spotřebiče       | 17 100                              | 108 870                         | 33 870            |
| TČ + spotřebiče + FVE | 11 300                              | 75 000                          |                   |

$$N_{bez\ FVE} = N_{\phi} \cdot E_o + 12 \cdot N_{jistič} + 12 \cdot N_{POZE} \quad (Kč) \quad (4.1)$$

|              |          |  |
|--------------|----------|--|
| $N_{bezFVE}$ | Kč       | roční náklady                                |
| $N_{\phi}$   | Kč/MWh   | průměrná cena za odebranou energii           |
| $E_o$        | kWh      | množství odebrané energie                    |
| $N_{jistič}$ | Kč/měsíc | měsíční cena za rezervovaný                  |
| $N_{POZE}$   | Kč/měsíc | měsíční cena na podporu obnovitelných zdrojů |
| $RÚ$         | Kč       | roční úspora                                 |

Příklad výpočtu s dosazením pro tabulku 4.2:

$$N_{bezFVE} = 5,84 \cdot 17\,100 + 12 \cdot 392,28 + 12 \cdot 358,16 = 108\,870 \text{ Kč} \quad (4.2)$$

$$N_{s\,FVE} = 5,84 \cdot 11\,300 + 12 \cdot 392,28 + 12 \cdot 358,16 = 75\,000 \text{ Kč} \quad (4.3)$$

$$RÚ = N_{bezFVE} - N_{s\,FVE} = 108\,870 - 75\,000 = 33\,870 \text{ Kč} \quad (4.4)$$

### 4.3.3 Pořizovací náklady a dotace z NZÚ

Výše dotace z podoblasti C.3, viz. kapitola 2.8.1 byla stanovena pro navržený fotovoltaický systém o výkonu 5,4 kWp a akumulčním systémem 7,7 kWh na bázi lithia dle následující tabulky: [28]

Tabulka 4.3 Výše dotace pro podoblast C.3–fotovoltaické systémy a C.1–zdroj tepla

| Instalované části FVE C.3   | Počet jednotek [ks] | Výše podpory na měrnou jednotku [Kč/ks] | Celková výše podpory [Kč] |
|---|---------------------|---|---------------------------|
| Minimální instalace o výkonu 2 kWp s hybridním měničem                              | 1                   | 60 000                                  | 60 000                    |
| Za 1 kWp instalovaného výkonu nad 2 kWp   | 3                   | 10 000                                  | 30 000                    |
| Za 1 kWh el. akumulčního systému s akumulátory na bázi lithia                       | 7                   | 10 000                                  | 70 000                    |
| <b>C.1 - Tepelné čerpadlo pro teplovodní systém vytápění s přípravou teplé vody</b> |                     |   | 100 000                   |

Pro navrženou kombinaci TČ země/voda s vestavěným elektrokotlem a veškeré komponenty pro funkci hybridní elektrárny jsou vypsány pořizovací náklady včetně DPH v následující tabulce.

Tabulka 4.4 Pořizovací náklady včetně DPH

| <b>Pořizovací náklady kombinace TČ + FVE</b> |                             |                         |                 |                    |
|--|-----------------------------|-------------------------|-----------------|--------------------|
| Část   | Název                       | Pořizovací náklady [Kč] | Dotace NZÚ [Kč] | Cena s dotací [Kč] |
| TČ   | Tepelné čerpadlo            | 240 000                 | 100 000         | 240 000            |
|  | Hlubinný vrt, vč. kolektoru | 80 000                  |                 |                    |
|  | Montáž, příslušenství       | 20 000                  |                 |                    |
|  | <b>Celkem za TČ</b>         | <b>340 000</b>          |                 |                    |
| FVE  | FV panely Longi             | 69 000                  | 160 000         | 111 000            |
|  | Hybridní měnič              | 49 000                  |                 |                    |
|  | Baterie BYD                 | 133 000                 |                 |                    |
|  | Montáž, příslušenství       | 20 000                  |                 |                    |
|  | <b>Celkem za FVE</b>        | <b>271 000</b>          |                 |                    |
| <b>Cena celkem bez dotací [Kč]</b>           |                             |                         | <b>611 000</b>  |                    |
| <b>Cena celkem s dotacemi [Kč]</b>           |                             |                         | <b>351 000</b>  |                    |

#### 4.3.4 Prostá doba návratnosti

Jedním z finančních ukazatelů je prostá doba návratnosti. Tato metoda nezohledňuje vliv jakékoli úrokové míry, je považována za statickou metodu. Jedná se o velmi prosté ekonomické kritérium. [44]

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad (4.5)$$

|       |            |                                       |
|-------|------------|---------------------------------------|
| $T_s$ | počet roků | prostá doba návratnosti               |
| $IN$  | Kč         | investiční výdaj                      |
| $CF$  | Kč         | cash flow – peněžní tok, roční úspora |

#### 4.3.5 Diskontovaná doba návratnosti

Jinak nazváno také reálná doba návratnosti hodnotí, za jak dlouho se investice vrátí s ohledem na úrokovou míru. Tato metoda se řadí mezi dynamické metody. Na investičním projektu je zohledněn vliv času. Při výpočtu se položí rovnice rovno nule a dosazuje se čas až do doby, kdy se obě strany rovnají. Vzhledem k dnešní světové situaci, kdy zažíváme energetickou krizi a válečný konflikt na Ukrajině bude diskontní, tedy úroková míra stanovena na 10 %. Vysoký diskont se odvíjí od výše diskontní sazby a bere v potaz míru inflace.[45]

$$\sum_{t=1}^{T_{sd}} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN = 0 \quad (4.6)$$

|          |            |                         |
|----------|------------|-------------------------|
| $T_{sd}$ | počet roků | reálná doba návratnosti |
| $CF_t$   | Kč         | peněžní tok v roce $t$  |
| $IN$     | Kč         | investiční výdaj        |
| $r$      | -          | úroková míra (diskont)  |
| $t$      | roky       | doba                    |

#### 4.3.6 Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota, anglicky Net Present Value, zkráceně NPV, je rozdíl mezi současnou hodnotou všech příjmů a současnou hodnotou všech výdajů spojených s danou investicí. Výsledná hodnota udává, kolik peněz realizace investice podniku přinese. Pokud vyjde NPV kladně, je projekt přípustný. V případě, že vyjde NPV záporně, projekt je buď nepřijatelný, anebo je doba hodnocení kratší, než doba životnosti projektu.

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_z} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN \quad (4.7)$$

|        |            |                          |
|--------|------------|--------------------------|
| NPV    | Kč         | čistá současná hodnota   |
| $T_z$  | počet roků | doba životnosti projektu |
| $CF_t$ | Kč         | peněžní tok v roce $t$   |
| $IN$   | Kč         | investiční výdaj         |
| $r$    | -          | úroková míra (diskont)   |
| $t$    | roky       | doba                     |

Tabulka 4.5 Cash Flow pro kombinaci TČ a FVE s diskontní sazbou 10 %

| <b>Kombinace TČ a FVE</b>    |                 |                    |                        |                          |
|------------------------------|-----------------|--------------------|------------------------|--------------------------|
| S dotacemi [Kč]              |                 | Bez dotací [Kč]    |                        | Diskont d = 10 %         |
| 351 000                      |                 | 611 000            |                        |                          |
| rok                          | RÚ <sub>d</sub> | RÚ <sub>SUMA</sub> | CF <sub>S DOTACÍ</sub> | CF <sub>BEZ DOTACÍ</sub> |
| 0                            | -               | -                  | -351 000               | -611 000                 |
| 1                            | 33 870          | 33 870             | -317 130               | -577 130                 |
| 2                            | 37 257          | 71 127             | -279 873               | -539 873                 |
| 3                            | 40 983          | 112 110            | -238 890               | -498 890                 |
| 4                            | 45 081          | 157 191            | -193 809               | -453 809                 |
| 5                            | 49 589          | 206 780            | -144 220               | -404 220                 |
| 6                            | 54 548          | 261 328            | -89 672                | -349 672                 |
| 7                            | 60 003          | 321 330            | -29 670                | -289 670                 |
| 8                            | 66 003          | 387 334            | 36 334                 | -223 666                 |
| 9                            | 72 603          | 459 937            | 108 937                | -151 063                 |
| 10                           | 79 864          | 539 801            | 188 801                | -71 199                  |
| 11                           | 87 850          | 627 651            | 276 651                | 16 651                   |
| 12                           | 96 635          | 724 286            | 373 286                | 113 286                  |
| 13                           | 106 299         | 830 584            | 479 584                | 219 584                  |
| 14                           | 116 928         | 947 513            | 596 513                | 336 513                  |
| 15                           | 128 621         | 1 076 134          | 725 134                | 465 134                  |
| -----                        |                 |                    |                        |                          |
|                              | S dotacemi      | Bez dotací         |                        |                          |
| <b>T<sub>s</sub></b> [roky]  | 10,4            | 18,0               |                        |                          |
| <b>T<sub>sd</sub></b> [roky] | 7,5             | 10,4               |                        |                          |
| <b>NPV</b> [Kč]              | 110 864         | -149 136           |                        |                          |

**Příklad výpočtu:**

Diskontovaná roční úspora:

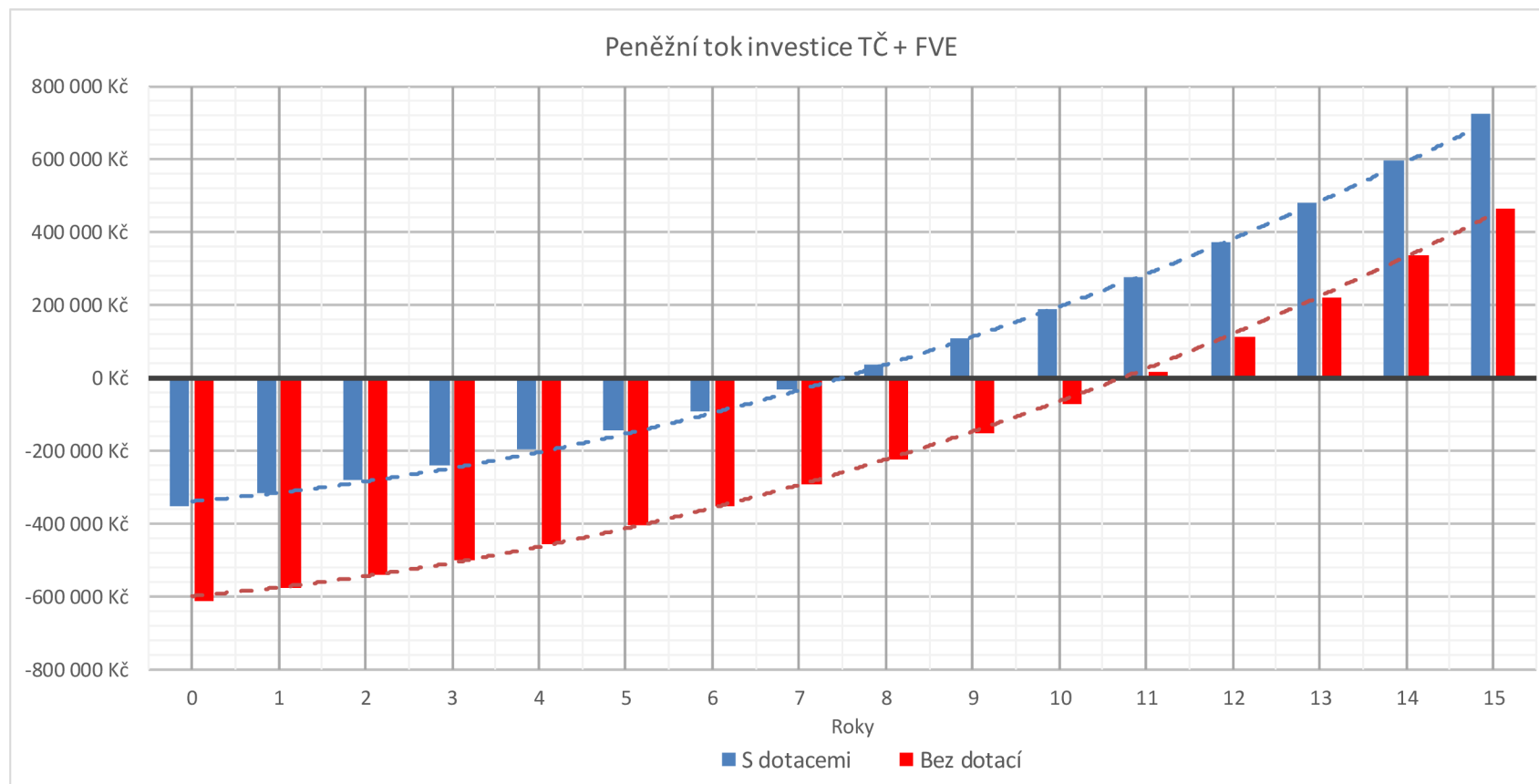
$$RÚ_{d2} = RÚ_{d1} \cdot d = 33870 \cdot 1,1 = 37\,257 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

Prostá doba návratnosti:

$$T_s = \frac{IN}{CF} = \frac{351\,000}{33\,870} = 10,4 \text{ let} \quad (4.9)$$

Cash Flow – Tok peněz s dotací pro 1. rok:

$$CF_1 = CF_0 + RÚ_{d1} = -351\,000 + 33\,870 = -317\,130 \text{ Kč} \quad (4.10)$$



Obrázek 4.4 Porovnání peněžního toku investice TČ+FVE s čerpáním dotací a bez dotací

## 5. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo popsat princip funkce tepelného čerpadla, navrhnout samotné tepelné čerpadlo s funkcí chlazení pro daný objekt, disponující určitou energetickou potřebou. Dále byla navržena fotovoltaická elektrárna na střechu objektu a k ní bylo zpracováno jednopólové schéma zapojení. V poslední části bylo vypočteno jednak energetické, ale i ekonomické zhodnocení. Díky zhodnocení bylo možné určit návratnost dané investice.

Pro návrh bylo použito čerpadlo typu země/voda, které dosahuje vyšší účinnosti a topného faktoru, vlivem konstantní teploty okolí. Vysokých topných faktorů je u tepelných čerpadel dosaženo díky ohřevu vody na nižší výstupní teplotu, oproti běžným kotlům. Tepelná čerpadla lze provozovat v mnoha režimech, v závislosti na spolupráci s dodatkovým zdrojem. Pro tento návrh je využito režimu paralelně bivalentního, kdy je čerpadlo souběžně v provozu s elektrickým dotopem. Řízení tepelného čerpadla je vícestupňové, kdy ekvitermní regulace zvyšuje topný výkon v závislosti na změnách venkovní teploty. Tepelná čerpadla dokáží nejen vytápět, ale i chladit objekty. K tomu dochází díky reverznímu chodu, které má pozitivní vliv na ohřev plošných i vertikálních kolektorů, respektive jejich okolí. Při použití pasivního chlazení dochází k efektivnímu provozu oběhových čerpadel bez nutnosti spínání kompresoru čerpadla.

Nejsnadnější způsobem, jak využívat obnovitelných zdrojů pro domácnosti je fotovoltaická elektrárna. Pro zajištění efektivity je pro hybridní FVE systém navržen vysokonapěťový systém baterií. Díky němu je dosaženo maximalizace spotřeby přebytečné vyrobené energie v místě vzniku.

Navržený systém byl vytvořen pro typový objekt rodinného domu v lokalitě Brna. Spotřeba elektrické energie na vytápění a provoz běžných spotřebičů vycházela z typových diagramů dodávek. Na základě určení hodnot spotřeby a tepelné ztráty objektu bylo vybráno tepelné čerpadlo firmy NIBE, které bude sloužit pro ohřev teplé vody, vytápění i pasivnímu chlazení. Pro snížení provozních nákladů byl navržen systém FVE s akumulací přebytků do baterií. Spotřeba a nabíjení baterií je řízena třífázovým hybridním měničem s asymetrickým způsobem dodávky do jednotlivých fází.

V ekonomickém zhodnocení byla vypočtena prostá i diskontovaná doba návratnosti, včetně porovnání užití dotací ze státního programu Nová zelená úsporám. Diskontní návratnost investice s využitím dotací byla vypočtena na 7,5 let. V rámci výpočtu byl zvolen 10% diskont. Důležité je brát na vědomí, že s vyšší diskontní sazbou se investice navrátí ještě dříve. Bez využití dotací by se navrácení investice prodloužilo na 10,4 let, doba návratnosti by se tedy prodloužila o 40 %.



## LITERATURA

- [1] LÁZNIČKOVÁ, Ilona. Technická mechanika: Mechanika poddajných těles, Termomechanika [online]. VUT v Brně, 2014, 140 s. [cit. 2021-10-12]
- [2] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. Tepelná čerpadla. Brno: ERA, 2005, vi, 68 s. : il. ISBN 80-7366-031-8
- [3] Zelené energie: Princip práce tepelného čerpadla [online]. [cit. 2021-10-20]. Dostupné z: <https://www.zeleneenergie.sk/princip-prace-tepelneho-cerpadla>
- [4] JELÍNEK, Vladimír a Vladimíra LINHARTOVÁ. Využívání a provozování tepelných čerpadel v nízkoenergetických domech [online]. 10.1.2015 [cit. 2021-11-20]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12211-vyuzivani-a-provozovani-tepelnych-cerpadel-v-nizkoenergetickych-domech>
- [5] MATUŠKA, Tomáš, Jan SCHWARZER a Bořivoj ŠOUREK. Tepelná čerpadla – teorie a schémata (IV) : Tepelné čerpadlo zapojené v bivalentním provozu pro vytápění [online]. 12.12.2005 [cit. 2021-11-20]. Dostupné také z: <http://www.tzb-info.cz/2932-tepelna-cerpadlateorie-a-schemata-iv>
- [6] KRAINER, Robert. Postup při návrh tepelných čerpadel [online]. 9.3.2015 [cit. 2021-11-20]. Dostupné také z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12401-postup-pri-navrhutepelných-cerpadel>
- [7] HOŘEJŠÍ, Miroslav. Tepelná čerpadla pro každého: Druhy podle zdroje tepla [online]. 1.4.2019 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/957-tepelna-cerpadla-pro-kazdeho-ii>
- [8] KARLÍK, Robert. Tepelné čerpadlo pro váš dům. Praha: Grada, 2009. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2720-2
- [9] Forfuture.cz: Fancoily – ventilátorové konvektory [online]. [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <http://www.tepelna-cerpadla-obchod.cz/42>
- [10] Vapor-compression refrigeration: Operating principle of a Scroll Compressor. Wikiwand [online]. [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: [http://www.wikiwand.com/en/Vapor-compression\\_refrigeration](http://www.wikiwand.com/en/Vapor-compression_refrigeration)

- [11] SVITÁKOVÁ, Jindra. Jaký je rozdíl mezi pasivním a nízkoenergetickým domem? [online]. 8.4.2019 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://www.realitymorava.cz/ekonomicke-noviny/1725-jaky-je-rozdil-mezi-pasivnim-a-nizkoenergetickym-domem>
- [12] Ekovy: Řídící jednotky pro tepelné čerpadlo [online]. [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: <http://www.ekovy.cz/ridici-jednotka-tepelneho-cerpadla.htm#EKO2>
- [13] Tepelná čerpadla s invertním řízením. TZB-info [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2012 [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9072-tepelna-cerpadla-vzduch-voda-s-invertnim-rozenim-jasna-volba-pro-novostavby>
- [14] Kurzy.cz: Sazby elektřiny pro domácnost [online]. [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/elektrina/sazby-elektriny>
- [15] CENEK, Miroslav. Obnovitelné zdroje energie. 2. upr. a dopl. vyd. Praha: FCC Public, 2001, 208 s. : il., tabulky, mapy. ISBN 80-901985-8-9
- [16] Standard Test Conditions (STC): definition and problems [online]. 2011 [cit. 2021-11-02]. Dostupné z: <http://sinovoltaics.com/learning-center/quality/standard-test-conditions-stcdefinition-and-problems/>
- [17] AXITEC Solar, katalogový list [online] [cit. 2021-11-05] [https://www.axitecsolar.com/sites/default/files/solar\\_modules\\_pdf/DB\\_120zlg\\_mono%20X\\_HC\\_MiA\\_EN\\_1500V.pdf](https://www.axitecsolar.com/sites/default/files/solar_modules_pdf/DB_120zlg_mono%20X_HC_MiA_EN_1500V.pdf)
- [18] Two-Stage Fault Diagnosis Method Based on the Extension Theory for PV Power Systems – Scientific Figure on ResearchGate. [cit. 2021-11-12] Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/The-I-V-characteristic-curve-of-solar-cells-under-different-temperature\\_fig1\\_258388008](https://www.researchgate.net/figure/The-I-V-characteristic-curve-of-solar-cells-under-different-temperature_fig1_258388008)
- [19] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 254 s. : il. ISBN 978-80-01-04937-2
- [20] BECHNÍK, Bronislav. Historie a perspektivy OZE [online]. 30.3.2009 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5517-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-mene-rozsirene-technologie>

- [21] QUASCHNING, Volker a Václav BARTOŠ. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010, 296 s. : il., mapy. ISBN 978-80-247-3250-3
- [22] DEKSOLAR: Vše o fotovoltaice [online]. [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://deksolar.cz/vse-o-fotovoltaice/>
- [23] Obecné schéma zapojení fotovoltaického zdroje. OEZ, s.r.o.[online]. 2014 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/aktuality/obecne-schema-zapojeni-fotovoltaickeho-zdroje>
- [24] KADĚRA, J. Tepelné čerpadlo napájené z fotovoltaického systému. Diplomová práce. [online]. [cit. 2021-11-12]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2020. 91 s. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.
- [25] ERU. Pravidla pro paralelní provoz zdrojů: Příloha 4. In: Pravidla provozování distribučních soustav 2011. [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/edee/content/file-other/cezes/pro-zakazniky/ppds\\_2016-vcetne-priloh.pdf](https://www.cez.cz/edee/content/file-other/cezes/pro-zakazniky/ppds_2016-vcetne-priloh.pdf)
- [26] ERU. Pravidla pro připojení mikrozdroje k distribuční soustavě: Příloha 10 k vyhl. č. 16/2016 Sb. [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/documents/10540/463080/P%C5%99%C3%ADloha+10+vyhl+o+p%C5%99ipojen%C3%AD/66871213-9090-49ba-9a30-7140fecc44b1>
- [27] NZÚ: Dotační programy 2021+ [online]. [cit. 2021-11-05]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/>
- [28] Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory programu Nová zelená úsporám v rámci Národního plánu obnovy: RODINNÉ DOMY [online]. Státní fond životního prostředí ČR, 2021 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: [https://novazelenausporam.cz/files/documents/storage/2021/10/05/1633434577\\_NZ%C3%9A%20RD%20-%20Z%C3%A1vazn%C3%A9%20pokyny%20pro%20%C5%BEadatele.pdf](https://novazelenausporam.cz/files/documents/storage/2021/10/05/1633434577_NZ%C3%9A%20RD%20-%20Z%C3%A1vazn%C3%A9%20pokyny%20pro%20%C5%BEadatele.pdf)
- [29] Seznam výrobků a technologií: Operační program Životního prostředí [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://svt.sfzp.cz/>
- [30] OTE: Praha: OTE, a.s., 2018 [online]. [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs>

- [31] SALTEK s.r.o.: Ochrana před přepětím [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://moodle.vut.cz/mod/resource/view.php?id=167151>
- [32] Solární panel Longi 450Wp [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: [https://eshop.neosolar.cz/data/images\\_content/1668/11292-O-technicky-list-lr4-72hph-425-455m.pdf](https://eshop.neosolar.cz/data/images_content/1668/11292-O-technicky-list-lr4-72hph-425-455m.pdf)
- [33] Produktová karta: NIBE [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://www.nibe.cz/ke-stazeni/category/27-tepelne-cerpadlo-nibe-f1245-pc?download=1332:nibe-f1245-pc-produktova-karta>
- [34] Projektuj-tepelna-cerpadla.cz: Manuál pro využití pasivního a aktivního chlazení u tepelných čerpadel země/voda [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/?download=navrh-chlazen-pro-zeme-voda.pdf>
- [35] NIBE: e-shop [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://www.nibe.cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda/tepelne-cerpadlo-nibe-f1245-pc#vice-informaci>
- [36] Portál ČHMÚ: Stanice Brno Tuřany [online]. [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/data-ze-stanic-site-RBCN#>
- [37] Ecoproduct.cz: Hybridní měnič GoodWe GW5K-ET 5000VA [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: [https://ecoprodukt.cz/p/80762-hybridni-menic-goodwe-gw5k-et-5000va-20765?gclid=Cj0KCQjwgMqSBhDCARIsAIIVN1VPDBuofdFMpfojTYQYeKRgBKKSJlvwTdicKtu1NGE7WDdcY468W4caAubuEALw\\_wcB#download](https://ecoprodukt.cz/p/80762-hybridni-menic-goodwe-gw5k-et-5000va-20765?gclid=Cj0KCQjwgMqSBhDCARIsAIIVN1VPDBuofdFMpfojTYQYeKRgBKKSJlvwTdicKtu1NGE7WDdcY468W4caAubuEALw_wcB#download)
- [38] Technická dokumentace: Hybridní měnič GoodWe GW5K-ET 5000VA [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://ecoprodukt.cz/product/20765/download/Technick%C3%A1%20dokument%C3%A1cia%20CZ.pdf>
- [39] Mg-solarshop.com: BYD B-Box Premium HVS 7.7 [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.mg-solar-shop.com/byd-b-box-premium-hvs-7.7-battery-storage-7.68-kwh>

- [40] Technická dokumentace: BYD B-Box Premium HVS 7.7 [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: [https://www.mg-solar-shop.com/media/pdf/27/6a/f3/201013\\_premium\\_datasheet\\_hv\\_v1-4\\_en.pdf](https://www.mg-solar-shop.com/media/pdf/27/6a/f3/201013_premium_datasheet_hv_v1-4_en.pdf)
- [41] PVGIS: Program Evropské unie [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)
- [42] Kurzy.cz: E.ON Energie, a.s. - Ceník Variant PRO 24 Jaro II. [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/elektrina/eon-energie-a-s/eon-energie-as-cenik-variant-pro-24-jaro-ii?kraje=37>
- [43] EGD\_Cenik\_regulovanych\_cen\_EE\_2022\_D\_EG.D [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: [https://www.egd.cz/sites/default/files/2022-01/EGD\\_Cenik\\_regulovanych\\_cen\\_EE\\_2022\\_D\\_EG.D.pdf](https://www.egd.cz/sites/default/files/2022-01/EGD_Cenik_regulovanych_cen_EE_2022_D_EG.D.pdf)
- [44] Projekty inkapo: Doba návratnosti [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.projekty-inkapo.cz/doba-navratnosti/>
- [45] Česká národní banka: Určení míry sazby [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/>

# SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

|          |   |
|----------|---|
| A        | ampér   |
| AC       | střídavý  |
| Ah       | ampérhodina   |
| AM       | air mass (hmotnost vzduch)                          |
| COP      | topný faktor  |
| DZ       | dodatkový zdroj tepla                               |
| eV       | elektronvolt  |
| FEKT     | fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií |
| FV       | fotovoltaika  |
| FVS      | fotovoltaický systém                                |
| Grid-off | autonomní systém                                    |
| Grid-on  | systém propojený se sítí, bez akumulace             |
| HDO      | hromadné dálkové ovládání                           |
| $I_{SH}$ | proud nakrátko                                      |
| kW       | kilowatt  |
| kWh      | kilowatthodina                                      |
| LPS      | třída ochrany před bleskem                          |
| MPP      | bod maximálního výkonu                              |
| MWh      | megawatthodina                                      |
| NN       | nízké napětí  |
| OZE      | obnovitelný zdroj energie                           |
| POZE     | podporované zdroje energie                          |
| Q        | přijaté teplo                                       |
| $Q_{TČ}$ | výkon tepelného čerpadla                            |
| $Q_z$    | tepelné ztráty objektu                              |
| RD       | rodinný dům   |
| SCOP     | sezonní topný faktor                                |
| $T_b$    | teplota bivalence                                   |
| TČ       | tepelné čerpadlo                                    |
| TDD      | typový diagram dodávky                              |
| $U_{0C}$ | napětí naprázdno                                    |
| V        | volt  |
| VN       | vysoké napětí                                       |
| VUT      | vysoké učení technické v Brně                       |
| VVN      | velmi vysoké napětí                                 |
| W        | mechanická práce spotřebovaná                       |
| $W_p$    | wattpeak – watt špičkového výkonu                   |

Symbols:

|          |                               |     |
|----------|-------------------------------|-----|
| $I$      | proud                         | (A) |
| COP      | topný faktor                  | (-) |
| $Q$      | přijaté teplo                 | (J) |
| $U$      | napětí                        | (V) |
| $U_{oc}$ | napětí naprázdno              | (V) |
| $W$      | mechanická práce spotřebovaná | (J) |
| $l$      | délka hromosvodu              | (m) |
| $s$      | dostatečná vzdálenost         | (m) |
| $k_i$    | koeficient pro typ budovy     | (-) |
| $k_n$    | koeficient okolního prostředí | (-) |
| $k_c$    | koeficient počtu svodů        | (-) |

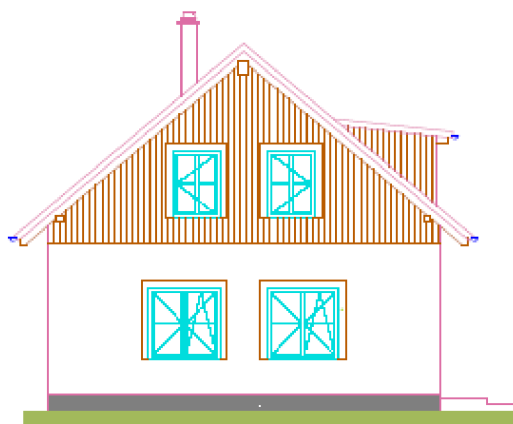
## **SEZNAM PŘÍLOH**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>PŘÍLOHA A - DOKUMENTACE RODINNÉHO DOMU .....</b>          | <b>68</b> |
| <b>PŘÍLOHA B - DETAILNÍ ROZMÍSTĚNÍ PANELŮ NA STŘEŠE.....</b> | <b>69</b> |
| <b>PŘÍLOHA C - JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ FVE.....</b>      | <b>70</b> |

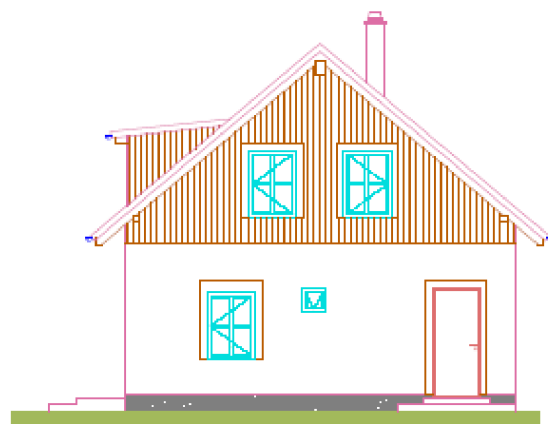


# Příloha A - Dokumentace rodinného domu

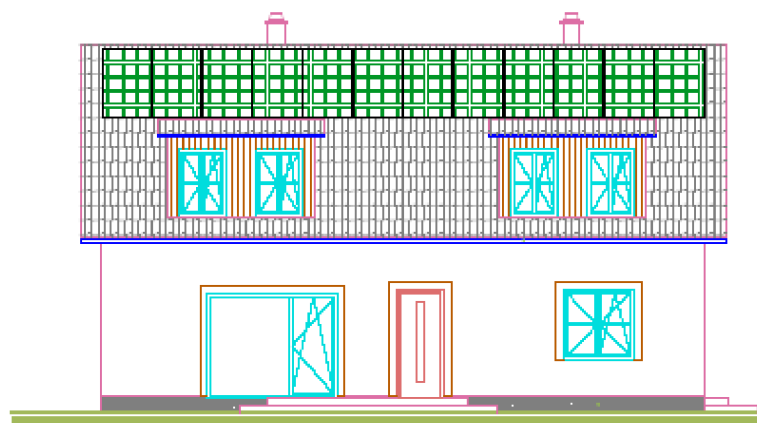
## SEVEROZÁPADNÍ POHLED



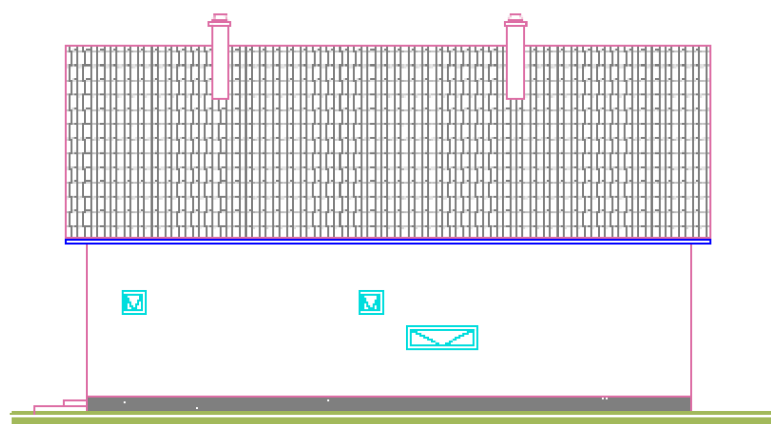
## JIHOVÝCHODNÍ POHLED



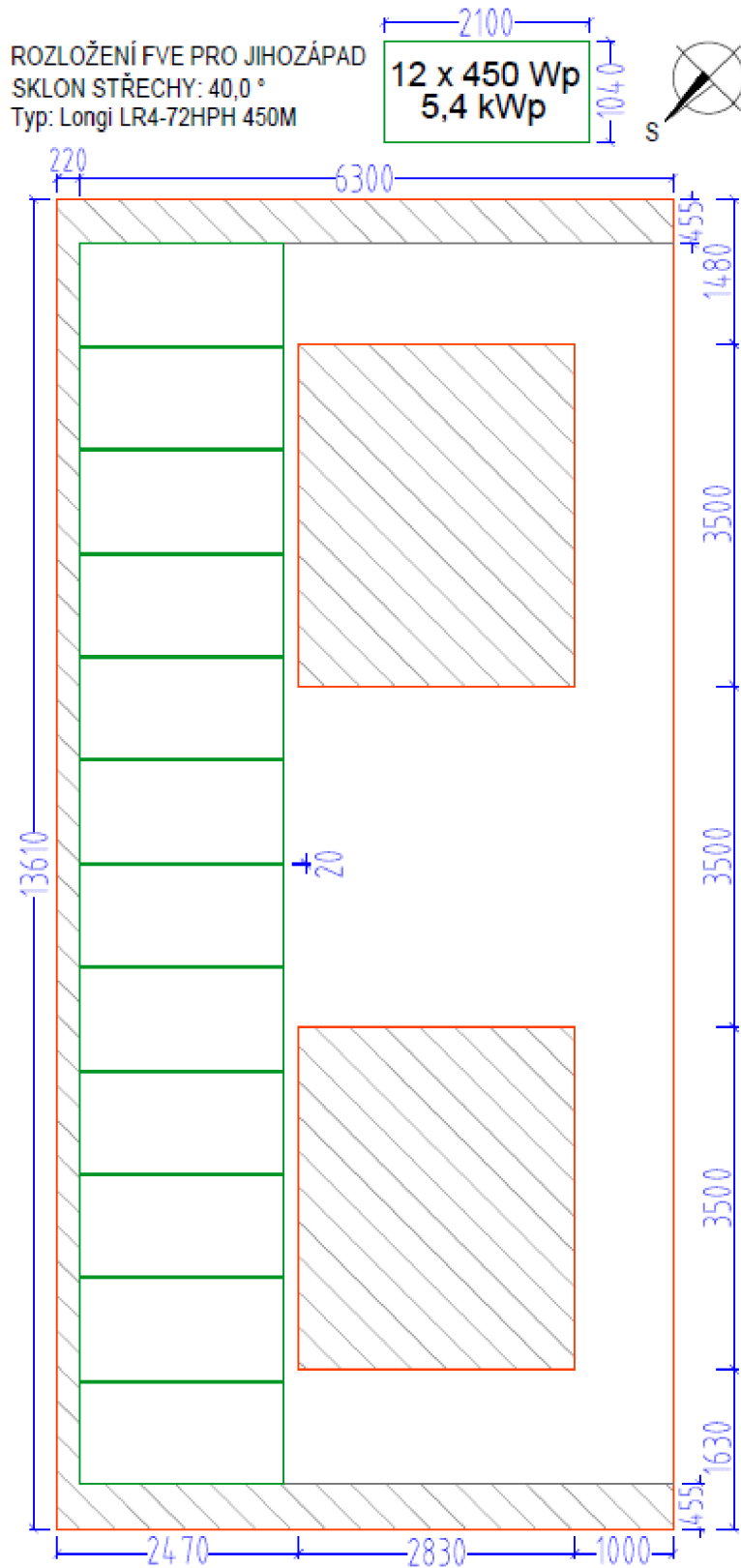
## JIHOZÁPADNÍ POHLED



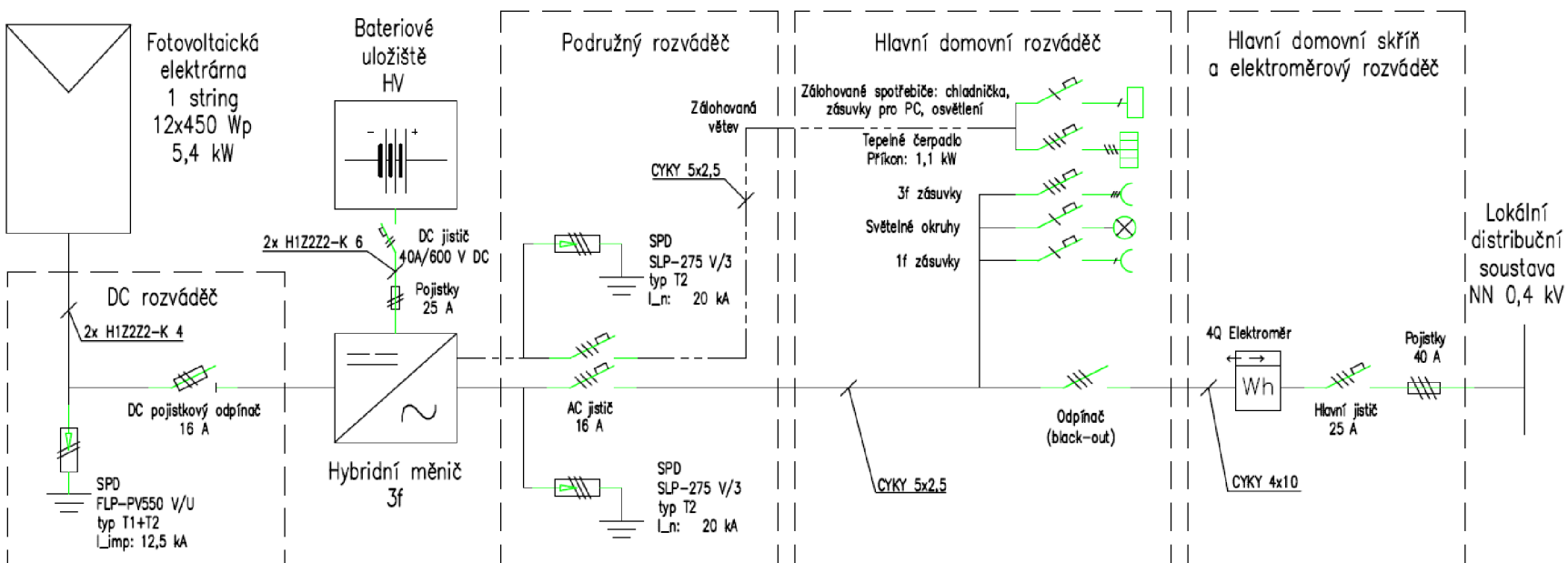
## SEVEROVÝCHODNÍ POHLED



## Příloha B - Detailní rozmístění panelů na střeše



# Příloha C - Jednopolové schéma zapojení FVE



|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| <p>Fotovoltaická elektrárna<br/>Modul: Longi LR4-72HPH 450M<br/>Maximální výkon: 450 W<br/>Maximální napětí: 41,5 V<br/>Maximální proud: 10,85 A<br/>Účinnost: 20,7 %<br/>*údaje platné pro STC<br/>*možnost připojit 2. string</p> | <p>Hybridní měnič 3 fázový<br/>Označení: GoodWe GW5K-ET<br/>Výstupní AC výkon: 5 000 VA<br/>Max. vstupní výkon z FV: 6,5 kW<br/>Počet MPPT regulátorů: 2<br/>Max. DC vstupní napětí: 1 000 V<br/>Rozsah napětí baterie: 180~550 V<br/>Max. účinnost: 98 %</p> | <p>Bateriové uložení<br/>Označení: BYD B-Box Premium HVS<br/>Kapacita: 3 x 2,56 = 7,68 kWh<br/>Nominální napětí: 307 V<br/>Maximální výstupní proud: 25 A<br/>Lithium-fosfátová (LFP) baterie<br/>Obsahuje BMS v BCU</p> | <p>Tepelné čerpadlo:<br/>Označení: NIBE F1245 PC, typ 5<br/>Provozní napětí: 3x400 V+N+PE<br/>Doplňkový zdroj: 1-7 kW<br/>Výkon: 4,7 kW<br/>Příkon: 1,1 kW<br/>COP: 4,3<br/>*dle EN 14511 při 0/35</p> |
|---|---|--|--|