

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ A HUMANITNÍCH VĚD



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2024

Aplikace pro vyhodnocování ekonomické efektivity  
využívání přebytků výroby z FVE pro rodinné domy

Application for economic evaluation of use of excess  
production of PVE for family houses

**Autor:** Bc. Adam Beneš

**Studijní program:** Elektrotechnika, energetika a management

**Studijní obor:** Management energetiky a elektrotechniky

**Vedoucí práce:** Ing. Martin Beneš, Ph.D.



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Beneš** Jméno: **Adam** Osobní číslo: **491850**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Specializace: **Management energetiky a elektrotechniky**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Aplikace pro vyhodnocování ekonomické efektivity využívání přebytků výroby z FVE pro rodinné domy**

Název diplomové práce anglicky:

**Application for economic evaluation of use of excess production of PVE for family houses**

Pokyny pro vypracování:

1. Popište možnosti výstavby FVE na rodinných domech.
2. Zjistěte možnosti podpory výstavby energetických zdrojů na rodinných domech.
3. Vypočítejte spotřebu energie objektu. Navrhněte řízení diagramu výroby a spotřeby elektrické energie.
4. Analyzujte investiční a provozní výdaje. Vytvořte výpočetní model a navrhněte aplikaci pro výpočet ekonomické efektivity.
5. Vypočítejte modelový případ včetně citlivostní analýzy.

Seznam doporučené literatury:

Karlík R.: Tepelné čerpadlo pro váš dům, Grada 2009, ISBN 978-80-247-2720-2.  
Brealey R., Myers S., Allen F., Edmans A.: Principles of Corporate Finance, 14th edition, McGraw-Hill Education 2022, ISBN 1265074151  
Norma TNI: 73 0351 Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly, 2014.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

Datum zadání diplomové práce: **18.01.2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2024**

Platnost zadání diplomové práce: **21.09.2025**

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

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem následující práci vypracoval samostatně s přispěním vedoucího práce. Veškeré zdroje jsem správně a úplně citoval a jsou uvedeny v seznamu použité literatury, který je součástí této závěrečné práce. Nemám žádný závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů v platném znění.

V Praze dne: .....

.....

Adam Beneš

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Martinu Benešovi, Ph.D. za jeho vedení, odborné rady a podporu během psaní této diplomové práce.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá vývojem výpočetní aplikace pro optimalizaci fotovoltaických systémů pro rodinné domy s možností využití tepelných čerpadel s cílem dosáhnout maximální ekonomické efektivity. Aplikace umožní uživatelům nalézt optimální konfiguraci systému a ověřit rentabilitu nabídky od instalatérských firem. Výpočetní aplikace by měla být schopna doporučit optimální instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny a navrhnout vhodné využití přebytečné energie. S rostoucím počtem fotovoltaických systémů se často stává, že distribuční sítě jsou přetíženy, což snižuje atraktivitu prodeje přebytků do sítě. Proto je důležité zkoumat i alternativní možnosti, jako je akumulace energie do baterií nebo využití tepelných čerpadel. Cílem práce je poskytnout uživatelům nástroj pro stanovení optimálního řešení v závislosti na jejich individuálních potřebách a vstupních parametrech.

## **Klíčová slova:**

Fotovoltaická elektrárna, bateriové úložiště, tepelné čerpadlo, ekonomická efektivita, úspora energie, ekonomická analýza, spotřeba energie, výpočetní aplikace, rodinné domy

## **Abstract**

This thesis deals with the development of a computational tool for the optimization of photovoltaic systems with the possibility of using heat pumps for family houses in order to achieve maximum economic efficiency. The application should allow users to find the optimal system configuration and verify the cost-effectiveness of price offers from installers. The computational tool should be able to recommend the optimal installed capacity of the PV plant and suggest an appropriate use of surplus energy. As the number of PV systems grows, distribution grids are often overloaded, which reduces the attractiveness of selling surplus to the grid. It is therefore important to explore alternative options such as energy storage in batteries or the use of heat pumps. The aim of this work is to provide users with a tool to determine the optimal solution depending on their individual needs and input parameters.

## **Key words:**

Photovoltaic power plant, battery storage, heat pump, economic efficiency, energy saving, economic analysis, energy consumption, computational tool, family houses

# Obsah

Seznam zkratk	10
Seznam tabulek	11
Seznam obrázků	12
Seznam grafů	13
Seznam příloh	14
Úvod	15
1 Instalace FVE na rodinných domech	17
1.1 Fotovoltaické systémy	17
1.1.1 Prvky fotovoltaických systémů	18
1.2 Historický vývoj výstavby FVE v ČR	18
1.3 Současná situace	20
2 Využití přebytečné elektrické energie	21
2.1 Akumulace energie do bateriového úložiště	21
2.2 Akumulace energie do tepla	23
2.2.1 Tepelná čerpadla	23
2.2.2 Elektrokotel	26
2.2.3 Druhy zapojení topných systémů	27
2.3 Prodej energie do sítě	29
3 Dotace	31
3.1 Nová zelená úsporám	31
3.1.1 Fotovoltaické systémy	32
3.1.2 Výměna zdrojů tepla	34
3.1.3 Příprava teplé vody	35
4 Měrné investiční a provozní výdaje	37
4.1 Investiční výdaje FVE	37
4.2 Investiční výdaje bateriová úložiště	39
4.3 Investiční výdaje tepelná čerpadla	41
4.4 Investiční výdaje střídač	42
4.5 Provozní výdaje	43
5 Spotřeba energie	44
5.1 Vytápění	45
5.2 Ohřev teplé vody	47
5.3 Spotřebiče	50
5.4 Elektromobil	52

5.5	Klimatizace.....	53
6	Výpočetní aplikace.....	54
6.1	Vstupní předpoklady .....	54
6.2	Energetická bilance .....	55
6.2.1	Elektrická energie.....	55
6.2.2	Zemní plyn .....	60
6.2.3	Tuhá paliva .....	60
6.3	Fotovoltaický systém.....	61
6.3.1	Výroba elektrické energie .....	62
6.3.2	Bateriový systém.....	64
6.4	Topný systém s využitím tepelného čerpadla.....	65
6.5	Ekonomický model .....	70
6.5.1	Úspory .....	71
6.5.2	Příjmy .....	75
6.5.3	Výdaje .....	76
6.6	Vývoj cen .....	77
6.7	Algoritmus výpočtu.....	78
7	Modelový příklad .....	81
7.1	Popis objektu .....	81
7.2	Energetická bilance objektu .....	82
7.3	Vyhodnocení .....	84
7.4	Zhodnocení výsledků .....	88
7.5	Citlivostní analýza.....	92
	Závěr.....	97
	Literatura .....	100
	Příloha.....	104



# Seznam zkratk

---

AC	Střídavý proud
AKU	Akumulační zdroj energie
COP	Topný faktor
ČNB	Česká Národní Banka
DC	Stejnoseměrný proud
DDN	Diskontovaná doba návratnosti
DoD	Hloubka vybití
EE	Elektrická energie
ERÚ	Energetický Regulační Úřad
EUA	Emisní povolenka
FVE	Fotovoltaická elektrárna
HDO	Hromadné dálkové ovládání
HST	Hodinostupňová metoda
IRR	Míra výnosnosti
NEAKU	Neakumulační zdroj energie
NN	Nízké Napětí
NPV	Čistá současná hodnota
NZÚ	Nová zelená úsporám
OTE	Operátor trhu
PDN	Prostá doba návratnosti
PLM	Plnometr
POZE	Podporované zdroje energie
PRMS	Prostorový metr sypaný
RCF	Roční ekvivalentní peněžní tok
RRF	Nástroj na podporu a oživení odolnosti
SCOP	Sezónní topný faktor
SFŽP ČR	Státní fond pro životní prostředí ČR
SoC	Stav nabití
TČ	Tepelné čerpadlo
TP	Tuhá paliva
TUV	Teplá užitková voda
TV	Teplá voda
ZP	Zemní plyn

# Seznam tabulek

---

<i>Tab. 2.1 – Závislost životnosti baterie na hloubce vybití [12]</i> .....	22
<i>Tab. 3.1 – Jednotkové výše podpory dotačního programu NZÚ pro fotovoltaické systémy v podoblasti C.3 [27]</i> .....	33
<i>Tab. 3.2 – Přehled jednotkových výší podpory pro tepelná čerpadla v podoblasti C.1 [27]</i> .....	34
<i>Tab. 3.3 – Přehled podporovaných opatření pro tepelná čerpadla v podoblasti C.2 [27]</i> .....	35
<i>Tab. 3.4 – Státem podporované obce s rozšířenou působností dle Akčního plánu Strategie regionálního rozvoje 2021+ [28]</i> .....	35
<i>Tab. 3.5 – Státem podporované obce na území bývalých vojenských újezdů dle Akčního plánu Strategie regionálního rozvoje 2021+ [28]</i> .....	36
<i>Tab. 4.1 – Indexy cen průmyslových výrobců podle CZ-CPA vztaheny k roku 2015 pro skupinu elektrická zařízení [29]</i> .....	38
<i>Tab. 4.2 – Ceník tepelných čerpadel od společnosti Regulus a MasterTherm [31] [32]</i> .....	41
<i>Tab. 5.1 – Třídy typových diagramů dodávek [36]</i> .....	44
<i>Tab. 5.2 – Ukázka tepelné ztráty samostatně stojícího domu s podlahovou plochou 200 m<sup>2</sup> dle období výstavby. [40]</i> .....	46
<i>Tab. 5.3 – Závislost opravného součinitele topného systému na typu regulace [39]</i> .....	47
<i>Tab. 5.5.4 – Koefficienty energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody dle typu rozvodu [39]</i> .....	48
<i>Tab. 5.5 – Přehled významných spotřebičů energie v domácnosti (bez vytápění a ohřevu TV) včetně obvyklých hodnot příkonu [43]</i> .....	50
<i>Tab. 5.6 – Závislost soudobosti osvětlení na počtu osob v domácnosti</i> .....	51
<i>Tab. 6.1 – Metodika výpočtu rozdělení elektrické energie dle kategorie spotřeby (vytápění, ohřev TV a spotřebiče)</i> .....	57
<i>Tab. 6.2 – Přehled výhřevnosti dle typu tuhého paliva [47]</i> .....	61
<i>Tab. 6.3 – Závislost teploty na vstupu do výparníku na typu zdroje tepla [53]</i> .....	65
<i>Tab. 6.4 – Požadované kombinace zkušebních teplotních podmínek pro tepelná čerpadla [53]</i> .....	67
<i>Tab. 6.5 – Výše regulovaných poplatků na hladině NN [55]</i> .....	71
<i>Tab. 6.6 – Přehled cen za silovou složku elektrické energie pro tarif D57d u různých obchodníků [57], [58], [59]</i> .....	73
<i>Tab. 6.7 – Rámcové ceny zdrojů vytápění [61]</i> .....	75
<i>Tab. 6.8 – Přehled všech možných konfigurací výpočtu ve výpočetní aplikaci</i> .....	78
<i>Tab. 6.9 – Odhadovaná doba trvání výpočtu dle výpočetní varianty a rychlosti výpočtu</i> .....	79
<i>Tab. 7.1 – Přehled časů spinání systému HDO zadaných do výpočetního modelu</i> .....	83
<i>Tab. 7.2 – Vyhodnocení optimální konfigurace modelového příkladu – kombinované varianty</i> .....	85
<i>Tab. 7.3 – Vyhodnocení ekonomických ukazatelů modelového příkladu – kombinované varianty</i> .....	86
<i>Tab. 7.4 – Vyhodnocení optimální konfigurace modelového příkladu – pouze různé druhy tepelných čerpadel</i> .....	86
<i>Tab. 7.5 – Vyhodnocení ekonomických ukazatelů modelového příkladu – pouze různé druhy tepelných čerpadel</i> .....	86
<i>Tab. 7.6 – Vyhodnocení optimální konfigurace modelového příkladu – různé druhy tepelných čerpadel s FVE</i> .....	87
<i>Tab. 7.7 – Vyhodnocení ekonomických ukazatelů modelového příkladu – různé druhy tepelných čerpadel s FVE</i> .....	87
<i>Tab. 7.8 – Optimální konfigurace fotovoltaického systému dle výpočetního modelu</i> .....	89
<i>Tab. 7.9 – Ekonomické ukazatele optimální konfigurace fotovoltaického systému dle výpočetního modelu</i> .....	89
<i>Tab. 7.10 – Orientační cenový rozklad optimální konfigurace fotovoltaického systému dle výpočetního modelu</i> .....	90
<i>Tab. 7.11 – Vyhodnocení celkové roční úspory pro optimální konfiguraci fotovoltaického systému dle výpočetního modelu</i> .....	91

# Seznam obrázků

---

<i>Obr. 2.1 – Princip tepelného čerpadla [16]</i> .....	23
<i>Obr. 2.2 – Schéma zapojení tepelného čerpadla s jednou akumulací nádrží [22]</i> .....	27
<i>Obr. 2.3 – Schéma zapojení tepelného čerpadla s jednou akumulací nádrží o nižší teplotě [22]</i> .....	28
<i>Obr. 2.4 – Schéma zapojení tepelného čerpadla s dvěma akumulací nádržemi [22]</i> .....	28
<i>Obr. 6.1 – Schematický graf postupu výpočtu celkových ročních spotřeb elektrické energie pro vytápění, ohřev TV a spotřebiče</i> .....	58
<i>Obr. 6.2 – Schematický graf postupu přepočtu celkových hodinových průběhů spotřeby elektrické energie</i> .....	59
<i>Obr. 6.3 – Mapa okresů České republiky [49]</i> .....	62
<i>Obr. 6.4 – Vliv orientace a sklonu panelu na jejich výkon [50]</i> .....	63
<i>Obr. 6.5 – Schematický graf postupu výpočtu energetické bilance tepelného čerpadla</i> .....	69
<i>Obr. 6.6 – Distributoři elektrické energie v ČR dle území [56]</i> .....	72
<i>Obr. 6.7 – Distributoři zemního plynu v ČR dle území [60]</i> .....	74
<i>Obr. 6.8 – Ukázka vyhodnocení výsledků optimalizačního modelu</i> .....	80
<i>Obr. 7.1 – Uvažovaný objekt pro ilustrační příklad [65]</i> .....	81
<i>Obr. 7.2 – Náhled na objekt z ptáčích perspektivy spolu s umístěním fotovoltaických panelů [65]</i> .....	82

# Seznam grafů

---

<b>Graf 1.1</b> – Vývoj instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren v ČR [7].....	19
<b>Graf 1.2</b> – Vývoj ceny elektrické energie na denním trhu.....	20
<b>Graf 4.1</b> – Průměrné měrné investiční výdaje za FVE v průběhu let.....	38
<b>Graf 4.2</b> – Závislost měrných investičních výdajů FVE na instalovaném výkonu.....	39
<b>Graf 4.3</b> – Průměrné měrné investiční výdaje za baterii v průběhu let.....	40
<b>Graf 4.4</b> – Závislost měrné investice baterie na kapacitě.....	40
<b>Graf 4.5</b> – Průměrné náklady za instalaci tepelného čerpadla.....	42
<b>Graf 5.1</b> – Průběh celostátních přepočtených TDD ze dne 01.03.2024 [37].....	45
<b>Graf 5.2</b> – Denní hodinový profil spotřeby TV v domácnosti pro běžný pracovní den a víkend [41].....	49
<b>Graf 5.3</b> – Roční průběh měsíční spotřeby teplé vody v domácnosti [42].....	49
<b>Graf 6.1</b> - Závislost teploty na vstupu do výparníku na venkovní teplotě pro TČ země – voda.....	66
<b>Graf 6.2</b> – Scénáře vývoje výkupní ceny přebytků z FVE v průběhu let.....	76
<b>Graf 7.1</b> – Hodinový průběh spotřeby elektrické energie v domácnosti v průběhu týdne.....	84
<b>Graf 7.2</b> – Energetická bilance optimální konfigurace fotovoltaického systému dle výpočetního modelu.....	89
<b>Graf 7.3</b> – Graf vyhodnocení investičních výdajů optimální konfigurace fotovoltaického systému dle výpočetního modelu.....	90
<b>Graf 7.4</b> – Závislost čisté současné hodnoty na průměrné roční spotřebě elektrické energie.....	92
<b>Graf 7.5</b> – Závislost čisté současné hodnoty na průměrné roční spotřebě zemního plynu.....	93
<b>Graf 7.6</b> – Závislost čisté současné hodnoty na procentuální změně výše vstupní investice.....	94
<b>Graf 7.7</b> – Závislost čisté současné hodnoty na eskalaci ceny elektrické energie.....	95
<b>Graf 7.8</b> – Závislost čisté současné hodnoty na eskalaci ceny zemního plynu.....	96

# Seznam příloh

---

Příloha 1	Uživatelský manuál pro výpočetní aplikaci
Příloha 2	Vyhodnocení optimální konfigurace – výstup výpočetního modelu

# Úvod

---

V dnešní době je stále více domácností, které se rozhodují pro instalaci fotovoltaické elektrárny s cílem snížit své výdaje za energie. S tímto trendem se na trhu objevilo mnoho instalačních firem, řada z nich se však zaměřuje spíše na optimalizaci fotovoltaických systémů s ohledem na vlastní zisk než na prospěch zákazníka. Důsledkem bývá předimenzování fotovoltaických systémů, které pak produkují nadměrné množství energie, jež je odesíláno zpět do sítě. Navrhnout ekonomicky optimální fotovoltaický systém je složitý proces, který vyžaduje zohlednění mnoha faktorů a specifík každé domácnosti. Na internetu lze nalézt různé zjednodušené výpočetní aplikace, které na základě roční spotřeby elektrické energie dokážou odhadnout optimální instalovaný výkon, avšak mnozí zákazníci hledají často komplexnější přístup. V takových případech se často obrací na energetické specialisty, kteří disponují znalostmi a schopnostmi provést detailní analýzu a navrhnout nejlepší řešení pro každou konkrétní domácnost. Takový přístup zaručuje, že fotovoltaický systém bude nejen efektivní z hlediska výroby energie, ale také ekonomicky výhodný a přizpůsobený potřebám a možnostem zákazníka.

Tato diplomová práce se zaměřuje na vývoj a implementaci aplikace, která umožní uživatelům nalézt optimální konfiguraci fotovoltaického systému včetně možnosti využití tepelného čerpadla s cílem zajistit maximální ekonomickou efektivitu. Výpočetní aplikace také zákazníkovi umožní ověřit rentabilitu cenové nabídky od instalační firmy na fotovoltaický systém či systém využívající tepelné čerpadlo. Výsledkem aplikace by neměla být pouze optimální konfigurace systému pro daný rodinný dům, ale také detailní přehled položek platby za energii před a po optimalizaci. Aplikace bude schopna doporučit uživateli počet panelů, které by si měl nechat na střechu nainstalovat, ale zároveň navrhne optimální variantu využití přebytečné energie.

Standardním přístupem využití přebytků elektrické energie je prodej do sítě. Avšak s rostoucím počtem fotovoltaických elektráren v České republice jsou distribuční sítě často přetíženy, tudíž bývá maximální rezervovaný výkon v odběrném místě často omezen. Zároveň zvyšujícím se počtem fotovoltaických elektráren připojených do sítě, vzniká ohromný rozdíl mezi cenou elektřiny v poledních a večerních hodinách, tudíž lze předpokládat, že výkupní cena přebytků bude do budoucna klesat. Další z možností je akumulace elektrické energie do baterie, problémem bateriových úložišť je však jejich vysoká pořizovací cena a také nižší životnost. Aby se investice do baterie vyplatila, musí být její vytíženost co nejvyšší. Z tohoto důvodu je baterie vhodná především pro domácnosti, jež jsou v poledních hodinách často mimo domov a špička spotřeby elektrické energie tak nastává až k večeru. Další z možností je využití již zmiňovaného tepelného čerpadla, které se s fotovoltaickým systémem skvěle doplňuje. Tepelné čerpadlo má velice vysokou účinnost, zároveň dokáže navýšit spotřebu elektrické energie, čímž se zvyšuje využití fotovoltaiky. Tepelná čerpadla jsou vhodná zejména pro rodinné domy, které v současnosti využívají k vytápění a ohřevu teplé vody plynové zdroje.

Cílem této práce je poskytnout uživateli ucelený nástroj pro rámcové stanovení optimálního nastavení fotovoltaického a topného systému s využitím tepelného čerpadla pro rodinné domy, s hlavním záměrem dosáhnout maximální ekonomické efektivity. Vzhledem k široké škále možných vstupních parametrů a předpokladů nelze výsledek považovat za

absolutně přesný, avšak spíše jako orientační. Model také zahrnuje různé zjednodušující předpoklady, které mohou negativně či pozitivně ovlivnit výsledky. Účelem nástroje není nalézt dokonalé řešení, ale spíše doporučit uživateli ekonomicky výhodnou variantu fotovoltaického a topného systému. Tuto variantu pak může zákazník poptat u instalační firmy a na základě cenové nabídky znovu ověřit její ekonomickou návratnost.

# 1 Instalace FVE na rodinných domech

---

Ačkoli se může zdát, že technologie fotovoltaických článků je průlomem nového tisíciletí, není tomu tak. Za zrod fotovoltaiky můžeme považovat objevení fotoelektrického jevu, se kterým přišel v roce 1839 Alexandre Edmond Becquerel. Úplně první fotovoltaický článek, který byl schopen výroby elektřiny byl však sestaven až v roce 1954, jednalo se o článek z monokrystalického křemíku, který se používá dodnes a jeho účinnost tehdy dosahovala téměř 6 %. Fotovoltaický článek hrál klíčovou roli o několik let později ve vesmírných programech. [1]

## 1.1 Fotovoltaické systémy

Dnešní fotovoltaické panely na bázi monokrystalického křemíku dosahují účinnosti přes 20 %. Monokrystalický křemík se získává nejčastěji tzv. Czochralského metodou, kdy je z roztavené vsádky vytažen monokrystal křemíku, který je následně rozřezán na tenké destičky, z nichž se posléze vyrábí fotovoltaické články. Fotovoltaický panel se následně získá sérioparalelním zapojením několika článků dle požadovaného napětí a proudu. Spojené fotovoltaické články jsou následně zapouzdřeny a neprodyšně uzavřeny. Existují také panely z polykrystalického křemíku či tzv. amorfní panely, ty však dosahují daleko nižší účinnosti a nejsou v dnešní době již tolik využívány. [2]

Součástí fotovoltaické elektrárny nejsou pouze solární panely, ale jedná se o spojení několika různých technologií. Pokud tedy hovoříme o FVE, nejsou tím namysli pouze solární panely, avšak celý fotovoltaický systém. Rozlišujeme 3 základní druhy fotovoltaických systémů:

### On-grid systém

Jedná se o označení fotovoltaického systému, který je přímo připojený k síti (*on-grid*). V současnosti jde o nejrozšířenější druh solárního systému, jelikož je funkčně velmi jednoduchý a nevyžaduje instalaci baterie, která je mnohdy finančně nákladná. Přebytečná vyrobená energie se nejčastěji prodává do distribuční sítě. V době energetické krize byl prodej přebytků velice výhodný, dnes už však existují alternativní možnosti, jak s přebytky naložit. [3]

### Off-grid systém

Ostrovní provoz neboli *off-grid* se vyznačuje tím, že objekt, na němž je fotovoltaická elektrárna umístěna, není připojen k distribuční síti. Celková spotřeba objektu je plně pokryta výrobou FVE, jedná se tedy o plně soběstačné řešení, které minimalizuje dopad na životní prostředí. Ostrovní systémy však vyžadují instalaci baterie, a to o takové kapacitě, aby byla baterie schopna pokrýt několikadenní výpadky v důsledku špatného počasí, což značně zvyšuje investiční náklady. Ostrovní systémy navíc většinou vyžadují instalaci záložního zdroje elektřiny například v podobě diesel generátoru, aby bylo možné pokrýt spotřebu v zimních měsících. I z tohoto důvodu se ostrovní systémy instalují především v místech, kde není snadný přístup k distribuční síti. [3]



## Hybridní systém

Kombinací on-grid a off-grid systému získáme třetí typ fotovoltaické elektrárny, a to tzv. hybridní systém. Hybridní systém slučuje výhody obou typů fotovoltaických systémů, jde o fotovoltaickou elektrárnu, která je připojena do baterie, avšak odběrné místo je zároveň připojeno do distribuční sítě. Spotřebitel si tak může sám určit, jak využije přebytečnou energii, zda jí uloží do baterie či prodá do distribuční soustavy. Tento systém také umožňuje arbitrážní řízení baterie, což znamená, že akumulujeme elektřinu v časech, kdy je levná a následně prodáváme v časech, kdy je naopak drahá, čímž zlepšujeme celkovou ekonomiku investice. Hybridní systémy jsou budoucností energetiky a již v dnešní době jsou hojně rozšířené i v České republice. [3]

### 1.1.1 Prvky fotovoltaických systémů

Jedním z problémů fotovoltaických systémů je, že solární panely produkují stejnosměrný proud. Distribuční síť a všechny běžné spotřebiče jsou však provozovány na střídavém napětí. K přeměně vyrobené stejnosměrné elektřiny na střídavou se využívá střídač. Existuje celá řada různých typů střídačů, ať už podle typu fotovoltaického systému (on-grid, off-grid, hybridní) či podle počtu fází. Jednofázové střídače se používají pouze u malých systémů, kdy je potřeba napájet jen část zapojených spotřebičů. V aplikacích pro rodinné domy jsou však nejčastěji využívány střídače třífázové, které se dále dělí na symetrické a asymetrické. Symetrické střídače umožňují pouze rovnoměrné rozdělení vyrobené energie do tří fází, což je mnohdy velice nevýhodné. Například v případě, kdy je jedna fáze přetížena a výroba FVE nedokáže tuto spotřebu pokrýt, je nutné zbylou elektrickou energii dokoupit. Ve zbylých dvou fázích však může docházet k přetokům, které je uživatel zbytečně nucen prodat do sítě. Naopak asymetrický střídač umožňuje rozdělit energii tam, kde je v danou chvíli potřeba, tato výhoda se však taky projevuje na výsledné ceně střídače, a proto mnoho lidí sáhne raději po střídači symetrickém, přestože se jeho provoz v konečném důsledku nemusí vyplatit. Účinnost střídačů musí být minimálně 95 %, aby bylo možné získat dotaci, avšak většina dnešních střídačů má účinnost ještě vyšší, okolo 98 %. [4]

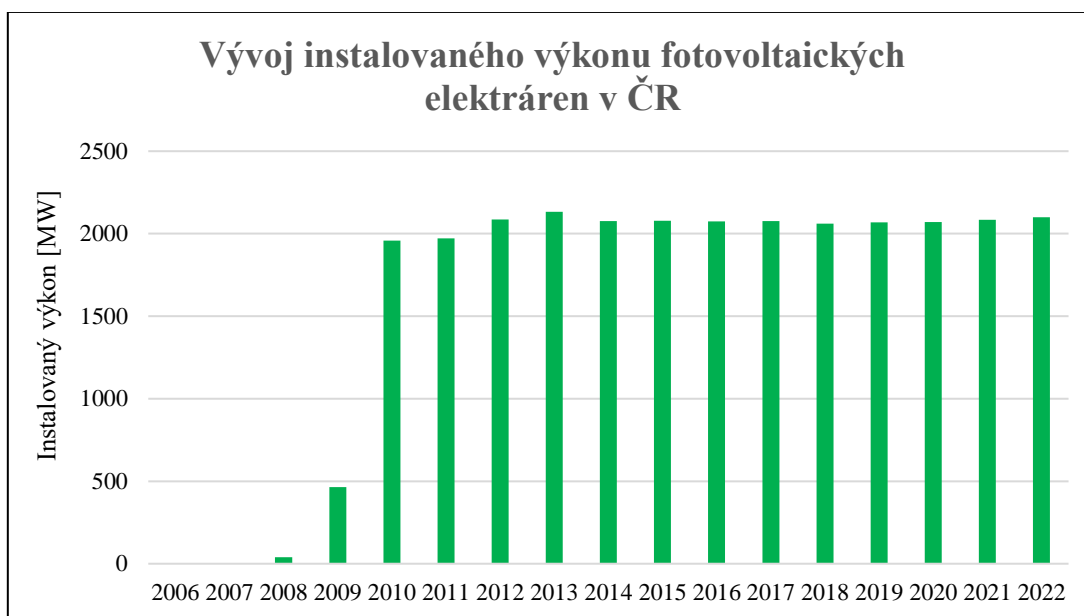
Další důležitou součástí fotovoltaických systémů jsou ochranné prvky, čímž nejsou namysli pouze jističe proti zkratu či napětíové svodiče přepětí, které systém chrání proti úderu blesku. Pro správný chod systému a k minimalizaci rizik je základem také protipožární ochrana. Není se však čeho obávat, dle statistik v České republice dochází k pouze 11-15 požárům ročně na místech, kde byla instalována fotovoltaika, navíc ne vždy byl vznik požáru způsoben vlivem solárního systému. Na druhou stranu ochranu systému není radno podceňovat, jelikož jakákoliv závada může způsobit zbytečnou finanční újmu. [5]

## 1.2 Historický vývoj výstavby FVE v ČR

K první instalaci fotovoltaické elektrárny v ČR došlo v roce 1998 v areálu jaderné elektrárny Dukovany. V roce 2005 byla v ČR spuštěna první státní podpora na výstavbu FVE, která byla založena na minimální výkupní ceně, avšak vzhledem k velice nízké výši podpory,

bylo v ČR vystavěno pouze několik pilotních projektů. K většímu rozmachu FVE v ČR došlo až v roce 2008, kdy vlivem nízkých cen fotovoltaických panelů na čínském trhu vzrostl instalovaný výkon FVE mezi roky 2008–2010 ze 40 MW na 1959 MW. V dnešní době dochází k druhé vlně výstavby obnovitelných zdrojů energie a lze očekávat další ohromný nárůst instalovaného výkonu. Řada obyvatel však přesně neví, jakým způsobem nejefektivněji využít vyrobenou energii, aby zajistili co nejlepší ekonomický výsledek. A právě k tomuto účelu by měla sloužit tato diplomová práce. [6]

Stručná historie fotovoltaických panelů byla popsána již v úvodu této kapitoly, nyní se však změníme na to, jakým způsobem se měnil vývoj výstavby FVE v ČR, a které historické události měly na tento průběh největší vliv.



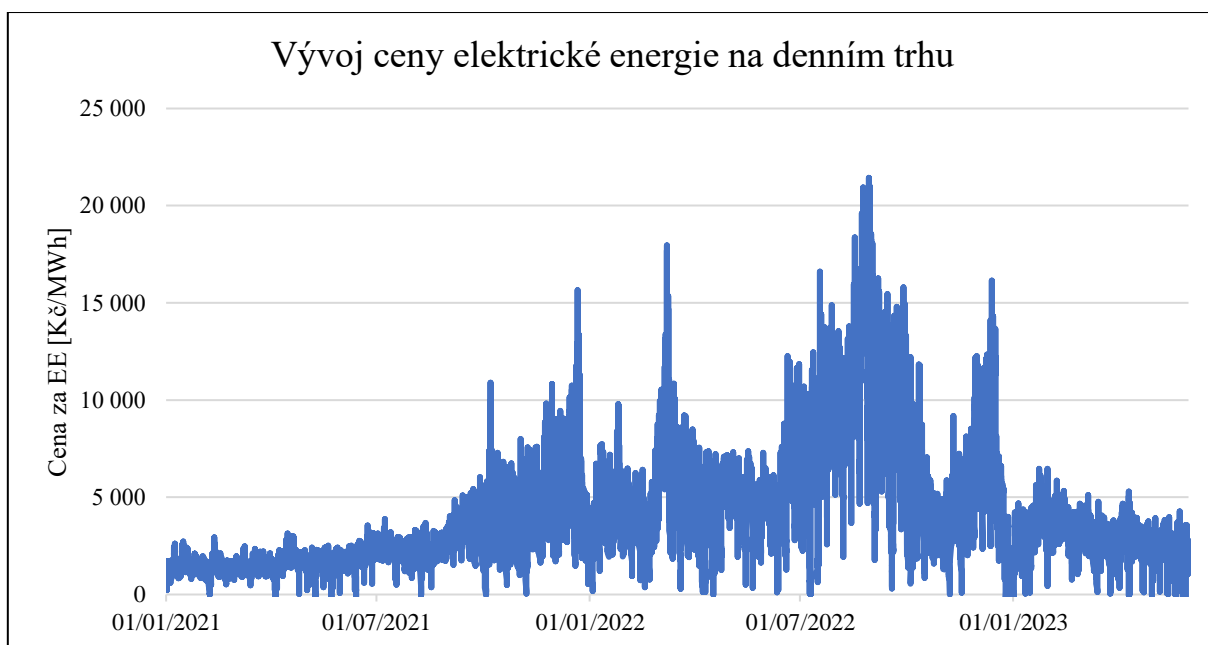
Graf 1.1 – Vývoj instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren v ČR [7]

Na grafu číslo 1.1 je patrné hned několik faktů, především si lze všimnout tzv. „prvního boomu“ obnovitelných zdrojů v ČR, kdy mezi roky 2008-2010 došlo k téměř k padesáti znásobení celkového instalovaného výkonu fotovoltaik u nás. Zároveň si však můžeme všimnout, že od roku 2012 došlo ke stagnaci a celkový instalovaný výkon za posledních 10 let zůstal prakticky stejný. Nutno dodat, že zobrazená data jsou převzata z výroční zprávy publikované Energetickým regulačním úřadem (ERÚ), v této zprávě jsou zahrnuty pouze FVE vlastněné licencovanými subjekty, tudíž zde není zahrnuta drtivá většina všech instalací na rodinných domech. Pokud bychom započítali i malé zdroje, pak by byl patrný i tzv. „druhý solární boom“, který nastal v letech 2022 a 2023, kdy na konci roku byl celkový instalovaný výkon připojených FVE 2 489 MW a v polovině roku 2023 dokonce 2 969 MW, což je drastický nárůst oproti roku 2021, kdy byl celkový instalovaný výkon FVE včetně malých zdrojů zhruba 2 184 MW. [8]

### 1.3 Současná situace

Otázkou však je, co stojí za tímto ohromným nárůstem? Faktorů je hned několik, hlavním důvodem je zpřístupnění a úprava legislativy. Od roku 2023 byl zvýšen limit výkonu pro menší zdroje, od kterého je nutné mít licenci na výrobu elektřiny, a to z 10 kW na 50 kW. Zároveň pro obnovitelné zdroje do 50 kW není nově potřeba stavební povolení, což značně ulehčilo a zrychlilo proces výstavby FVE. Dalším důvodem jsou státní dotace, konkrétně dotační titul „Nová zelená úsporám“ (NZÚ), který je spuštěn od roku 2014. Celkem již bylo podpořeno 215 000 projektů a vyplaceno bylo přes 39 miliard Kč. [9]

Dalším důvodem byl prudký nárůst ceny elektrické energie počátkem roku 2022 a vyvrcholení ceny elektřiny v půlce roku 2022, kdy se cena na krátkou chvíli vyšplhala až za hranici 21 000 Kč/MWh.



Graf 1.2 – Vývoj ceny elektrické energie na denním trhu

Vysoká cena elektřiny a nejistota vlivem nepokojů na Ukrajině zapříčila ohromný zájem českého obyvatelstva o FVE, i proto se většina nových projektů v ČR týká zejména fotovoltaik o nižším výkonu, a především instalací na rodinných domech.

V důsledku vysokého zájmu o fotovoltaiku se však vyskytuje další problém, a to co dělat s nadměrnou výrobou elektřiny. Jak všichni dobře víme, fotovoltaika, jakožto intermitentní zdroj nevyrábí elektřinu pravidelně. Výroba je přímo úměrná síle dopadajícího slunečního záření, což znamená nízkou výrobu v zimních měsících a nulovou výrobu v nočních hodinách. Naopak v letních dnech pak dochází k nadměrné výrobě, a tudíž k přebytkům elektrické energie v síti. Elektřinou se určitě nevyplatí plýtvat, a proto si nyní představíme jednotlivé možnosti, jak racionálně využít přebytečnou energii.

## 2 Využití přebytečné elektrické energie

---

Existuje několik možností, jak využít nadbytečnou elektrickou energii vyrobenou fotovoltaickým systémem, některé více a některé méně ekonomicky výhodné. V této podkapitole budou popsány hlavní výhody a nevýhody jednotlivých variant.

### 2.1 Akumulace energie do bateriového úložiště

Asi každého napadne možnost akumulace elektrické energie do baterie. Existuje však několik druhů a typů baterií, které se odlišují jak technologicky, tak i svými základními parametry. Kdysi se hojně využívaly baterie z olova, jejichž hlavní výhodou byla poměrně nízká cena. Dnes je však olovo na seznamu nebezpečných látek a jeho použití je značně omezené, navíc olovené baterie disponují velice krátkou životností a u některých typů byla nutná pravidelná údržba. V dnešní době jsou nejčastěji používané baterie lithiové, k neznámějším typům pak spadají baterie lithium-iontové a lithium-železo-fosfátové.

**Lithium-iontové baterie (Li-on)** – Jsou podstatně menší a lehčí než olovené baterie a jsou schopny vydržet až 6000 cyklů s minimální degradací, zatímco životnost olovených baterií byla pouze 600 cyklů (cyklem se rozumí jedno vybití baterie s určitou hloubkou a jedno nabití). Nevýhodou je však vysoká pořizovací cena.

**Lithium-železo-fosfátové (LiFePO<sub>4</sub>)** – Oproti bateriím typu Li-on jsou stabilnější při vysokých výkyvech teploty, avšak potřebují pomocný ochranný obvod, který baterii chrání před přehříváním. [10]

Existuje řada dalších typů baterií, ty si však pro potřeby této práce není třeba představovat. Avšak jednou z novodobých technologií, o které je třeba se zmínit, jsou virtuální baterie. Jak je již z názvu zřejmé, jde pouze o jakousi imaginární baterii, která fyzicky neexistuje. Jedná se o službu, kterou nabízí někteří dodavatelé elektrické energie, kdy obchodník od zákazníka nakoupí přebytečnou energii a tím „nabije“ jeho virtuální baterii. Ve večerních hodinách, kdy je elektřiny nedostatek, pak může zákazník stejné množství energie za výhodných podmínek odebrat. Jde tedy spíše o prodej a následný odkup elektrické energie, a proto se ekonomickou efektivitou této varianty bude zabývat až následující kapitola. [11]

Při výběru vhodné baterie pro fotovoltaický systém jsou nejdůležitější kritéria kapacita, výkon, účinnost, životnost, cena a rozměry.

#### **Kapacita**

Udává se v kWh a vyjadřuje kolik energie je možné do baterie uložit. Kapacita by neměla být ani příliš malá, aby nedocházelo k častým přetokům elektrické energie, ale ani příliš předimenzovaná, protože to by naopak znamenalo zbytečně vysoké pořizovací náklady. Důležité je se také zaměřit na ukazatele *Depth of Discharge (DoD)* neboli hloubka vybití a *State of Charge (SoC)* neboli stav nabití. Maximální doporučená hodnota *DoD* udává, na kolik procent kapacity je baterii vhodné vybíjet, aby byla zaručena maximální životnost. Naopak

maximální doporučená hodnota *SoC* udává, na kolik procent je vhodné baterii nabíjet. Platí vztah:

$$DoD = 100\% - SoC$$

2.1

Parametr *DoD*, potažmo *SoC*, nám tedy teoreticky zmenšuje jmenovitou kapacitu baterie, a proto je třeba brát na něj ohled při volbě ideální kapacity baterie. [12]

Hloubka vybití ( <i>DoD</i> )	Počet cyklů (LiPO <sub>4</sub> )
100 %	~ 600
80 %	~ 900
60 %	~ 1 500
40 %	~ 3 000
30 %	~ 9 000
10 %	~ 15 000

Tab. 2.1 – Závislost životnosti baterie na hloubce vybití [12]

## Životnost

Jak je patrné z tabulky 2.1 životnost úzce koreluje s tím, jak baterii využíváme. Důležitou roli hraje také to, v jakých podmínkách baterii provozujeme, jelikož okolní teplota má také vliv na degradaci baterie. U běžných baterií pro fotovoltaické systémy na rodinných domech se nejčastěji setkáme s hodnotou okolo 6000 cyklů, uvažíme-li, že průměrné využívání baterie je zhruba 250 cyklů/rok dostaneme výslednou životnost 24 let. V praxi je však životnost většinou mnohem nižší, a to z důvodu přirozeného stárnutí materiálu. Z tohoto důvodu bude ve výpočetním modelu uvažováno s maximální životností baterie 15 let. [13]

Baterie také nemá stálou účinnost během celé doby životnosti, a proto je nutné počítat s roční degradací maximální kapacity. Z tohoto důvodu bude ve výpočetním modelu uvažováno s degradací kapacity baterie ve výši 2 %/rok. [14]

## Účinnost

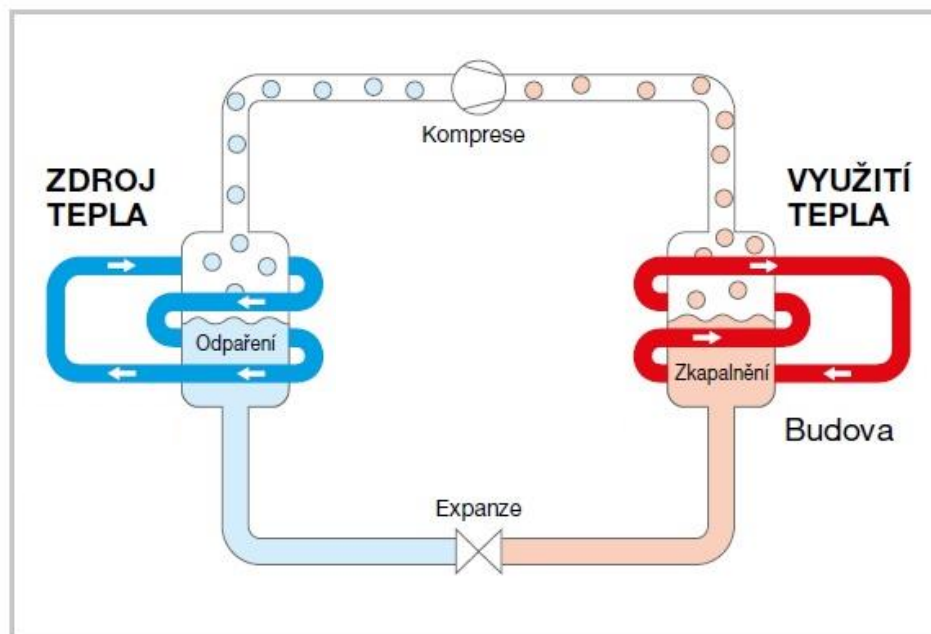
Další nespornou výhodou lithiových baterií je jejich vysoká energetická účinnost. Energetická účinnost vyjadřuje množství energie, které lze z baterie vybití ku množství energie, které bylo do baterie nutné dodat. Existují i jiné druhy a různá kritéria, podle kterých lze účinnost posuzovat. Pro potřeby této diplomové práce si však vystačíme s energetickou účinností. Energetická účinnost je závislá na rychlosti nabíjení a vybíjení, tento fakt však bude pro jednoduchost zanedbán. Ve výpočetním modelu bude z těchto důvodů uvažováno se 98 % účinností baterie. [15]

## 2.2 Akumulace energie do tepla

Druhou možností, jak naložit s přebytečnou energií je ukládání do tepla. Vyrobené teplo lze pak využít k přípravě teplé vody nebo vytápění. V současné době existují dvě základní technologie, které zajišťují přeměnu elektrické energie na teplo, a to tepelná čerpadla a elektrokotle.

### 2.2.1 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla se stala trendem poslední doby a není se čemu divit. Vzhledem k jejich velice vysoké účinnosti se v kombinaci s fotovoltaickou elektrárnou stávají jedním z ekonomicky nejefektivnějších zdrojů tepla. Princip tepelného čerpadla je založen na základních zákonech termodynamiky. Chladivo odebírá teplo z okolního prostředí, kterým může být vzduch, země nebo třeba voda, v závislosti na typu tepelného čerpadla. K této fázi dochází v tzv. výparníku, kde se chladivo při nízkém tlaku a teplotě mění na plynné skupenství. V další fázi dojde ke stlačení chladiva v kompresoru, čímž dojde k dramatickému zvýšení teploty. Vygenerované teplo posléze předá chladivo teplotně náročné látce, čímž dojde k jejímu opětovnému zkapalnění a zchladnutí. Chladivo je následně skrze expanzní ventil přivedeno na původní tlak ve výparníku a celý cyklus se opakuje. [16]



Obr. 2.1 – Princip tepelného čerpadla [16]

Existuje několik způsobů a kritérií, podle kterých tepelná čerpadla rozlišujeme, tím nejzákladnějším je rozdělení dle nízkopotencionálního zdroje tepla a druhu teplotně náročné látky, v názvu jsou pak odděleny pomlčkou. Rozlišujeme 3 základní nízkopotencionální zdroje, a to země, vzduch a voda, jako teplotně náročná látka pak může být využita buď voda nebo vzduch. Tepelná čerpadla pro ohřev vzduchu však nebudou v této práci dále uvažována.

## 1) Tepelné čerpadlo Země – Voda

Rozlišujeme dva druhy čerpadel země – voda:

- a) **Plošné** – Tepelné kolektory jsou umístěny relativně nízko pod povrchem země, ale zabírají poměrně značnou plochu. Z tohoto důvodu jsou vhodné pouze pro rodinné domy s dostatečně velkou plochou zahrady pro umístění kolektorů. Na druhou stranu mají srovnatelné náklady s tepelnými čerpadly vzduch – voda a až o 30 % vyšší účinnost a také výrazně nižší hlučnost.
- b) **Vrty** – Tepelný kolektor je umístěn do vrtu o hloubce 80 až 250 m dle geologických podmínek a potřebě tepla. V případě potřeby je provedeno i více vrtů s podobnou hloubkou. Na rozdíl od jiných druhů tepelných čerpadel mají stabilní výkon a topný faktor i při velice nízkých venkovních teplotách, stejně tak nabízejí výrazně lepší účinnost, než čerpadla vzduch – voda a jsou nehlukné a nevyžadují prakticky žádnou údržbu. Jejich nespornou nevýhodou jsou vysoké investiční náklady.

## 2) Tepelné čerpadlo Voda – Voda

- a) **Studny (podpovrchová voda)** – Čerpadlo odebírá teplo ze spodních vod či geotermálních pramenů. Tento typ čerpadel dosahuje nejvyšších účinností ze všech a zároveň jsou výrazně levnější než vrty. Navíc jsou vhodná pro průmysl, jelikož umožňují zpětné využití odpadního tepla. Jejich instalace je však možná pouze v lokalitách, kde je dostatečné množství podzemních vod, navíc vyžadují častou údržbu a kontrolu filtrů. Další nevýhodou je také jejich krátká životnost v porovnání s ostatními druhy tepelných čerpadel
- b) **Vodní plochy (povrchová voda)** – Druhou možností čerpadel voda – voda je odebírání tepla z povrchových vod. Kolektory jsou nejčastěji umístěny na dno řeky či jiných vodních ploch. Výhodou jsou nízké pořizovací náklady a dlouhá životnost. Jejich instalace je však omezená, neboť vyžadují, aby se objekt nacházel v blízkosti vodní plochy. Zároveň je nutné získat souhlas správce dané vodní plochy, aby zde mohly být kolektory umístěny.

## 3) Tepelné čerpadlo Vzduch – Voda

Tento typ tepelného čerpadla odebírá teplo z venkovního vzduchu a předává jej topné vodě, vyrobené teplo lze tak využít na ohřev teplé vody, vytápění či kombinaci obou. Tepelná čerpadla vzduch – voda jsou nejčastěji instalována pro rodinné domy, které mají k dispozici pouze malý pozemek anebo mají nevhodné geologické podmínky pro umístění čerpadla země – voda. Výhodou tohoto typu čerpadel jsou nižší investiční náklady a jednoduchá instalace. Naopak nevýhodou je nižší účinnost, hluk či nestabilita v zimních měsících. [17]

Jak již bylo zmíněno, některé druhy tepelných čerpadel jsou více či méně závislé na okolní teplotě. Pro lepší porovnání je třeba definovat několik základních parametrů tepelných čerpadel.

## Topný výkon

Topný výkon je jedním z nejdůležitějších parametrů při volbě tepelného čerpadla. Topný výkon udává, kolik tepla je schopno čerpadlo produkovat, tento parametr je však vysoce závislý na teplotě nízkopotencionálního zdroje a teplotě teplotonosné látky. Z tohoto důvodu musí být topný výkon vždy vztažen k určitým pracovním teplotám. Pro čerpadla vzduch – voda se topný výkon udává nejčastěji pro stav A2/W35, což v praxi znamená, že stanovený topný výkon je platný pro teplotu vzduchu 2 °C a teplotu topné vody 35 °C. Pro tepelná čerpadla země – voda se nejčastěji uvádí stav B0/W35 a pro tepelná čerpadla voda – voda stav W10/W35.

Pro výpočet výroby tepla tepelným čerpadlem je však tento údaj nedostačující, jelikož se teplota zdroje a teplotonosné látky v čase pravidelně mění. Z tohoto důvodu výrobci v datasheetech uvádí charakteristiku topného výkonu, ze které lze vyčíst výkon pro všechny možné teplotní stavy, které mohou nastat. V praxi se pak pro výpočet topného výkonu používá lineární aproximace, ale této problematice se bude věnovat kapitola 6.3.

## Topný faktor

Topný faktor neboli *COP* (*Coefficient of Performance*) je parametr, který vyjadřuje energetickou efektivitu tepelného čerpadla. V českých končinách se často nepřesně označuje za účinnost, ve skutečnosti se však jedná o poměr vyrobeného tepla ku spotřebované elektřině. Platí, že čím vyšší hodnota *COP*, tím efektivnější je dané čerpadlo. Hodnota ukazatele *COP* je však velice závislá na okolních podmínkách stejně jako topný výkon. Z tohoto důvodu musí být k hodnotě *COP* vždy uvedeno, k jakým okolním podmínkám je vztažena. Výrobce by měl opět vždy uvádět i charakteristiku topného faktoru, aby bylo možné vyčíst všechny možné pracovní stavy, případně je dopočítat pomocí lineární aproximace. Účinnost tepelného čerpadla po dobu životnosti vlivem degradace mírně klesá, tento jev bude ve výpočetním modelu zohledněn, a to konkrétně poklesem topného faktoru ve výši 1 %/rok. [18] [19]

## Sezonní topný faktor

Vzhledem k tomu, že topný faktor je vysoce závislý na teplotě zdroje, je zřejmé, že se bude rapidně měnit i v průběhu roku v souladu s teplotou okolí. Tento jev bude zejména významný u čerpadel vzduch – voda, které odebírají teplo přímo z okolního vzduchu. Z tohoto důvodu se pro zjednodušené výpočty udává tzv. sezonní topný faktor neboli *SCOP* (*Seasonal coefficient of performance*). Ukazatel *SCOP* udává průměrnou hodnotu topného faktoru za určité časové období (zpravidla rok), přičemž zohledňuje klimatické a okolní podmínky. Sezonní topný faktor se zavádí hlavně z důvodů zjednodušení a zároveň pro snazší porovnání jednotlivých typů tepelných čerpadel. Například lze očekávat, že *SCOP* tepelných čerpadel vzduch – voda bude zpravidla nižší než u čerpadel země – voda, nejvyšší *SCOP* lze naopak očekávat u čerpadel voda – voda. [19]

Jak již bylo několikrát zmíněno, produkce tepelných čerpadel je úzce spjata s okolními podmínkami, zejména s okolní teplotou. Čím nižší je teplota zdroje, tím nižší je i produkce tepelného čerpadla, což znamená, že nejhorší účinnost lze očekávat právě v zimních měsících, kdy je spotřeba tepla naopak nejvyšší. Z toho vyplývá otázka, jak správně navrhnout velikost tepelného čerpadla a co dělat v případě, kdy tepelné čerpadlo již nestačí pokrývat spotřebu tepla?



Rozlišujeme dva základní druhy provozu tepelného čerpadla **monovalentní** a **bivalentní**. Při monovalentním provozu je tepelné čerpadlo zapojeno do otopné soustavy samostatně, tj. bez záložního zdroje. V tomto případě je důležité navrhnout výkon tepelné ho čerpadla tak, aby pokryl celoroční spotřebu tepla ze 100 %, včetně dostatečné rezervy pro extrémní stavy. Nejvyšší topný výkon bude proto potřeba zejména v zimě, kdy je spotřeba nevyšší a topný faktor nejnižší, z čehož vyplývá, že pro letní měsíce bude čerpadlo zbytečně předimenzované. Z tohoto důvodu je monovalentní provoz většinou ekonomicky nevýhodný. Daleko častěji se pro domovní aplikace uvažuje tzv. bivalentní provoz tepelného čerpadla. Jedná se o zapojení tepelného čerpadla do otopné soustavy společně s náhradním zdrojem, což může být například elektrokotel, plynový kotel či jiný zdroj na tuhá paliva. Nejčastěji se zachovává původní zdroj vytápění, v případě novostaveb se nejčastěji využívá elektrokotel. V praxi se pak výkon tepelného čerpadla dimenzuje tak, aby čerpadlo bylo schopno pokrýt spotřebu do venkovní teploty  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (pro čerpadla vzduch – voda). Při nižších teplotách pokrývá zbylou spotřebu tepla náhradní zdroj. [20]

## 2.2.2 Elektrokotel

Druhou možností, jak akumulovat přebytečnou elektrickou energii do tepla je pomocí elektrokotle. Elektrokotel je principiálně velice jednoduché zařízení, které dokáže velice efektivně přeměnit elektřinu na teplou vodu. Funkce elektrokotle je založena na Joulových ztrátách, které přirozeně vznikají v elektrickém obvodu. Pomocí elektřiny jsou rozežráty topné tyče, které jsou umístěny uvnitř kotle, ty následně ohřívají topnou vodu, která je čerpadly hnána do radiátorů či podlahových topení. Hlavní výhodou elektrokotle jsou nízké investiční a provozní náklady, šetrnost vůči životnímu prostředí a jednoduchá instalace. Rozlišujeme dva základní druhy elektrokotlů:

### Přímotopné

Tento typ elektrokotle není vybaven akumulací nádrží na vodu, což má řadu výhod, ale i nevýhod. Největší výhodou přímotopných elektrokotlů je jejich velikost, vzhledem k tomu, že nemají nádrž na vodu, mohou být nainstalovány prakticky kdekoliv. Zároveň dokážou velice rychle reagovat na požadovanou změnu teploty, jsou skoro bezúdržbové a nehlukné. Jejich nespornou nevýhodou je však podstatně vyšší spotřeba. [21]

### Akumulační

Asi není překvapením, že akumulací elektrokotle jsou naopak vybaveny akumulací nádrží na teplou vodu, která má minimální teplotní ztráty a dokáže tak efektivně udržovat požadovanou teplotu vody. Akumulační elektrokotle také umožňují krátkodobý odběr teplé vody i v případě výpadku proudu, a navíc mají nižší spotřebu elektrické energie. Na druhou stranu daleko pomaleji reagují na změnu výkonu, čímž dochází k zbytečnému plýtvání vody, například při sprchování. [21]

Další výhodou elektrokotlů je jejich vysoká účinnost, která běžně dosahuje až 99 %. Navíc díky instalaci elektrokotle často vzniká nárok na dvoutarifní sazbu elektrické energie, což praxi znamená, že můžeme nastavit kotel tak, aby vyráběl teplo v nočních hodinách, kdy je

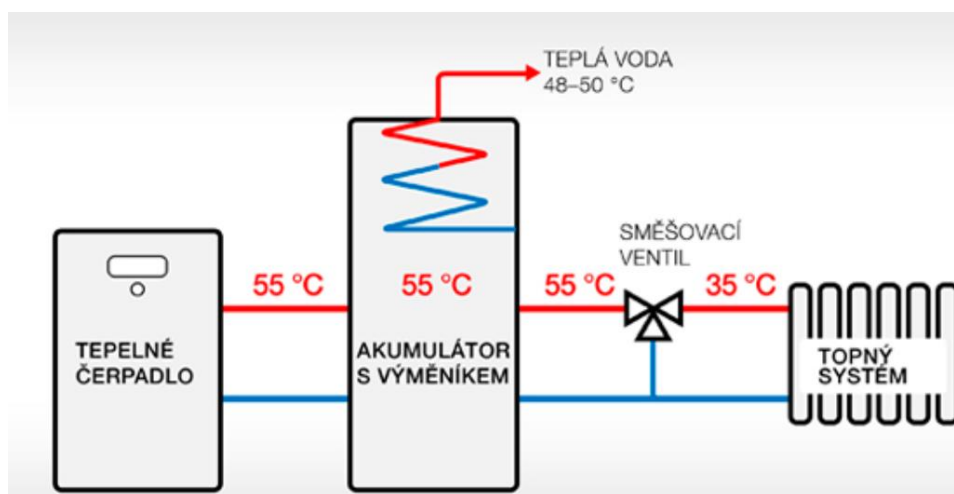
aktivní nízký tarif. Toto úsporné opatření však lze zavést pouze s akumulčním elektrokotlem. [21]

Dnes jsou elektrokotle nejčastěji instalovány do malých bytů nebo do objektů, které nejsou celoročně obydlené, elektrokotel totiž umožňuje efektivně a levně objekt temperovat, tak aby nedošlo k jeho zamrznutí. Elektrokotle se také často využívají v pasivních domech či jako bivalentní zdroj tepla k tepelným čerpadlům nebo kotlům na tuhá paliva. Při instalaci nesmíme zapomínat, že elektrokotle často vyžadují třífázovou přípojku, což může znamenat nutnost navýšení kapacity jističe. To se následně projeví ve faktuře za elektřinu ve složce platba za jistič. S tímto faktorem je proto nutné počítat při kalkulaci ekonomické návratnosti.

### 2.2.3 Druhy zapojení topných systémů

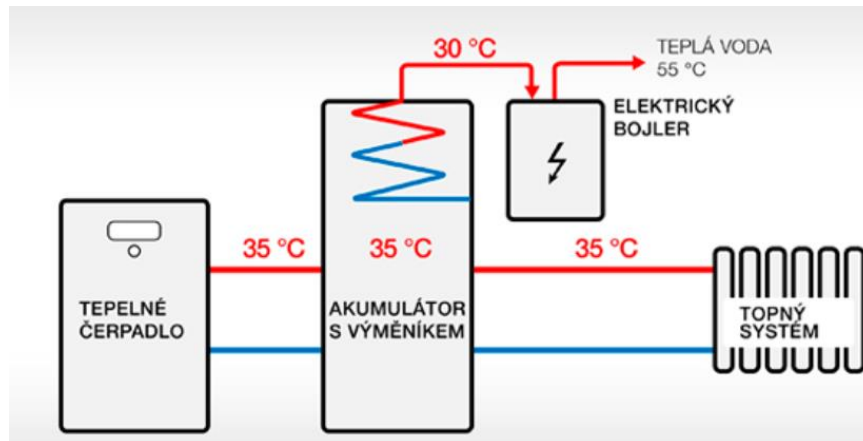
Ke správnému návrhu topného systému je třeba nejprve určit, k jakému účelu má sloužit, zda je zdroj určen čistě pro vytápění nebo čistě pro ohřev teplé vody či ke kombinaci. Dále si je nutné ujasnit, zda je vytápěno pomocí radiátorů či podlahového topení. Problematikou této závěrečné práce budou výsadně topné systémy s tepelnými čerpadly a případným bivalentním zdrojem tepla. Zároveň budou v rámci vyhodnocení zkoumány všechny tři účely využití tepelného čerpadla, tím myšleno vytápění, ohřev TV a kombinace. Topné systémy sloužící k jednomu účelu jsou principiálně velmi jednoduché, a z tohoto důvodu nebudou v této kapitole více zkoumány. Podstatně složitější jsou topné systémy, které kombinují vytápění a ohřev TV. Existuje řada způsobů, jak kombinované topné systémy zapojit, ne všechny však přináší stejný ekonomický účinek.

První možností je využití jedné multivalentní akumulční nádrže na teplou vodu, ze které se odebírá teplo pro vytápění i pro TV, k regulaci teploty pro vytápění slouží směšovací ventil. Tento typ zapojení však není příliš ekonomicky efektivní, neboť dochází ke zbytečnému přetápění topné vody pro vytápění, která je následně ochlazena pomocí směšovacího ventilu, zároveň vlivem vysoké teploty topné vody klesá topný faktor tepelného čerpadla, což značně zhoršuje jeho efektivitu. Příklad tohoto zapojení je demonstrován na obrázku 2.2. [22]



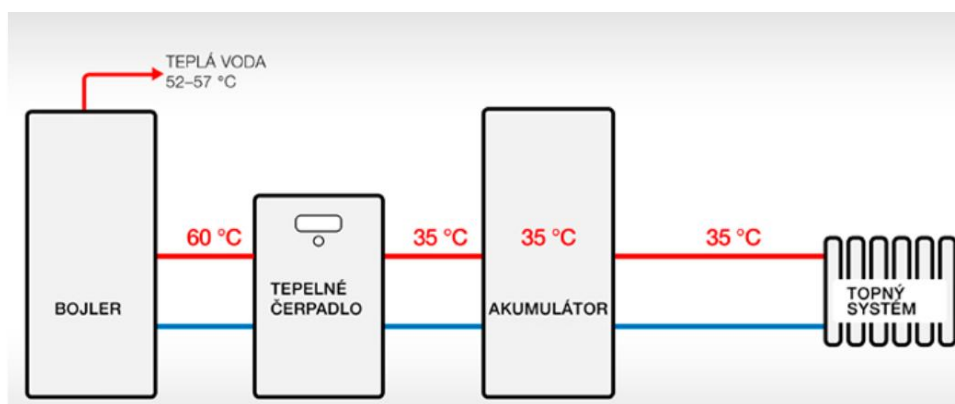
Obr. 2.2 – Schéma zapojení tepelného čerpadla s jednou akumulční nádrží [22]

Druhou možností je opět využití jedné multifunkční akumulční nádrže, avšak ohřívát topnou vodu na nižší teplotu potřebnou pro vytápění. Teplá voda se následně dohřeje bivalentním zdrojem tepla například elektrokotlem. Toto řešení je z ekonomického pohledu daleko přívětivější, avšak se také nejedná o úplně nejefektivnější variantu. Často totiž bude docházet k situaci, kdy tepelné čerpadlo nepojede na plný tepelný výkon, tudíž nebude využít jeho maximální potenciál a bude docházet k zbytečnému dohřívání teplé vody náhradním zdrojem tepla. [22]



Obr. 2.3 – Schéma zapojení tepelného čerpadla s jednou akumulční nádrží o nižší teplotě [22]

Z ekonomického pohledu je nejefektivnější rozdělení akumulční nádrže na dvě menší, kdy jedna je explicitně určena pro vytápění a druhá pro ohřev TV. Většina tepelných čerpadel umožňuje na regulátoru nastavit prioritu vytápění nebo ohřev TV, přičemž větší smysl dává upřednostnit ohřev TV, a to nejen z komfortního hlediska. Tepelné čerpadlo tak pracuje v tzv. střídavém režimu, kdy dle nastavení priority ohřívá vodu prve v jedné nádrži a po dosažení požadované teploty začne ohřívát vodu v druhé nádrži. V případě, že tepelné čerpadlo nedokáže vodu z jedné nádrže vyhřát na požadovanou teplotu, doplní jej bivalentní zdroj tepla. V tomto režimu využívá tepelné čerpadlo svůj maximální potenciál, a to nejen výkonový, ale i z pohledu topného faktoru. Z tohoto důvodu, bude ve výpočetním modelu uvažováno právě s tímto typem zapojení. [22]



Obr. 2.4 – Schéma zapojení tepelného čerpadla s dvěma akumulčními nádržemi [22]

## 2.3 Prodej energie do sítě

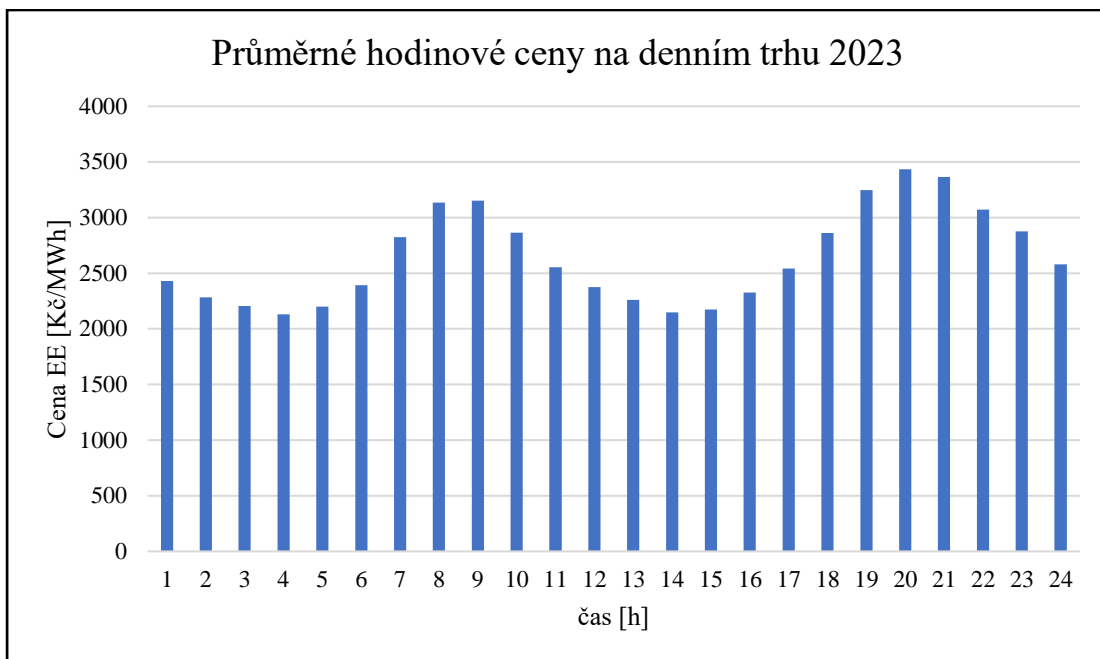
Jednou z dalších možností, jak využít přebytečnou energii z FVE je prodej do sítě. Prodej přebytků do sítě by měl být z hlediska priority vždy až na posledním místě, neboť se prakticky vždy více vyplatí akumulovat energii do baterie či do tepla. Výjimkou je tzv. arbitrážní provoz baterie, kdy se naopak snažíme maximalizovat zisk prodejem elektrické energie na spotovém trhu. Pro odprodej přebytků si je nutné u distributora vyřídít výrobní číslo EAN, každé odběrné místo má navíc vždy i spotřební číslo EAN, což znamená, že lze prodávat elektřinu jiné společnosti, než od které je elektřina nakoupena. Dnes jsou z pohledu zákazníka nabízeny 3 různé možnosti, jak prodávat přetoky do sítě. [23]

### Prodej přebytků za fixní cenu

První možností je fixace prodejní ceny elektrické energie u obchodníka. V prvním kroku je třeba vybrat, komu bude energie prodávána. Momentálně je na trhu několik výkupců a každý z nich má trochu jiné podmínky. Jako výrobce obnovitelné energie máte právo na uzavření smlouvy s tzv. povinně vykupujícím, což je vždy dodavatel dle distributora ve vašem regionu (ČEZ, EG.D, PRE). Při uzavření smlouvy se vždy předem domlouvá fixní cena za každou prodanou kWh. Výhodou tohoto řešení je jednoduchost a jistota příjmu. V dnešní době se výkupní ceny pohybují okolo 2000–3000 Kč/MWh, dají se však sehnat i daleko lepší nabídky, cena totiž vždy záleží na vzájemné dohodě. Ve výpočetním modelu bude v rámci zjednodušení uvažováno právě s fixní cenou prodeje přebytků, a to ve výši 2 000 Kč/MWh. [23]

### Prodej přebytků na spotovém trhu

Druhou variantou je cenu nefixovat, nýbrž prodávat přebytky dle aktuální ceny na denním trhu. Tato varianta má řadu výhod, ale i nevýhod. Nevýhodou je nejistota zisku, FVE vyrábí elektřinu hlavně v poledních a odpoledních hodinách, stejně jako všechny ostatní FVE v síti. Z čehož vyplývá, že přebytků bude v síti nejvíce právě v tyto hodiny. Již dnes je tento efekt patrný z grafu hodinových spotových cen v průběhu dne, v časech nejvyššího výkonu fotovoltaik je spotová cena daleko nižší než například v ranních či večerních hodinách. Typický denní diagram spotových cen má tzv. „velbloudí tvar“, do budoucna se dá očekávat, že propad cen v poledních hodinách bude ještě vyšší a je možnost, že ceny budou dokonce záporné. Další nevýhodou je, že prodej EE tímto způsobem bývá často podmíněn nákupem určitého množství energie. Ne vše je však tak černé, jak se může zdát, i přes značný pokles cen dopoledních hodinách je průměrný roční výnos z prodeje přebytků na spotovém trhu často vyšší, než při fixních cenách. Navíc tento způsob umožňuje spekulativně akumulovat levnou energii, ať už do baterie, vodíku či úplně jiným způsobem. [23]



Graf 2.1 – Průměrné hodinové ceny na denním trhu v roce 2023 [24]

### Virtuální baterie

Princip virtuální baterie byl popsán již v kapitole 2.1, tato služba je určena pro provozovatele menších FVE do 10 kWp, tudíž je ideální pro rodinné domy. Za virtuální baterii se platí nejčastěji paušálně, a to buď měsíčně, či za každou „uloženou“ MWh. Obecně platí, že služba virtuální baterie se vyplatí pouze při vysokém přetoku energie alespoň nad 1 MWh/rok. Při výpočtu rentability je nutné nezapomenout na distribuční poplatky, které jsou při odběru z virtuální baterie placeny v plné výši. Celkově lze říct, že se jedná o zajímavou službu, která se za určitých podmínek může vyplatit, v rámci výpočetního modelu však tato služba nebude uvažována. [25]

# 3 Dotace

---

Fotovoltaické elektrárny a další technologie se staly klíčovým hráčem v transformaci energetického sektoru směrem k udržitelnějšímu a čistějšímu provozu. Dotace pro FVE hrají zásadní roli v podněcování růstu tohoto odvětví, poskytující finanční stimuly pro investice do solárních technologií a podporu širší integrace obnovitelných zdrojů energie do distribučních sítí. Tyto dotace jsou klíčovým nástrojem pro dosažení cílů v oblasti udržitelnosti a snižování emisí skleníkových plynů. Přidělování dotací pro FVE často reflektuje snahu vlád a energetických orgánů podporovat výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů, což zahrnuje instalaci solárních panelů ve veřejných budovách, průmyslových komplexech a domácnostech. Tato finanční podpora může zahrnovat subvence na pořizovací náklady, daňové úlevy či jiné formy stimulací, které usnadňují vstup nových hráčů na trh a zároveň zvyšují energetickou nezávislost a odolnost energetických sítí. Účelem této diplomové práce však není vytvoření podrobné studie a přesné odhadnutí celkové výše možné dotace. Z tohoto důvodu budou v rámci této diplomové práce zkoumány pouze nejběžnější a nerozšířenější dotační tituly v ČR.

## 3.1 Nová zelená úsporám

Jedním z nejefektivnějších dotačních titulů dostupných v České republice je program Ministerstva životního prostředí administrovaný Státním fondem životního prostředí ČR *Nová zelená úsporám*, který je zaměřený na úspory energie v budovách určených pro trvalé bydlení. Program podporuje nejen obnovitelné zdroje energie, ale také snižování energetické náročnosti budov ve formě zateplení, dále podporuje pasivní novostavby, šetrné způsoby vytápění a adaptační a mitigační opatření v reakci na změnu klimatu. Hlavním cílem programu je zlepšit současný stav životního prostředí, a to převážně pomocí snížení emisí skleníkových plynů a další znečišťujících látek. Dílčím cílem programu je naplnění závazku České republiky vůči EU v podobě snížení emisí skleníkových plynů o 55 % do roku 2030 v porovnání s rokem 1990 a přiblížit se tak současnému plánu EU v podobě dosažení uhlíkové neutrality do roku 2050. Podpora energetického sektoru je navíc potřebná z důvodu očekávaného nárůstu spotřeby elektrické energie a přechodu výroby energie z fosilních paliv na bezemisní výrobu elektřiny. [26]

### Přehled podporovaných odvětví

- Zateplení rodinných a bytových domů
- Stavba rodinných a bytových domů v pasivním standardu
- Nákup rodinných a bytových domů s nízkou energetickou náročností
- Solární termické a fotovoltaické systémy
- Výměna neekologických zdrojů tepla za TČ či zdroje na biomasu
- Akumulační nádrže na dešťovou vodu
- Zelené střechy
- Využívání tepla z odpadní vody

- Systémy řízeného větrání se zpětným ziskem tepla
- Dobíjecí stanice pro osobní automobily
- Výsadba stromů

Program NZÚ je částečně financován z výnosů prodeje emisních povolenek EUA (*European Union Allowance*), od roku 2021 se stal hlavním zdrojem prostředků unijní Nástroj pro oživení a odolnost RRF (*Recovery and Resilience Facility*) prostřednictvím Národního plánu obnovy a rovněž Modernizační fond zřízený Evropskou komisí.

Z důvodu současné energetické krize byl Ministerstvem životního prostředí v lednu 2023 spuštěn nový podprogram s názvem *Nová zelená úsporám light*. Tento program cílí především na seniory a domácnosti s nižšími příjmy. Program podporuje snadno realizovatelné zateplení a instalaci solárního ohřevu vody. Peníze jsou vždy vypláceny předem a projekty jsou podporovány až do výše 100 % realizačních výdajů (maximálně však 150. tis Kč pro zateplení a 90 tis. Kč na solární ohřev vody). Pro účely této diplomové práce budou důležité zejména fotovoltaické systémy, příprava teplé vody a výměna neekologických zdrojů tepla pro rodinné domy, z tohoto důvodu budou detailnější podmínky dotačního programu zkoumány pouze pro tyto tři odvětví. V neposlední řadě je ještě potřeba zmínit program s názvem *Oprav dům po babičce*, který se rovněž vztahuje na podporu fotovoltaických systémů či tepelných čerpadel. Avšak v programu lze čerpat dotaci na výměnu zdrojů tepla či fotovoltaické systémy pouze v kombinaci se zateplením, a tudíž tento program nebude v rámci této diplomové práce dále rozebírán. [26]

### 3.1.1 Fotovoltaické systémy

Program NZÚ podporuje pořízení a instalaci nového fotovoltaického systému propojeného s vnitřními rozvody elektrické energie a distribuční soustavou. Fotovoltaický systém musí být určen pro výrobu elektrické energie s přednostním využitím vyrobené energie v obytných částech budovy, přípouští se pouze dodávka nevyužité energie do sítě nebo její využití pro energetickou komunitu, do které je odběrné místo zapojeno. Podpora se ve výjimečných případech může vztahovat i pro rodinné domy, které nejsou připojeny k distribuční soustavě, a to v případě ostrovního režimu provozu nebo když z technických důvodů bylo připojení distributorem zamítnuto. Každý podporovaný projekt musí navíc splňovat zásady 3E (tj. hospodárnost, účelnost a efektivnost). Každý žadatel si může jednoduše ověřit, zda tyto zásady splňuje, a to pomocí výpočetního nástroje, který je dostupný na webových stránkách programu. Důležitým bodem je také, že rezervovaný výkon sjednaný ve smlouvě musí být omezen na maximálně 50 % instalovaného výkonu FVE, což částečně omezí prodej přebytků do sítě. [27]

Maximální výše podpory je 160 000 Kč, případně 50 % způsobilých výdajů a stanoví se jako součet všech jednotkových výší podpory za jednotlivé části systému, které budou instalovány. Jednotkové výše podpory jsou uvedeny v tabulce 3.1. Minimální podporovaný instalovaný výkon je 2 kWp.

Instalované části systému FVE	Výše podpory [Kč]
Základní podpora	35 000
Základní podpora pro systémy s efektivním využitím tepelného čerpadla	60 000
Za 1 kWp instalovaného výkonu nad 2 kWp	8 000
Za 1 kWp el. Akumulačního systému s akumulátory na bázi lithia	8 000

**Tab. 3.1** – Jednotkové výše podpory dotačního programu NZÚ pro fotovoltaické systémy v podoblasti C.3 [27]

### Podmínky udělení dotace

- a) Maximální podporovaný instalovaný výkon je 10 kWp, v případě bifaciálních panelů se počítá výkon při osvětlení z čelní strany.
- b) Podporu mohou čerpat pouze nové projekty, nepočítají se ani rekonstrukce či rozšíření
- c) Fotovoltaický systém musí být vybaven střídačem o účinnosti alespoň 95 %.
- d) Podporovaný fotovoltaický systém musí být vybaven sledovačem bodu maximálního výkonu (MPPT) nebo musí být doložena minimální účinnost střídače 98 %.
- e) Navržené měniče v systému musí splňovat požadavky na paralelně připojené výrobní s distribučními sítěmi dle normy EN 50549-1:2019.
- f) Minimální účinnost panelů vztahena k celkové ploše při standardizovaných podmínkách STC ( $G = 1000 \text{ W/m}^2$ ,  $T = 25 \text{ °C}$ ) musí být:
  - 1) Alespoň 18 % pro panely z monokrystalických a polykrystalických článků
  - 2) Alespoň 12 % pro panely z tenkovrstvých amorfních článků
  - 3) Bez požadavků pro jiné než plošné kolektory (např. trubicové)
- g) K účelům srovnání s podmínkami programu se zohledňuje nominální kapacita baterií, kterou uvádí výrobce (bez zohlednění snížení vlivem vybíjecích cyklů). Tato kapacita je stanovena při vybíjení konstantním proudem po dobu 10 hodin nebo kratší.
- h) Pokud fotovoltaický systém využívá bateriového úložiště, pak je minimální podporovaná kapacita v kWh rovna jednonásobku podporovaného instalovaného výkonu FVE a maximální podporovaná kapacita rovna dvojnásobku podporovaného instalovaného výkonu FVE. Bateriové úložiště na bázi olova, Ni-MH či Ni-Fe nejsou podporovány.
- i) Fotovoltaický systém musí být umístěn přímo na rodinném domě či na jiné stavbě sloužící jako doplňková funkce k rodinnému domu. Fotovoltaický systém může být umístěn také na speciální konstrukci, která však musí být přizpůsobena tak, aby nezamezovala růstu okolní vegetace.
- j) Pro získání podpory pro fotovoltaický systém s využitím tepelného čerpadla musí být splněny tyto dílčí podmínky:
  - 1) Tepelné čerpadlo musí být využito jako primární zdroj tepla pro vyhřívání a přípravu teplé vody a zároveň musí umožňovat řízení výkonu.
  - 2) V systému musí být nainstalována akumulací nádrž na vodu o minimálním objemu 400 l pro ohřev teplé vody nebo kombinaci.
  - 3) Systém musí být vybaven regulačním systémem, který řídí a sleduje aktuální výkon FVE a spotřebu elektřiny, a to tak, že pokud dochází v odběrném místě



k přebytku energie dostatečné pro spuštění tepelného čerpadla, pak tato energie musí být využita pro ohřev vody v akumulární nádrži.

- 4) Podporu nelze uplatnit v případě, když již byla nebo je poskytována podpora na výměnu zdroje za jiný typ než tepelné čerpadlo nebo TC+FV (tj. podoblast C.1). [27]

### 3.1.2 Výměna zdrojů tepla

Podpora je určena pro pořízení a instalaci nového hlavního zdroje tepla na vytápění ve stávajícím rodinném domě a jeho zapojení do otopné soustavy výměnou za stávající hlavní zdroj tepla v následujících případech výměny:

- Pokud byl vyměněn kotel na pevná paliva či topné oleje, nižší než 3. třídy dle ČSN EN 303-5
- Pokud bylo vyměněno elektrické vytápění za systém s tepelným čerpadlem
- Pokud byl vyměněn plynový kotel starý minimálně 20 let za systém s tepelným čerpadlem, přičemž obálka budovy musí splňovat požadavky pro klasifikační třídu průměrného součinitele přestupu tepla v rozmezí A až D dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov.

Podporu nelze získat v případě, kdy již v minulosti byla čerpána dotace v oblasti podpory B programu NZÚ nebo v případě kdy byl zdroj na vytápění již podpořen z programu NZÚ, ze společných programů na podporu výměny kotlů nebo z kotlíkových dotací v rámci OPŽP 2014-2020 či 2021-2027. Podporu také nelze získat v případě, kdy je stavba napojena na soustavu zásobování tepelnou energií. Pro rozsah této diplomové práce budou důležité výše podpor především pro tepelná čerpadla, ostatní zdroje vytápění dále nebudeme uvažovat. [27]

Označení pro podoblast C1	Podporovaná opatření	Jednotková výše podpory [Kč]	
		Pouze UT	UT + ohřev vody
TCV/TCV +	Tepelné čerpadlo vzduch-voda	80 000	100 000
TC + FV	Tepelné čerpadlo vzduch voda pro vytápění a ohřev vody s podporou FV	125 000	
TCK/TCK +	Tepelné čerpadlo země-voda	120 000	140 000

Tab. 3.2 – Přehled jednotkových výší podpory pro tepelná čerpadla v podoblasti C.1 [27]

#### Podmínky udělení dotace pro tepelná čerpadla

- Tepelná čerpadla vzduch-voda, země-voda a voda-voda musí splňovat minimální třídu energetické účinnosti A++ pro nízkoteplotní nebo středněteplotní aplikace vytápění dle vyhlášky č. 811/2013, zároveň musí splňovat všechny předpisy dle vyhlášky č. 813/2013.
- Podporovány jsou pouze tepelná čerpadla s elektrickým pohonem.
- Podpora TČ+FV je určena pro systémy kombinující tepelné čerpadlo a stávající či nový fotovoltaický systém. Podporu TČ+FVE však nelze uplatnit současně s podporou pro fotovoltaické systémy dle podoblasti C.3, a tudíž bude vždy uplatněna pouze výhodnější z obou podpor.

### 3.1.3 Příprava teplé vody

Podoblast podpory C.2 dotačního titulu NZÚ se vztahuje na přípravu teplé vody, pro potřeby této diplomové práce pro nás budou zásadní hlavně systémy tepelných čerpadel s elektrickým pohonem. Podporu podoblasti C.2 nelze čerpat, pokud již byla čerpána jiná podpora v podoblasti C.2 nebo pokud již byla čerpána podpora “*Tepelné čerpadlo pro teplovodní systém vytápění s přípravou teplé vody*” z podoblasti C.1 či pokud již byla čerpána dotace na fotovoltaické systémy s efektivním využitím tepelného čerpadla z podoblasti C.3.

Označení podporovaných opatření	Podporovaná opatření	Výše podpory [Kč]
TČ-V	Tepelné čerpadlo pro ohřev vody	45 000

Tab. 3.3 – Přehled podporovaných opatření pro tepelná čerpadla v podoblasti C.2 [27]

Pro získání této podpory je nutné splnit stejné podmínky, jako v podoblasti C.1 (Výměna zdrojů tepla). Celkově je tedy důležité o dotaci správně požádat a poskládat jí tak, aby byla zajištěna maximální ekonomická efektivita, nesmíme však zapomenout, že maximální výše dotace je 160 000 Kč.

#### Bonus pro vybrané kraje, regiony a obce

V neposlední řadě jsou bonusově dotovány objekty, které se nachází v regionech a obcích uvedených v *Akčním plánu Strategie regionálního rozvoje 2021+* a také objekty, které se nacházejí v Moravskoslezském, Ústeckém či Karlovarském kraji. Zvýhodňující bonus je roven 10 % z celkové výše podpory bez ostatních bonusů. Přehled hospodářsky a sociálně ohrožených území je uveden v následujících tabulkách:

Kraj	Výčet správních obvodů ORP
<b>Středočeský</b>	-
<b>Plzeňský</b>	Horažďovice, Nepomuk, Sušice
<b>Jihočeský</b>	Milevsko, Soběslav, Dačice, Blatná
<b>Karlovarský</b>	Kraslice, Sokolov, Ostrov
<b>Ústecký</b>	Litvínov, Most, Rumburk, Děčín, Varnsdorf, Podbořany, Chomutov, Kadaň, Ústí nad Labem, Lovosice, Teplice, Žatec, Louny, Litoměřice
<b>Liberecký</b>	Tanvald, Frýdlant, Semily, Nový Bor
<b>Královehradecký</b>	Broumov, Dvůr Králové nad Labem
<b>Pardubický</b>	Moravská Třebová, Česká Třebová, Svitavy, Králupy
<b>Kraj Vysočina</b>	Moravské Budějovice, Pacov, Bystřice nad Pernštejnem, Telč, Světlá nad Sázavou, Náměšť nad Oslavou, Chotěboř, Třebíč
<b>Jihomoravský</b>	Veselí nad Moravou, Hodonín, Kyjov, Moravský Krumlov, Znojmo
<b>Olomoucký</b>	Přerov, Jeseník, Šumperk, Konice, Mohelnice, Uničov, Lipník nad Bečvou, Zábřeh, Hranice, Šternberk
<b>Zlínský</b>	Bystřice pod Hostýnem, Kroměříž, Otrokovice, Holešov, Vsetín, Uherský Brod
<b>Moravskoslezský</b>	Karviná, Havířov, Orlová, Vítkov, Rýmařov, Krnov, Bruntál, Bohumín, Odry, Český Těšín

Tab. 3.4 – Státem podporované obce s rozšířenou působností dle Akčního plánu Strategie regionálního rozvoje 2021+ [28]

<b>Vojenský újezd</b>	<b>Obce</b>
<b>Boletice</b>	Polná na Šumavě
<b>Brdy</b>	Borovno, Bratkovice, Dobřív, Drahlín, Felbabka, Hvozdec, Chaloupky, Jince, Křešín, Láz, Malá Víska, Mirošov, Míšov, Nepomuk, Obecnice, Ohrazenice, Podluhy, Sádek, Skořice, Spálené Poříčí, Strašice, Těně, Trokavec, Věšín, Vranovice, Zaječov
<b>Dobrá Voda</b>	Čachrov, Hartmanice, Prášily, Srní
<b>Hradiště</b>	Bražec, Doupovské Hradiště
<b>Libavá</b>	Kozlov, Luboměř pod Strážnou, Město Libavá
<b>Milovice-Mladá</b>	Benátky nad Jizerou, Brodce, Čachovice, Jiřice, Lipník, Luštěnice, Milovice, Smilovice, Straky, Všejanya
<b>Ralsko</b>	Bělá pod Bezdězem, Bezděz, Doksy, Hamr na Jezeře, Mimoň, Mukařov, Noviny pod Ralskem, Osečná, Provodín, Ralsko, Stráž pod Ralskem, Zákupy

**Tab. 3.5** – Státem podporované obce na území bývalých vojenských újezdů dle Akčního plánu Strategie regionálního rozvoje 2021+ [28]

## 4 Měrné investiční a provozní výdaje

---

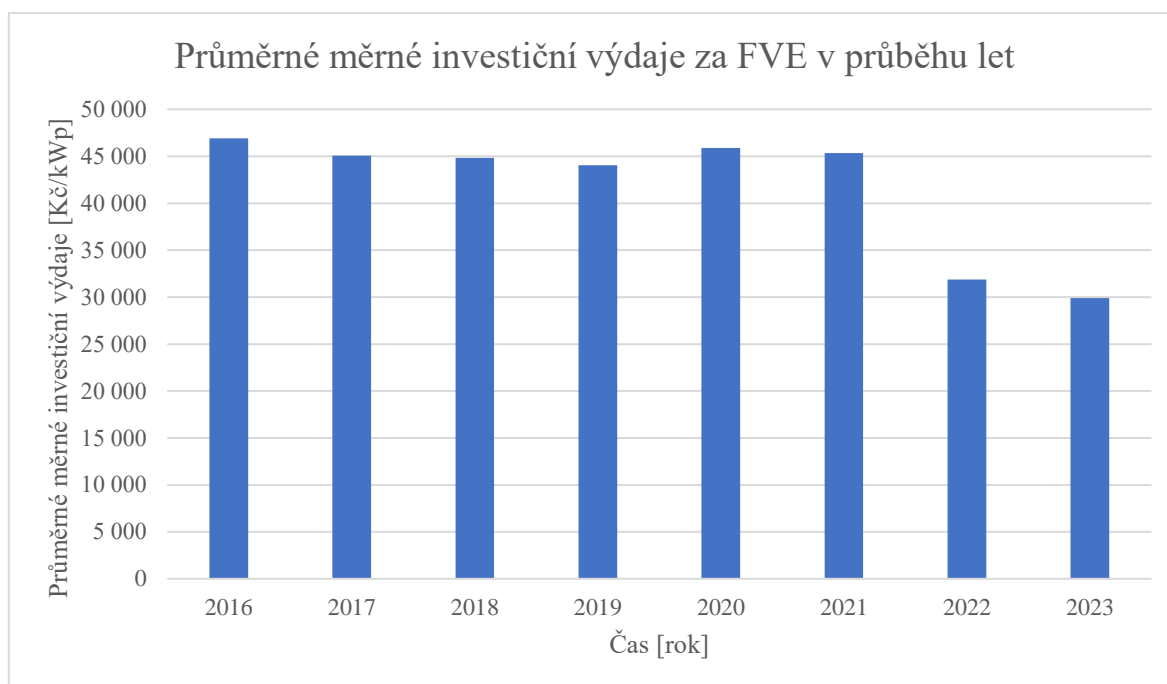
Cílem této závěrečné práce je na základě spotřeby rodinného domu vybrat optimální variantu fotovoltaického systému včetně možnosti instalace tepelného čerpadla. Aby bylo možné tuto optimalizaci provést, je třeba správně ohodnotit investiční výdaje všech instalovaných technologií. Jako u většiny produktů, tak i pro fotovoltaiku se uplatňují úspory z rozsahu, a proto například při instalaci 10 kWp zaplatíme v přepočtu více za 1 kWp než při instalaci 10 MWp. Z tohoto důvodu bude nutné analyticky odhadnout měrné investiční výdaje pro technologie, které mohou být součástí fotovoltaického systému, a to konkrétně pro fotovoltaiku, střídač a baterii. Pro tepelná čerpadla je metodika měrných investic nevhodná, jelikož v závislosti na topném výkonu se nelineárně mění i topný faktor, a tudíž není možné libovolně měnit topný výkon, ale je třeba provést výpočet pro každý výkon tepelného čerpadla zvlášť.

### 4.1 Investiční výdaje FVE

Základním stavebním kamenem fotovoltaického systému je fotovoltaická elektrárna, a proto bude velice důležité co nejpřesněji odhadnout její celkové investiční výdaje. Pro naše účely bude vhodné zavést měrnou investici závislosti ceny na instalovaném výkonu, tj. v jednotkách Kč/kWp. Pro jednoduchost budou v ceně zahrnuty nejen fotovoltaické panely, ale také všechny ostatní prvky nutné k jejich instalaci, jako kabeláž, konstrukce, ale i například práce. Odděleny budou pouze výdaje za střídač, neboť střídač disponuje kratší životností, a proto bude nutná jeho reinvestice v průběhu doby porovnání.

K provedení takovéto analýzy bude potřeba co nejvíce dat, aby byl výsledek co nejpřesnější. Z tohoto důvodu bude v rámci této závěrečné práce čerpáno z dat Státního fondu pro životní prostředí ČR, konkrétně z programu Nová zelená úsporám. Od SFŽP ČR mi pro účely této diplomové práce byla poskytnuta data o všech podaných žádostech v rámci programu NZÚ od roku 2014 až po současnost, a to konkrétně všechny žádosti týkající se instalací fotovoltaických systému či systémů s tepelnými čerpadly pro rodinné domy. Součástí těchto dat jsou informace o instalovaném výkonu, kapacitě baterie, pořizovacích nákladech a výši dotace pro každou jednotlivou podanou žádost v rámci programu NZÚ.

Pro stanovení měrných investičních výdajů bude nejprve z dat potřeba odfiltrovat všechny žádosti, které se týkají FVE systému včetně akumulace, neboť v pořizovacích výdajích budou zahrnuty i pořizovací výdaje za baterii. Dále bude nutné odfiltrovat všechny žádosti, které se týkají FVE systému včetně tepelného čerpadla, a to ze stejného důvodu. V neposlední řadě bude potřeba odfiltrovat všechny chybně podané žádosti, tj. například ty, které nemají uvedený instalovaný výkon či pořizovací výdaje. Po odfiltrování zbylo celkem 10 368 žádostí, což lze považovat za dostatečné množství dat, aby bylo možné provést analýzu měrných investičních výdajů FVE.



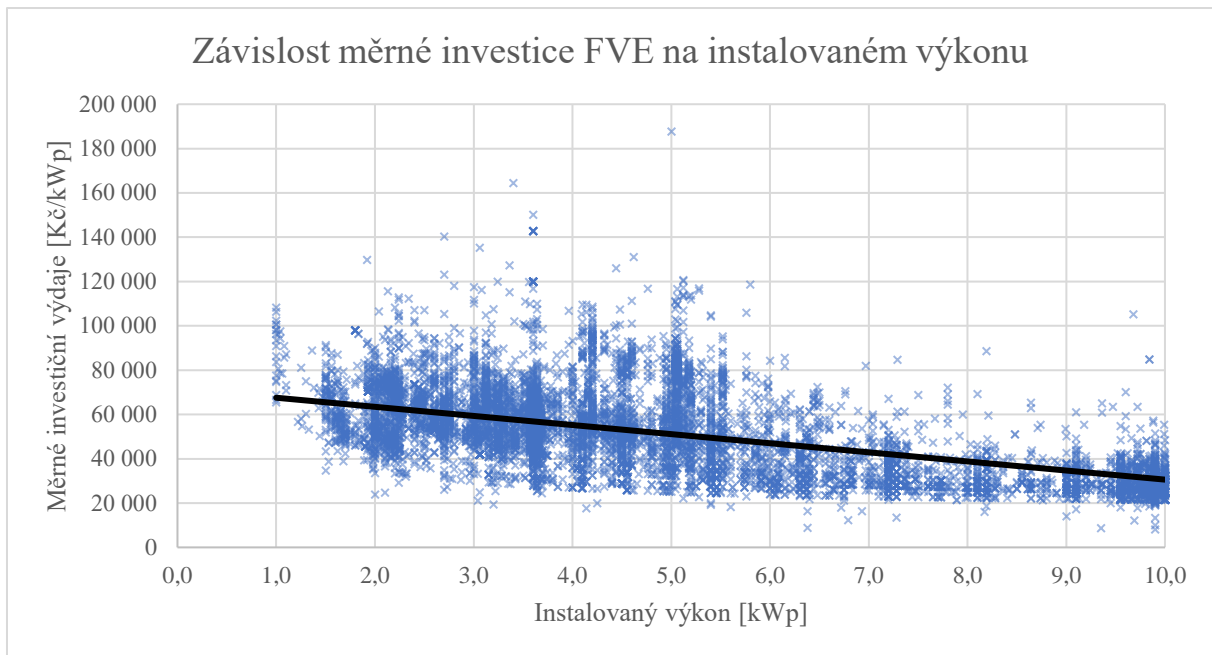
**Graf 4.1** – Průměrné měrné investiční výdaje za FVE v průběhu let

Na grafu 4.1 lze snadno spatřit prudký pokles cen za FVE v roce 2022, který nejspíše koreluje s druhým solárním boomem, který nastal právě v tomto období. Zároveň je patrné, že cena FVE od roku 2016 až po rok 2021 prakticky neklesala, což může souviset s tím, že v těchto letech se ČR vystavělo pouze velmi malé množství solárních elektráren. Důležité si je uvědomit časovou hodnotu peněz, 45 000 Kč/kWp v roce 2016 mělo vyšší hodnotu než 45 000 Kč/kWp v roce 2021, z tohoto důvodu bude potřeba zohlednit inflaci při vyhodnocování závislosti měrné investice na instalovaném výkonu.

Rok	Index průmyslových cen
2023	115,0 %
2022	112,7 %
2021	106,0 %
2020	101,3 %
2019	99,5 %
2018	99,3 %
2017	99,2 %
2016	98,0 %
2015	100,0 %

**Tab. 4.1**– Indexy cen průmyslových výrobců podle CZ-CPA vztaheny k roku 2015 pro skupinu elektrická zařízení [29]

V tabulce 4.1 jsou zobrazeny indexy průmyslových cen elektrických zařízení srovnávané s rokem 2015. Tato data pocházejí z Českého statistického úřadu a mají za cíl co nejpřesněji odrazit časovou hodnotu peněz. Z dat je patrné, že ceny elektrických zařízení v průměru klesly v letech 2016 až 2019 ve srovnání s rokem 2015. Naopak v roce 2023, kvůli vysoké inflaci v České republice, ceny elektrických zařízení vzrostly až o 15 % ve srovnání s rokem 2015.



**Graf 4.2** – Závislost měrných investičních výdajů FVE na instalovaném výkonu

Na grafu 4.2 je vynesena závislost měrné investice FVE na instalovaném výkonu, a to včetně zahrnutí časové hodnoty peněz. Závislost je vynesena pouze do hodnoty 10 kW<sub>p</sub>, a to z důvodu, že do roku 2022 bylo dle legislativy možné vystavět FVE bez stavebního povolení maximálně do instalovaného výkonu 10 kW<sub>p</sub>. Z tohoto důvodu bylo v současnosti vystavěno pouze malé množství FVE nad 10 kW<sub>p</sub>, a tudíž by následná analýza kvůli nízkému počtu dat nedávala smysl. Zároveň si lze povšimnout, že v grafu nejsou žádná data pro instalace menší než 1 kW<sub>p</sub>, a to z důvodu, že v rámci programu NZÚ nejsou instalace do 1 kW<sub>p</sub> podporovány (dnes už ani do 2 kW<sub>p</sub>). Na poskytnuté množině dat byla provedena lineární regresní analýza, ze které byla získána rovnice aproximační přímky, která vyjadřuje lineární závislost měrných investičních výdajů FVE na instalovaném výkonu s nejmenší možnou odchylkou. Tato rovnice bude využita ve výpočetním modelu k určení velikosti investičních výdajů FVE.

$$s_{INV} = -4\,107,8 \cdot P + 71\,662$$

4.1

kde  $s_{INV}$  jsou měrné investiční výdaje [Kč/kW<sub>p</sub>] a  $P$  je instalovaný výkon [kW<sub>p</sub>].

Z důvodů popsaných výše bude tato rovnice platit pouze pro instalace do 10 kW<sub>p</sub>, pro instalace nad 10 kW<sub>p</sub> budou měrné investiční výdaje konstantní ve výši odpovídající instalaci 10 kW<sub>p</sub> dle dané rovnice. Důležité je však upozornit, že se jedná pouze o hrubý odhad investičních výdajů spojených s instalací FVE, reálná výše bude záviset na složitosti instalace, cenové nabídce vybrané společnosti a několika dalších faktorech. Z tohoto důvodu bude ve výpočetním modelu možnost vložit vlastní hodnotu investičních výdajů (například z cenové nabídky).

## 4.2 Investiční výdaje bateriová úložiště

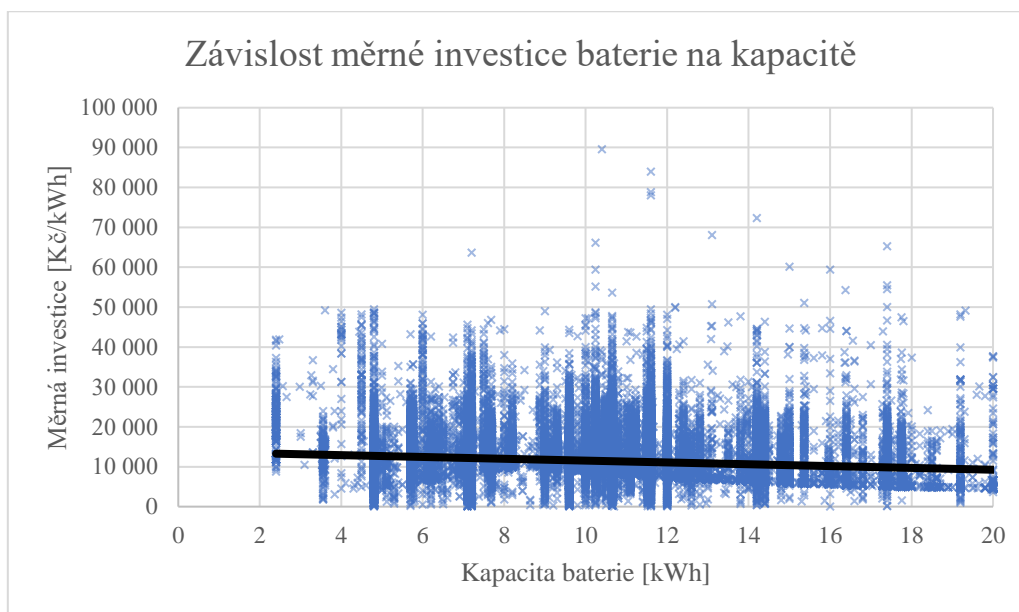
Neméně důležitou součástí fotovoltaického systému, pro kterou bude potřeba analyticky odhadnout měrné investiční výdaje jsou bateriová úložiště. K aproximaci bude využita stejná

množina dat od SFŽP ČR, avšak nyní budou odfiltrovány všechny instalace bez bateriových úložišť. Následně bude potřeba od hodnoty pořizovacích nákladů odečíst investiční výdaje za FVE, a to ve výši dle rovnice 4.1. Tímto způsobem se získají pořizovací náklady za baterii, a tím pádem bude možné provést analýzu měrných investičních výdajů na kapacitě bateriového úložiště, tj. v jednotkách Kč/kWh.



**Graf 4.3** – Průměrné měrné investiční výdaje za baterii v průběhu let

Z grafu 4.3 je patrné, že cena bateriových úložišť menších kapacit v průběhu let pomalu klesala, zajímavý je pozvolný nárůst cen v roce 2023, který je nejspíše způsobený zvýšenou poptávkou po bateriích kvůli rozmachu solárních elektráren na rodinných domech.



**Graf 4.4** – Závislost měrné investice baterie na kapacitě

Ze závislosti měrné investice na kapacitě baterie lze vypožorovat, že aproximační přímka lineární regrese má prakticky nulový sklon, což znamená, že u bateriových úložišť pro rodinné domy se projevuje pouze velice nízká úspora z rozsahu. Z tohoto důvodu bude v rámci výpočetního modelu uvažováno s konstantní měrnou investicí baterie, a to ve výši **12 000 Kč/kWh**. Dalším důležitým parametrem je výkon baterie, pro zjednodušení bude ve výpočetním model zvolen výkonový poměr 1:1 (tj. poměr mezi výkonem a kapacitou baterie), zjednodušeně řečeno výkon baterie bude roven její kapacitě.

### 4.3 Investiční výdaje tepelná čerpadla

V úvodu této kapitoly bylo sice zmíněno, že metodu měrných investic nelze pro tepelná čerpadla uplatnit, poskytnutá data od SFŽP ČR ohledně vyplacených dotací v rámci programu NZÚ však lze stále uplatnit k odhadu investičních výdajů spojených s přípravnými pracemi a instalací tepelného čerpadla.

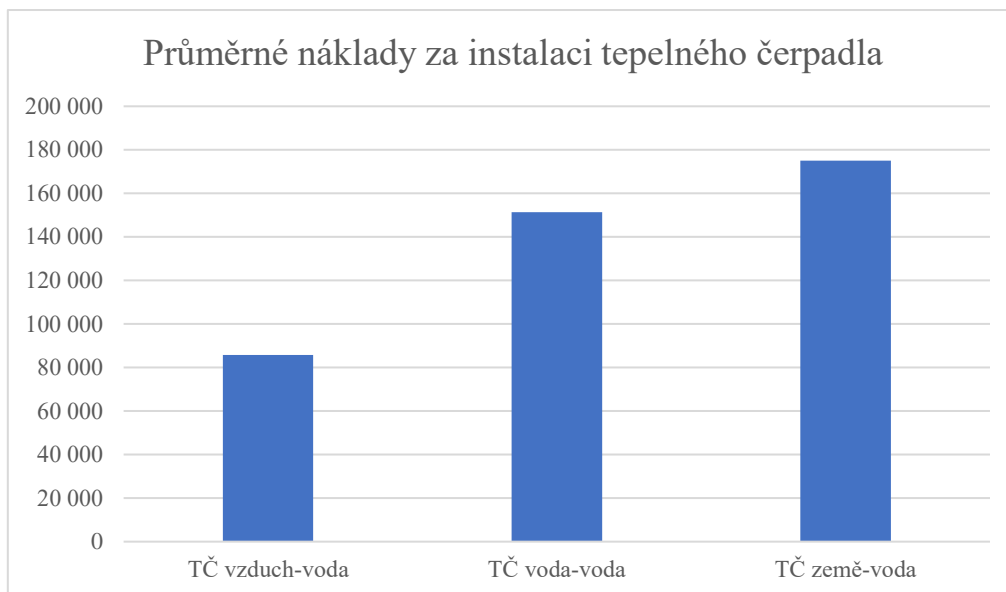
K provedení této analýzy bude potřeba nejprve nacenit jednotlivé typy tepelných čerpadel, a to o různých tepelných výkonech. K odhadu cen bude využit ceník tepelných čerpadel od společností Regulus a MasterTherm, neboť právě čerpadla těchto značek budou hodnocena ve výpočetním modelu, a to z důvodu, že výrobce poskytuje veškeré informace o topném výkonu a topném faktoru v závislosti na teplotě okolí. Tyto údaje budou stěžejní pro výpočet produkce tepla ve výpočetním modelu. Z nabídky budou hodnoceny pouze třífázová tepelná čerpadla bez možnosti regulace výkonu, a to z důvodu, že pro čerpadla s dynamickou změnou výkonu nelze uplatnit intervalovou metodu pro výpočet výroby tepla. [30]

Ceník tepelných čerpadel od společnosti Regulus a MasterTherm					
TČ země – voda		TČ voda – voda		TČ vzduch – voda	
Topný výkon [kW]	Cena [Kč]	Topný výkon [kW]	Cena [Kč]	Topný výkon [kW]	Cena [Kč]
5,9	154 200	10,4	154 900	4,5	124 460
8,2	162 700	13,3	164 900	6,22	148 800
10	167 300	14,9	173 900	7,83	157 000
11,8	179 100	18,4	184 900	11,5	173 100
14,5	191 600	22,5	193 900	16,2	196 200
16,76	204 200	31,2	236 900	17,52	214 700

Tab. 4.2 – Ceník tepelných čerpadel od společnosti Regulus a MasterTherm [31] [32]

Topné výkony jsou uvedeny vždy pro stavy A7/W35 pro tepelná čerpadla vzduch – voda, stav B0/W35 pro tepelná čerpadla země – voda a stav W10/W35 pro tepelná čerpadla voda – voda. Nyní když jsou známy ceny tepelných čerpadel, lze odhadnout náklady spojené s instalací daného typu tepelného čerpadla.





**Graf 4.5** – Průměrné náklady za instalaci tepelného čerpadla

Z grafu 4.5 je patrné, že instalace tepelných čerpadel země – voda je až dvojnásobně dražší instalace čerpadel vzduch – voda. Důležité je však zmínit, že u tepelných čerpadel voda – voda jsou uvažovány pouze instalace typu studna, které odebírají teplo z podpovrchové vody. Přestože instalace tepelného čerpadla země – voda s geotermálními vrty bývá zpravidla o něco nákladnější než instalace plošných tepelných čerpadel, v rámci výpočetního modelu bude tento rozdíl pro jednoduchost zanedbán.

## 4.4 Investiční výdaje střídač

Z důvodu zjednodušení budou investiční výdaje za střídač vypočteny jako procento z pořizovacích nákladů za FVE. Pro účely této diplomové práce budeme uvažovat pouze střídače třífázové, jelikož z technologického hlediska dávají největší smysl. S příchodem novely energetického zákona známou pod názvem LEX OZE II, by se mělo přejít zpátky k součtovému měření a odejít tak od měření fázového, kvůli kterého bylo potřeba instalovat střídače asymetrické. Důvod instalace asymetrického střídače lze vysvětlit na následujícím názorném příkladu:

Uvažujme, že FVE má v daný okamžik výkon 3000 W, ve stejný okamžik sepneme rychlovarnou konvici o stejném příkonu. Z laického pohledu by se mohlo zdát, že v daný okamžik bude vyrobená elektrická energie spotřebována konvicí, a tudíž nebude uživatel za elektrickou energii platit. Nesníme však zapomenout, že konvice je připojena pouze k jedné ze tří fází, a pokud má uživatel symetrický střídač rozdělí se vyrobená energie rovnoměrně do všech fází, tedy 1000 W do každé fáze. Zákazník tak uspoří pouze 1/3 vyrobené energie a zbylou část prodá zpátky do sítě, a to za podstatně nižší cenu.

S novou novelou energetického zákona bude v České republice technicky možné provádět součtové měření, avšak situace není tak jednoduchá, jak by se mohlo na první pohled zdát. Součtové měření nebude oficiálně povoleno, ale zákazníci si budou moci sami sobě sdílet energii z jedné fáze do druhé, čímž se bude simulovat funkce součtového měření. Nicméně za

toto sdílení energie zákazníci zaplatí distribuční poplatek, což znamená, že i při instalaci levnějšího symetrického střídače budou muset nést náklady spojené s distribucí energie. Z tohoto důvodu budu ve výpočetním modelu pracovat s asymetrickými střídači.

Cena třífázových asymetrických střídačů se pohybuje okolo 4 000 – 6 000 Kč/kW v závislosti na značce, funkčnosti a výkonovém rozmezí. Pokud budeme uvažovat průměrnou cenu **5 000 Kč/kW**, stejnou míru úspory z rozsahu jako u fotovoltaických panelů a náklady za FVE dle rovnice 4.1, pak náklady za střídač budou odpovídat zhruba 7,5 % z celkových investičních výdajů za FVE. Náklady za instalaci střídače jsou zahrnuty v nákladech za instalaci FVE. Dále je nutné vzít v úvahu, že průměrná životnost střídače je zhruba 10 až 12 let, tudíž bude muset dojít k obnově střídače v průběhu doby porovnání. [33]

## 4.5 Provozní výdaje

Důležitou součástí hodnocení investice není pouze zahrnutí investičních výdajů, ale také zohlednění výdajů spojených s provozem fotovoltaického systému. Fotovoltaické elektrárny mají výhodu v tom, že vykazují velmi nízkou potřebu údržby a pravidelných servisních zásahů. Nicméně platí, že jako u každého elektrického zařízení je nutné dodržovat pravidelné revize podle normy ČSN 331500. Po uplynutí čtyřleté lhůty, která je obvyklá pro většinu instalací, je provozovatel fotovoltaické elektrárny povinen nechat vypracovat periodickou revizní zprávu. Pro sektor rodinných domů však neexistuje žádná právní listina, která by povinnou údržbu nařizovala, a proto je čtyřletá lhůta spíše silným doporučením, kterým se budeme držet i ve výpočetním modelu. Cena údržby fotovoltaické elektrárny a vypracování revizní zprávy se odlišuje v závislosti na několika faktorech, jako je instalovaný výkon, dostupnost střechy, zjištěné závady a podobně. Pro účely výpočetního modelu budeme pracovat s průměrnou cenou servisní prohlídky ve výši **4 000 Kč každé čtyři roky**. [34]

U tepelných čerpadel je doporučeno provádět pravidelnou servisní prohlídku minimálně jednou ročně, ideálně na začátku topné sezóny. Navíc podle nařízení Evropského parlamentu (EK č. 517/2014) je povinná kontrola chladicího okruhu alespoň jednou ročně, a to pouze v případě, že množství chladiva přesahuje hodnotu 2,39 kg. Součástí pravidelné údržby by měla být kontrola chladicího okruhu, zkontrolování funkčnosti, vyčištění výparníku a oběhového čerpadla. Cena servisní prohlídky může záviset na složitosti tepelného systému a také na vzdálenosti zákazníka od servisního centra. Ve výpočetním modelu bude proto uvažováno s průměrnou hodnotou **3000 Kč za rok** pro všechny typy tepelných čerpadel. [35]

Provozní výdaje spojené se spotřebou elektrické energie tepelného čerpadla budou zohledněny ve výpočtu roční úspory platby za energie. Důležité je také brát v úvahu změnu distribuční sazby v důsledku instalace tepelného čerpadla. V současné době jsou domácnosti využívající tepelná čerpadla zařazeny do sazby D57d, což je dvoutarifní sazba, kde je elektřina levnější po dobu 20 hodin denně. Kromě toho je důležité mít na paměti zvýšení instalovaného příkonu na odběrném místě, což pravděpodobně povede k navýšení kapacity hlavního jističe. Tato změna se také promítne do celkových nákladů na dodávku elektřiny.

## 5 Spotřeba energie

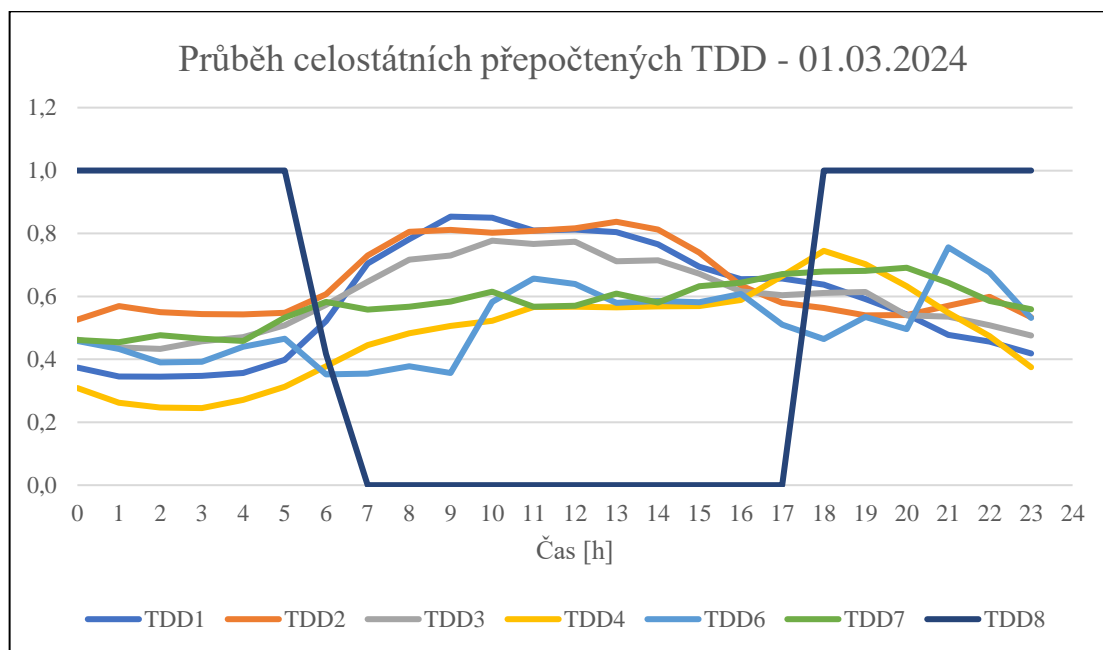
Pro tvorbu efektivního výpočetního modelu je klíčové mít detailní znalosti o profilech spotřeby energie v rodinném domě. Kromě celkové roční spotřeby elektřiny, zemního plynu a tuhých paliv je důležité získat informace o tom, jak se spotřeba energie mění během dne. To zahrnuje hodinové profily spotřeby pro jednotlivé spotřebiče, vytápění a ohřev teplé vody v domácnosti. Díky znalosti rozložení spotřeby energie v průběhu dne lze přesněji odhadnout množství přebytečné energie z fotovoltaických panelů a lépe dimenzovat jejich výkon. Stejně tak je možné optimálně navrhnout velikost tepelného čerpadla tak, aby byl zajištěn tepelný komfort v domě. Tyto informace jsou klíčové pro správné ekonomické vyhodnocení a navrhování energetických systémů v rodinných domech.

Jednou z možností určení hodinového profilu spotřeby domácnosti je využití typových diagramů dodávek (TDD). Tyto diagramy jsou grafickými reprezentacemi, které simulují průběh spotřeby energie u různých skupin uživatelů. Jsou vytvořeny na základě analytických údajů z rozsáhlých měření provedených u širokého spektra zákazníků a slouží k odhadu množství elektřiny nebo plynu spotřebovaného během roku na konkrétním místě odběru. Typové diagramy se dělí do osmi skupin, přičemž každá skupina reprezentuje průměrnou roční hodinovou spotřebu pro uživatele s určitou distribuční sazbou.

Třída	Typ zákazníka	Charakter odběru	Pevné ceny distribuce podle cenového rozhodnutí Úřadu
1	Odběratel kategorie C	– odběr bez tepelného využití elektřiny	– C01d, C02d, C03d
2	Odběratel kategorie C	– odběr s akumulacním spotřebičem – odběr s hybridním vytápěním	– C25d, C26d, C35d
3	Odběratel kategorie C	– odběr s přímotopným systémem vytápění – odběr s tepelným čerpadlem	– C45d, C55d, C56d
4	Odběratel kategorie D	– odběr bez tepelného využití elektřiny	– D01d, D02d, D61d
5	Odběratel kategorie D	– odběr s akumulacním spotřebičem	– D25d, D26d
6	Odběratel kategorie D	– odběr s hybridním vytápěním	– D35d
7	Odběratel kategorie D	– odběr s přímotopným systémem vytápění – odběr s tepelným čerpadlem	– D45d, D55d, D56d
8	Odběratel kategorie C	– odběr pro veřejné osvětlení	– C62d

Tab. 5.1 – Třídy typových diagramů dodávek [36]

I když využití typových diagramů dodávek může na první pohled působit jako výhodné řešení, problémem je, že průměrováním charakteristik typických spotřeb domácností s podobnou distribuční sazbou dochází k ztrátě informací o reálném denním průběhu spotřeby energie.



Graf 5.1 – Průběh celostátních přepočtených TDD ze dne 01.03.2024 [37]

Jak ukazuje graf 5.1, zejména na závislostech TDD4, TDD6 a TDD7, které znázorňují spotřebu v domácnostech, není zřejmý žádný výrazný rozdíl v průběhu spotřeby během dne. Zároveň je pozorovatelné, že spotřeba energie během poledních hodin je poměrně vysoká, i když v této době mnoho domácností není doma. Využití typových diagramů dodávek by tedy výrazně zkrátilo množství přebytků z fotovoltaické elektrárny, protože tato zařízení produkují většinu energie právě v poledních hodinách. Z tohoto důvodu nebudou typové diagramy dodávek využity ve výpočetním modelu.

## 5.1 Vytápění

V následující podkapitole budou přehledně popsány různé varianty vytápění v rodinných domech a jejich vliv na ekonomický model. V rodinných domech se vyskytují rozmanité typy topných systémů, které využívají různé zdroje energie, jako je elektřina, plyn, biomasa a další. Volba konkrétního topného systému může být ovlivněna také způsobem, jakým je teplo generováno – zda je akumulováno v zásobníku pro využití levné noční energie, nebo zda je produkováno okamžitě prostřednictvím průtočných kotlů v souladu s aktuální spotřebou. Každý typ systému má své specifické vlastnosti a ekonomické dopady, které budou dále analyzovány v rámci ekonomického modelu. [38]

V rámci výpočetního modelu si uživatel bude moci vybrat, jaký typ vytápění v domácnosti využívá a jaká je jeho roční spotřeba energie, a to bez ohledu na to, zda se jedná o

elektrinu, plyn nebo jiná paliva. Zároveň uživatel určí, jakou formu energie v domácnosti používá k vytápění. Na základě těchto parametrů bude zvolen postup výpočtu spotřeby energie na vytápění. Vzhledem k tomu, že uživatel může k vytápění využívat více druhů energie, je nezbytné odhadnout celkovou potřebu tepla na vytápění. Pro odhad této potřeby tepla bude využita velmi zjednodušená metoda, která vychází z normy ČSN EN ISO 52016-1. Nejprve je třeba znát dva základní údaje, a to lokalitu objektu a tepelné ztráty objektu. Podle lokality objektu budou z tabulky dle ČSN 38 3350 odečteny střední denní venkovní teploty pro začátek a konec otopného období, střední venkovní teplota během otopného období a délka trvání tohoto období. [39]

Nejdůležitějším faktorem pro určení potřeby tepla na vytápění je tepelná ztráta objektu. Výpočet této ztráty je složitý a komplexní, a pro běžného uživatele je prakticky nemožné provést ho bez odborné podpory. Z tohoto důvodu se v rámci modelu používají poměrné koeficienty z tabulky orientačních hodnot tepelných ztrát objektů. Pokud uživatel disponuje přesnějšími údaji o tepelné ztrátě budovy nebo má zájem o podrobnější výpočty, má možnost do modelu zadat přesnější hodnotu. [40]

Tepelná ztráty domu dle období výstavby [kW]						
Rok výstavby	1960	1978	1992	2002	2011	2020
Dům bez zateplení	31	22	17	14	-	-
Dům s vyměněnými okny	28	20	14	13	-	-
Kompletně zateplený dům	13	12	11	10	10	7,2

Tab. 5.2 – Ukázka tepelné ztráty samostatně stojícího domu s podlahovou plochou 200 m<sup>2</sup> dle období výstavby [40]

Z analýzy v tabulce 5.2 vyplývá, že tepelná ztráta objektu je ovlivněna řadou faktorů, jako je rok výstavby, velikost domu a jeho umístění. Hodnoty uvedené v tabulce jsou odvozeny z předpokladů, že stavba z daného období byla realizována v souladu s tehdejšími technickými normami a že průměrná vnitřní teplota vytápění domu činí 20 °C.[40]

Poté, co je známá tepelná ztráta objektu, není výpočet potřeby tepla na vytápění příliš složitý. Vychází z metody denostupňů, kdy jsou nejprve vypočteny vytápěcí denostupně podle následujícího vztahu:

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es})$$

5.1

kde  $D$  jsou vytápěcí denostupně [K·den],  $d$  je délka otopného období [den],  $t_{is}$  je průměrná vnitřní výpočtová teplota [°C] a  $t_{es}$  je střední venkovní teplota za otopné období.

Tento parametr se poté dosadí do výsledné rovnice pro výpočet celkové roční potřeby energie na vytápění:

$$T_{VYT} = \frac{\varepsilon}{\eta_0 \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_C \cdot D}{(t_{is} - t_e)} * 1000$$

5.2

kde  $T_{VYT}$  je celková roční teoretická potřeba energie na vytápění [MWh],  $\varepsilon$  je opravný součinitel topného systému [-],  $\eta_0$  je účinnost možnosti regulace soustavy [-],  $\eta_r$  je účinnost rozvodu vytápění [-],  $Q_C$  je tepelná ztráta objektu [kW] a  $t_e$  je venkovní výpočtová teplota [°C]

Volba účinnosti regulace soustavy  $\eta_0$  se pohybuje v rozmezí od 0,9 pro vytápění pevným palivem až po 1 pro otopné soustavy s automatickou regulací. Účinnost rozvodu vytápění  $\eta_r$  se obvykle volí mezi 0,95 až 0,98 v závislosti na typu provedení, pro jednoduchost budeme uvažovat dolní mez tohoto intervalu. Opravný součinitel topného systému  $\varepsilon$  pro rodinné domy lze stanovit podle typu regulace, jak je uvedeno v následující tabulce:

<b>Závislost opravného součinitele topného systému na typu regulace</b>	
Typ regulace	$\varepsilon$
Regulace prostorovým termostatem	0,71
Ekvitermní regulace teploty otopné vody	0,67
Regulace ventily s termostatickými hlavicemi	0,63

**Tab. 5.3** – Závislost opravného součinitele topného systému na typu regulace [39]

Po výpočtu celkové roční potřeby energie na vytápění rodinného domu je nezbytné tuto energii rozpočítat na jednotlivé hodiny během roku. K tomuto účelu bude využita hodinostupňová metoda výpočtu (HST), která vychází z hodinových teplot v dané lokalitě. Pro výpočet hodinové potřeby tepla metodou hodinových stupňů je potřeba znát průměrnou vnitřní teplotu objektu (tj. požadovanou teplotu uvnitř objektu) a teplotu začátku topného období (tj. venkovní teplotu, při níž uživatel začíná topit). Na základě těchto údajů se vypočítá rozdíl mezi požadovanou vnitřní teplotou a venkovní teplotou pro každou hodinu v roce, kdy byla venkovní teplota nižší než teplota začátku topného období. Hodinový profil potřeby energie pro vytápění se následně získá podle následujícího vzorce:

$$VYT_t = \frac{HST_t}{\sum_{t=1}^{8760} HST_t}$$

5.3

kde  $VYT_t$  je profil vytápění v hodině  $t$  [-] a  $HST_t$  je hodinostupeň v hodině  $t$ .

Většina lidí často snižuje teplotu vytápění, když opouští dům na delší dobu, a to obvykle až o několik stupňů. Tento fakt musí být zohledněn ve výpočetním modelu. Pokud je uživatel mimo objekt po dobu 5 nebo více dní, pak se vnitřní teplota objektu sníží o hodnotu zadanou uživatelem, což ovlivní profil vytápění získaný hodinostupňovou metodou. Pokud uživatel využívá elektrický akumulární kotel, pak kotel není v provozu celodenně a spíná se pouze tehdy, když je aktivní nízký tarif distribuční sazby, tj. když je spuštěn spínač pro HDO. Tento fakt je nutné zohlednit ve výpočetním modelu.

## 5.2 Ohřev teplé vody

Stejně jako u vytápění rodinných domů i ohřev teplé vody v domácnosti lze zajistit různými způsoby. Opět existuje celá řada druhů a typů boilerů, a to ať už průtočné či akumulární nebo plynové či elektrické. Širokou škálu možností ohřevu teplé vody je třeba ve výpočetním modelu zohlednit a neopomenout žádnou variantu. Stejně jako u vytápění nebudeme uvažovat možnost, že uživatel již ohřívá vodu pomocí tepelného čerpadla, neboť výpočetní model je určen právě pro uživatele, kteří o zařízení tepelného čerpadla uvažují.

Pro výpočet roční potřeby tepla na ohřev teplé vody je nezbytné znát délku otopného období a průměrnou teplotu během tohoto období. Tyto údaje jsou uvedeny v přehledové

tabulce dle normy ČSN 38 3350 pro každý okres v ČR v závislosti na nadmořské výšce. Dále je třeba znát teplotu studené vody, požadovanou teplotu ohřáté vody a denní spotřebu vody v objektu. Standardně se pro obytné budovy počítá s průměrnou spotřebou 0,03 m<sup>3</sup>/osobu na den, avšak tento údaj může výrazně kolísat v závislosti na konkrétní domácnosti, a proto je ve výpočetním modelu ponechán jako volitelný parametr. Dále se předpokládá, že hustota vody je konstantní a rovna 1000 kg/m<sup>3</sup>, stejně jako měrná tepelná kapacita, která je rovna 4 186 J/kgK. [39]

Jedním z nejkritičtějších parametrů výpočtu potřebné energie na ohřev teplé vody v domácnosti je koeficient energetických ztrát systému  $z$  [-]. Koeficient nelze bez expertní analýzy nijak vypočítat, lze jej však odhadnout na základě následující tabulky:

Koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody	
Typ rozvodů	$z$
Rozvody v nových stavbách	max. 0,5
Okrskové rozvody	max 1,0
Rozvody ve starších stavbách	2 až 4

Tab. 5.5.4 – Koeficienty energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody dle typu rozvodu [39]

Ve výpočetním modelu budeme uvažovat s výchozí hodnotou ztrátového koeficientu  $z = 0,5$ , v rámci modelu bude však tento parametr ponechán jako volitelný. Na základě zmíněných parametrů je možné vypočítat denní potřebu teplo pro ohřev teplé vody, a to podle následujícího vztahu:

$$Q_{TV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600}$$

5.4

kde  $Q_{TV,d}$  je denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody [kWh],  $z$  je koeficient energetických ztrát systému [-],  $\rho$  je měrná hustota vody [1000 kg/m<sup>3</sup>],  $c$  je měrná tepelná kapacita vody [4186 J/kgK],  $V_{2p}$  je celková potřeba teplé vody na jeden den [m<sup>3</sup>/den],  $t_2$  je teplota ohřáté vody [°C] a  $t_1$  je teplota studené vody [°C].

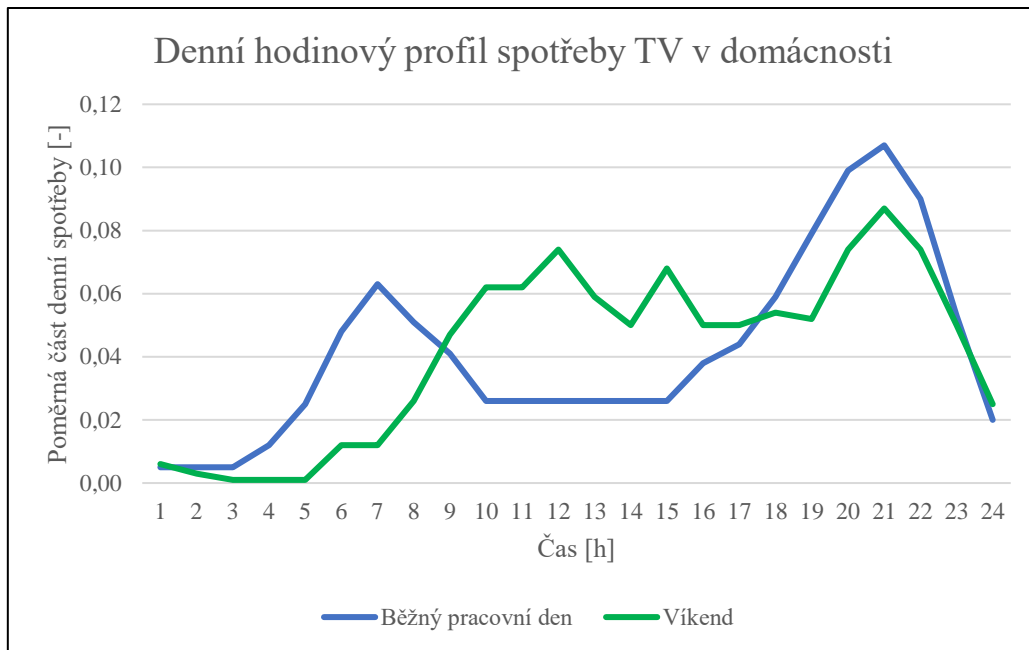
Denní spotřebu tepla pro ohřev teplé vody je ještě třeba rozpočítat, abychom získali celkovou roční potřebu tepla k ohřevu TV. K tomuto výpočtu je třeba znát průměrnou teplotu studené vody v létě, průměrnou teplotu studené vody v zimě a počet pracovních dní soustavy v roce. Teplota studené vody v létě se v českých podmínkách pohybuje nejčastěji okolo 15 °C, zatímco v zimě okolo 5 °C. Výsledná rovnice je následující:

$$T_{TV} = Q_{TV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TV,d} \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$$

5.5

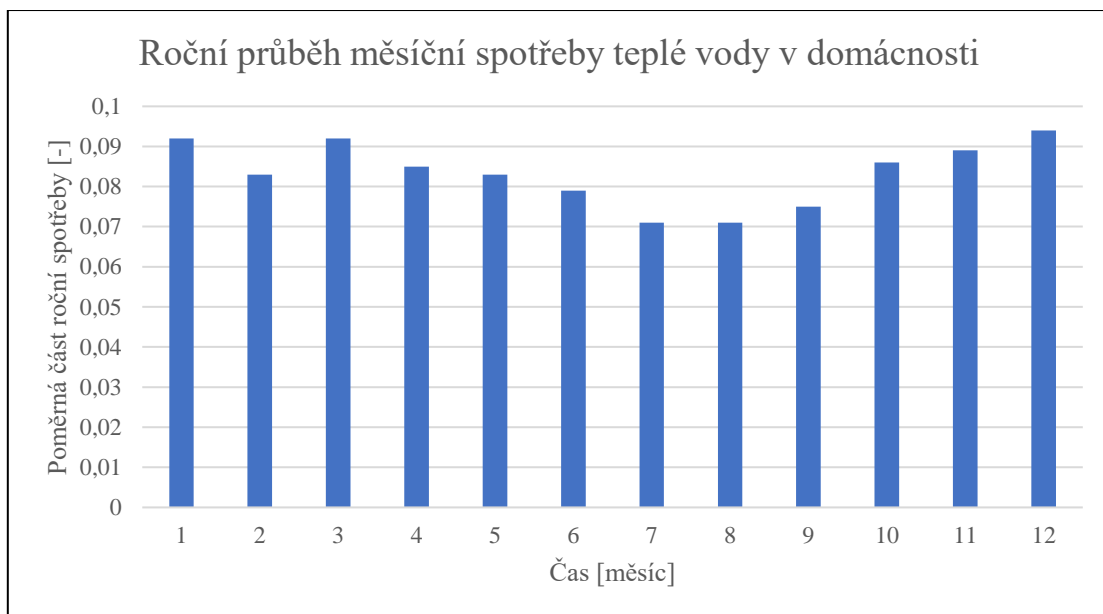
kde  $T_{TV}$  je celková roční teoretická potřeba tepla k ohřevu TV [kWh],  $t_{svl}$  je teplota studené vody v létě [°C],  $t_{svz}$  je teplota studené vody v zimě a  $N$  je počet pracovních dní soustavy [dny].

Nyní, když máme k dispozici celkovou roční potřebu tepla k přípravě teplé vody, je nezbytné tuto roční spotřebu rozpočítat do hodinového ročního profilu. Norma ČSN EN 13203-2 poskytuje standardizované denní hodinové profily spotřeby teplé vody v domácnostech pro běžný pracovní den a víkend. Tyto profily jsou graficky znázorněny níže:



**Graf 5.2** – Denní hodinový profil spotřeby TV v domácnosti pro běžný pracovní den a víkend [41]

Spotřeba teplé vody se však odlišuje nejen v rámci jednotlivých hodin, ale i v průběhu roku. Proto je důležité zahrnout do výpočtu měsíční profil spotřeby teplé vody v domácnosti, neboť v letních měsících je spotřeba obvykle nižší než v zimě. Následující graf zobrazuje roční průběh měsíčních profilů spotřeby teplé vody:



**Graf 5.3** – Roční průběh měsíční spotřeby teplé vody v domácnosti [42]

Pro získání výsledného hodinového profilu teplé vody v modelu je třeba vynásobit příslušný měsíční koeficient s hodinovým koeficientem denního profilu. Podobně jako u vytápění musíme zohlednit skutečnost, že někteří uživatelé mohou využívat elektrický akumulární boiler na ohřev teplé vody. V takovém případě není spotřeba elektřiny úměrná profilu spotřeby vody, ale závisí na časech spínání systému s nízkou tarifní sazbou (HDO) podle



platných distribučních sazeb pro domácnosti, jde konkrétně o sazby D25d, D26d nebo kombinované vytápění D35d.

### 5.3 Spotřebiče

Poslední zásadní složkou spotřeby energie jsou běžné domácí spotřebiče. Na rozdíl od vytápění nebo ohřevu teplé vody není nutné určovat, jaký typ energie spotřebovávají, neboť je zjevné, že využívají elektřinu, což částečně usnadňuje výpočetní proces v modelu. Nicméně v případě, že domácnost používá elektřinu k vytápění nebo ohřevu teplé vody, bude nutné rozlišit, kolik energie spotřebují běžné spotřebiče a kolik energie je použito na vytápění. Zároveň bude také nezbytné stanovit hodinový profil spotřeby energie běžných spotřebičů, aby bylo možné co nejpřesněji určit množství přetoků z fotovoltaické elektrárny.

Jednou z možností, jak stanovit hodinový profil spotřeby pro domácí spotřebiče, je provést simulaci denního provozu. Tato metoda vyžaduje počáteční výpočet významných spotřebičů energie v domácnosti a zjištění jejich jmenovitého příkonu. Pro každý spotřebič je třeba identifikovat jeho provozní dobu během dne a zohlednit případné kolísání spotřeby v různých časech. Zároveň je třeba rozlišovat provoz domácnosti během běžného pracovního dne a o víkendu, kdy se profil spotřeby energie značně odlišuje. Tímto způsobem lze vytvořit detailní hodinový profil spotřeby, který umožňuje lepší porozumění spotřebě energie v domácnosti a optimalizaci využití energie z různých zdrojů.

Spotřebič	Obvyklá hodnota příkonu [kW]
Pračka	2,2 - 2,4
Sušička	2,2 - 2,4
Myčka nádobí	1,3 - 1,6
Televizor	0,05 - 0,2
Trouba	2,5 - 3,5
Sklokeramická varná deska	2-8
Indukční varná deska	6-8
Elektrické podlahové topení	0,8 - 3
Osvětlení	0,5 - 1
Chladnička	0,1
Mrazák	0,1
Kombinovaná chladnička	0,1 - 0,3

Tab. 5.5 – Přehled významných spotřebičů energie v domácnosti (bez vytápění a ohřevu TV) včetně obvyklých hodnot příkonu [43]

V tabulce 5.5 jsou uvedeny významné spotřebiče v domácnosti, které budou zohledněny v rámci výpočetního modelu. Jak je zřejmé, v tabulce chybí některé spotřebiče, jako je mikrovlnná trouba, fén nebo rychlovarná konvice. Tyto spotřebiče mají sice poměrně vysoký jmenovitý příkon, avšak jejich provoz během dne je obvykle v řádu jednotek minut. Protože jsou využívány jen krátkodobě, jejich příspěvek k celkovému hodinovému profilu spotřeby bude zanedbatelný, a z tohoto důvodu nebudou ve výpočetním modelu zahrnuty. Jak už bylo nastíněno, spotřeba energie během dne se výrazně odlišuje mezi pracovními dny a víkendem. Kromě toho, některé spotřebiče jako pračka, sušička nebo myčka nádobí nejsou využívány denně, ale spíše 2 nebo 3krát týdně. Z tohoto důvodu bude hodinový profil spotřeby energie běžných domácích spotřebičů vytvořen pro každý den v týdnu zvlášť, aby se zohlednilo nepravidelné používání těchto spotřebičů. Další výzvou je simulace spotřeby osvětlení v domácnosti. Osvětlení bývá obvykle zapínáno ráno a večer, ale zřídka jsou všechna světla v domě sepnuta současně. Proto je důležité odhadnout soudobost využívání osvětlení, ta je převážně závislá na počtu osob v domácnosti.

Podlahová plocha objektu na obyvatele [m <sup>2</sup> /os]	Soudobost osvětlení [-]
<15 m <sup>2</sup> /os	0,6
<25 m <sup>2</sup> /os	0,4
<50 m <sup>2</sup> /os	0,2
50+ m <sup>2</sup> /os	0,1

Tab. 5.6 – Závislost soudobosti osvětlení na počtu osob v domácnosti

V předchozích podkapitolách byl podrobně vysvětlen postup výpočtu spotřeby energie pro vytápění a ohřev teplé vody. Do výpočtu však nebyla započtena spotřeba elektrické energie spojená s provozem tepelné soustavy, která tvoří nezanedbatelnou část celkové spotřeby elektrické energie rodinného domu. Do hodinového profilu spotřeby elektrické energie je proto třeba zahrnout i spotřebu oběhových čerpadel a případně spotřebu plynových zdrojů tepla, pokud jsou v daném domě nainstalovány. Tyto prvky mají vliv na celkovou spotřebu elektrické energie a jejich zanedbání by mohlo způsobit nepřesnost výpočtů.

Ve výpočetním modelu bude proto rozlišováno, zda uživatel ohřívá teplou vodu nebo vytápí pomocí plynového zdroje. V takovém případě, pak bude potřeba vypočítat spotřebu elektrické energie těchto plynových zdrojů. K výpočtu využijeme údaj o roční spotřebě zemního plynu zadaný uživatelem a také hodinový profil spotřeby energie pro vytápění či ohřev teplé vody (postup získání tohoto profilu je podrobněji popsán v kapitolách 5.1 a 5.2). Dále bude potřeba znát hodnotu elektrického příkonu daného plynového zdroje a také hodnotu topného výkonu (tyto údaje jsou jednoduše dohledatelné na štítku plynového zdroje). V neposlední řadě bude také potřeba znát alespoň rámcovou účinnost plynového zdroje. Pokud uživatel nezná přesnou hodnotu, lze pro zjednodušení využít hodnoty 80 % – 90 % pro klasické plynové kotle a až 98 % účinnost pro kondenzační plynové kotle. [44] Z těchto hodnot lze vypočítat koeficient spotřeby elektrické energie ku spotřebě zemního plynu:

$$k_e = \frac{P_{el} \cdot \eta}{P_t}$$

kde  $k_e$  je koeficient spotřeby elektrické energie ku spotřebě zemního plynu [ $\text{kW}_e/\text{kW}_t$ ],  $P_{el}$  je elektrický příkon plynového zdroje [W],  $P_t$  je tepelný výkon plynového zdroje [kW] a  $\eta$  je účinnost plynového zdroje [%]. Vynásobením koeficientu  $k_e$  s hodinovým profilem spotřeby zemního plynu získáme profil spotřeby elektrické energie plynového zdroje.

U spotřeby elektrické energie oběhových čerpadel je nutné vzít v úvahu, zda domácnost využívá cirkulačního oběhu pro teplou vodu či nikoliv. Cirkulační čerpadla se používají v domácnostech s delšími rozvody teplé vody a zajišťují neustálou dostupnost teplé vody a zabráňují jejímu vychladnutí. Pro úsporu elektrické energie lze u cirkulačních čerpadel nastavit omezený provoz v časech, kdy jich není potřeba. Ve výpočetním modelu bude uvažovaný přerušovaný provoz v rozmezí 0–5 hodin ráno. Kromě cirkulačních čerpadel jsou v každé běžné domácnosti instalována oběhová čerpadla, která zajišťují distribuci teplé vody do radiátorů nebo kohoutků. Spotřeba elektrické energie oběhových čerpadel bude záviset na profilu spotřeby teplé vody, jak pro vytápění, tak pro běžnou spotřebu. Pro výpočet spotřeby energie oběhových a cirkulačních čerpadel je třeba znát alespoň jejich přibližný příkon. Příkon oběhových čerpadel může být obtížné zjistit, a proto bude v modelu uvažováno s průměrnou hodnotou 200 W. Je však důležité mít na paměti, že tato hodnota se může lišit dle konkrétního uspořádání otopného systému v domě, a proto bude parametr příkonu oběhových čerpadel ponechán jako volitelný.

Posledním aspektem, který je třeba brát v úvahu, jsou dny, kdy jsou všichni členové domácnosti mimo rodinný dům. Přesně předpovědět, které dny budou členové domácnosti mimo objekt, není možné, avšak je důležité získat představu o průměrném počtu takových dnů v roce, zda se jedná o 20 nebo 200 dní. Z tohoto důvodu bude ve výpočetním modelu možnost vybrat dny, kdy jsou členové domácnosti nejčastěji mimo objekt. V těchto dnech se očekává minimální spotřeba elektrické energie, a to pouze ze zařízení, která zůstávají v provozu celodenně, jako je například chladnička. Navíc pokud je domácnost mimo objekt delší dobu (například 5 a více dní), pak často snižuje požadovanou teplotu uvnitř objektu. Tento efekt bude rovněž zahrnut ve výpočetním modelu.

## 5.4 Elektromobil

Jedním z atypických spotřebičů energie, který se v domácnosti v dnešní době může vyskytovat, je elektromobil, konkrétně zdroj jeho nabíjení. Elektromobil lze napájet z klasické 230 V zásuvky, avšak většina majitelů elektromobilů si nechává doma instalovat nabíjecí stanici neboli wallbox. Výkony wallboxů se pohybují v řádech kilowattů, čím větší výkon, tím rychleji jste schopni vůz nabít. Tato rovnice však neplatí do nekonečna, je důležité mít na paměti také maximální dobíjecí výkon, který je vůz schopen pojmout. Drtivá většina všech domácích wallboxů funguje na principu AC nabíjení, tedy nabíjení pomocí střídavého proudu. V tomto případě dochází k propojení elektrické sítě s palubní nabíječkou (střídač), která střídavý proud transformuje na stejnosměrný, kterým se nabíjí baterie v elektromobilu. Z tohoto důvodu je rychlost nabíjení závislá nejen na výkonu nabíjecího zdroje, ale také výkonu palubní nabíječky. Například palubní nabíječka elektromobilu ŠKODA ENYAQ iV zvládne pojmout maximální výkon 11 kW, tudíž vyšší výkon AC dobíjecí stanice již nemá smysl, neboť rychlost nabíjení bude stále stejná. V případě nabíjení z DC nabíjecí stanice je maximální výkon nabíjení vozu mnohem vyšší, neboť proud teče ze zdroje nabíjení přímo do baterie, z tohoto důvodu jsou

DC dobíjecí stanice schopny nabít elektromobil řádek desítek minut. Nevýhodou jsou však mnohonásobně vyšší investiční výdaje. [45]

Pro simulaci profilu spotřeby elektrické energie z nabíjení elektromobilu je nejprve nezbytné znát zdroj nabíjení. Ve výpočetním modelu bude uživatel moci vybírat ze tří typů nabíjecích zdrojů: klasická jednofázová 230V zásuvka, průmyslová třífázová 400V zásuvka a AC wallbox. Pokud uživatel používá elektromobil a má nainstalovaný AC wallbox doma, je nutné zadat výkon tohoto wallboxu. Při nabíjení elektromobilu z klasické 230V zásuvky bude maximální teoretický výkon záviset na kapacitě jističe, která je u klasických zásuvek obvykle 1x16 A. Z tohoto důvodu budeme při nabíjení z klasické zásuvky uvažovat maximální teoretický výkon 3,6 kW. Pokud uživatel využívá průmyslovou 3fázovou 400 V zásuvku, bude nabíjecí výkon opět závislý na kapacitě jističe. Nejčastěji se setkáváme s jističem 3x16 A, což odpovídá výkonu zhruba 11 kW. Je důležité mít na paměti také nabíjecí výkon palubní nabíječky elektromobilu. Výsledný nabíjecí výkon bude vždy nižší hodnotou z dvojice výkonu zdroje a výkonu palubní nabíječky.

Pro získání profilu spotřeby energie pro nabíjení elektromobilu je nutné znát také kapacitu baterie elektromobilu, průměrnou spotřebu na 100 km a průměrný denní nájezd (nejčastěji cesta do práce a zpět). Tyto informace umožní vypočítat počet hodin potřebných k nabití baterie na 100 %. Například při průměrné spotřebě 13 kWh/100 km a s průměrným denním nájezdem 60 km, uživatel bude potřebovat nabít 7,8 kWh elektrické energie. Poté se v závislosti na výkonu nabíjecího zdroje a výkonu palubní nabíječky vypočítá potřebný čas k nabití baterie zpět na 100 %. Od uživatele už tak bude potřeba získat pouze informaci o tom, v kolik hodin začíná elektromobil nejčastěji nabíjet a také v jaké dny nejčastěji připojuje elektromobil k síti (v tomto kroku ani tak nejde o jaké dny se jedná, spíše jde o počet nabití za týden). Na základě těchto informací lze vypočítat profil spotřeby energie spotřebované nabíjením elektromobilu. Aby byl výsledný profil porovnatelný s ostatními spotřebiči v domácnosti, je třeba ještě poměrově porovnat nabíjecí výkon s ostatními spotřebiči.

## 5.5 Klimatizace

Dalším z netypických spotřebičů v domácnosti je klimatizace, která nebývá v provozu po celý rok, avšak nejčastěji pouze v letních měsících. Spotřeba energie klimatizační jednotky však není nezanedbatelná, a z tohoto důvodu je třeba klimatizaci zahrnout do výpočetního modelu. Existují dva hlavní typy klimatizačních jednotek, které se liší v závislosti na svém provozu:

- 1) **Invertorové klimatizační jednotky** – Moderní typ klimatizace s vlastní regulací dle teploty v místnosti
- 2) **Klimatizační jednotky ON-OFF** – Jednodušší konstrukce s dvěma režimy provozu: zapnuto/vypnuto.

V rámci zjednodušení budeme uvažovat pouze klimatizace typu ON-OFF, jež udržují stálý výkon v průběhu provozu. Princip výpočtu profilu spotřeby energie klimatizační jednotky je založen na metodě průměrných denních teplot. Pro každý den v roce se vypočítá průměrná venkovní teplota. Pokud tato teplota přesáhne požadovanou teplotu uvnitř objektu, pak pravděpodobně dojde k aktivaci klimatizační jednotky. Na základě časů provozu a výkonu klimatizační jednotky lze následně vypočítat hodinový profil spotřeby. [46]

# 6 Výpočetní aplikace

---

Součástí této kapitoly bude přesný popis všech dílčích výpočtů a postupů využitých ve výpočetní aplikaci. Hlavním cílem modelu je přesně vyhodnotit energetickou bilanci objektu a nalézt optimální návrh fotovoltaického systému včetně posouzení možnosti využití tepelného čerpadla jako zdroje pro vytápění a ohřev teplé vody v rodinném domě.

## 6.1 Vstupní předpoklady

Rozsah aplikace výpočetního modelu je velmi široký, protože každý rodinný dům má své specifika. Aby bylo možné model generalizovat a zohlednit různé varianty, je třeba definovat několik vstupních předpokladů. Je důležité si uvědomit, že cílem výpočetního nástroje není dosáhnout přesného výsledku, ale spíše poskytnout orientační odhad. Účelem aplikace není najít ideální řešení, ale spíše doporučit uživateli ekonomicky výhodnou konfiguraci fotovoltaického a topného systému. Na základě výsledků modelu si uživatel může nechat sestavit cenovou nabídku od instalační firmy a následně znovu vyhodnotit ekonomickou efektivitu.

### Vstupní předpoklady:

- 1) **Jsou uvažovány průměrné a neměnné investiční výdaje pro všechny instalované technologie** – Investiční výdaje spojené s instalací se pro každý rodinný dům budou mírně lišit, přesnou výši však nelze nikdy určit, proto je zaveden tento zjednodušující předpoklad.
- 2) **Maximální počet fotovoltaických panelů, který lze na střechu umístit je odhadnut na základě plochy střechy a její využitelnosti** – Každá střecha je naprosto odlišná a k určení maximálního osazení je potřeba znát její statiku a přesné rozměry, z tohoto důvodu je maximální osazení určeno pouze rámcově.
- 3) **V případě instalace tepelného čerpadla se uvažuje vždy využití vyrobeného tepla pro ohřev TV i pro vytápění.**
- 4) **V případě tepelných čerpadel země – voda se uvažuje pouze s typem vrtů, nikoliv plošných kolektorů.**
- 5) **V případě instalace tepelného čerpadla voda – voda nebo země – voda se uvažuje, že dané tepelné čerpadlo je do zvoleného objektu možné nainstalovat.**
- 6) **Výpočetní model zanedbává variantu ukládání přebytků elektrické energie do teplé vody po instalaci tepelného čerpadla** – Ukládání přebytků do teplé vody je z hlediska technologického výpočtu poměrně složité a bylo by potřeba znát přesné ztráty v akumulární nádrži, z tohoto důvodu je tato varianta zanedbána. Do budoucna se však jedná o možnost, jak výpočetní model zpřesnit.
- 7) **V případě instalace tepelného čerpadla se uvažuje vždy s topným systémem využívající dvě oddělené akumulární nádrže pro vytápění a ohřev TV.**
- 8) **V případě instalace tepelného čerpadla se uvažují pouze 3f TČ bez možnosti regulace výkonu** – Zvolená intervalová metoda výpočtu totiž není přizpůsobena pro tepelná čerpadla s možností regulace výkonu.

- 9) **Je uvažována neměnná spotřeba energie domácnosti v průběhu doby porovnání.**

## 6.2 Energetická bilance

V této podkapitole bude popsána metodika rozpočítání ročních spotřeb energií jednotlivých nosičů energie do hodinového profilu a kategorií spotřeby. Pro přehlednost bude tato podkapitola rozdělena do tří částí dle typu nosiče energie, konkrétně na elektrickou energii, zemní plyn a tuhá paliva.

### 6.2.1 Elektrická energie

Jak již bylo nastíněno v předchozí kapitole, základním stavebním kamenem optimalizace výkonu fotovoltaických elektráren (FVE) je pečlivé určení hodinové spotřeby elektřiny objektu. Prvním krokem je identifikace různých spotřebičů elektrické energie, které se v domácnostech mohou vyskytovat. Pro účely této diplomové práce byla spotřeba elektrické energie rozdělena do následujících kategorií:

- 1) **Běžné spotřebiče** – Do této kategorie se řadí všechny klasické spotřebiče v domácnosti dle tabulky 5.5, ale také elektromobil, klimatizace, oběhová a cirkulační čerpadla či elektrická spotřeba plynových zdrojů tepla.
- 2) **Vytápění** – Do této kategorie se řadí spotřeba elektrického zdroje určená pro vytápění objektu.
- 3) **Ohřev teplé vody** – Do této kategorie se řadí spotřeba elektrického zdroje určená pro ohřev teplé vody.

V tento moment je potřeba správně rozdělit roční spotřebu zadanou uživatelem do výše uvedených tří kategorií. V kapitole 5 byl popsán postup, jakým lze vypočítat teoretickou potřebnou energii pro vytápění  $T_{VYT}$  a ohřev vody  $T_{TV}$  v rodinném domě na základě několika vstupních parametrů. Teoretickou roční spotřebu pro běžné spotřebiče  $T_S$  lze vypočítat na základě jejich jmenovitého výkonu a profilu spotřeby. Tím pádem jsou v této fázi známy teoretické hodnoty spotřeby energie pro vytápění, ohřev teplé vody a pro běžné spotřebiče. Současně jsou známy i přesné celkové roční spotřeby elektrické energie v rámci vysokého a nízkého tarifu, spolu s přibližnými časy spínání HDO. Dále známe přibližné hodinové profily spotřeby energie pro všechny 3 kategorie (viz podkapitoly 5.1, 5.2 a 5.3), tyto profily však bude třeba přepočítat, neboť po vynásobení profilu celkovou roční spotřebou elektrické energie, by neseděla celková roční spotřeba ve vysokém a nízkém tarifu. Pro dosažení co nejpřesnějšího výpočtu je třeba zachovat stejnou úroveň spotřeby vysokého a nízkého tarifu, jakou uživatel zadal, a současně se snažit dodržet poměry mezi spotřebou pro vytápění, ohřev teplé vody a běžné spotřebiče podle teoretického výpočtu. Zde nastává několik problémů, které je třeba vyřešit.

Prvním problémem jsou akumulární zdroje vytápění či ohřevu teplé vody. V případě, kdy uživatel využívá k ohřevu teplé vody nebo k vytápění akumulární zdroj, pak tento zdroj je spínán v časech, kdy je aktivní systém HDO, což znamená, že drtivá většina spotřeby daného zdroje je v časech, kdy je aktivní nízký tarif distribuční sazby. Z toho vyplývá, že se mohou

vyskytnout 4 různé druhy zapojení otopné soustavy, přičemž pro každý typ je potřeba rozdělit spotřebu elektrické energie jiným způsobem.

- 1) Akumulační zdroj pouze pro vytápění
- 2) Akumulační zdroj pouze pro ohřev teplé vody
- 3) Oddělená akumulace pro vytápění a ohřev teplé vody
- 4) Topný systém bez akumulace

Je třeba také určit, jaká část spotřeby elektřiny v nízkém tarifu připadá na každou kategorii spotřeby. K tomu budou použity hodinové profily spotřeby energie pro spotřebiče, vytápění a ohřev teplé vody, jejichž získání je popsáno v kapitole 5. Tyto jednotkové profily budou následně vynásobeny teoreticky vypočítanou potřebou energie pro danou kategorii. Poté se spočítá poměrný koeficient spotřeby elektrické energie v nízkém tarifu  $k_{NT}$  jako celková spotřeba jedné z kategorií v nízkém tarifu k celkové spotřebě všech tří kategorií v nízkém tarifu. Například, pokud je v rodinném domě instalován systém s akumulací nádrží pro vytápění a průtokovým systémem pro ohřev teplé vody, lze očekávat, že poměr spotřeby elektřiny pro vytápění v nízkém tarifu bude relativně vysoký (až  $k_{VYT,NT} = 90\%$ ), zatímco zbytek spotřeby v nízkém tarifu bude připadat na ohřev TV a další spotřebiče. Spotřeba elektrické energie pro vytápění ve vysokém tarifu bude naopak téměř nulová, neboť akumulací kotel je spínán pouze v nízkém tarifu. Důležité je také rozlišovat, zda zdroj pro vytápění či ohřev teplé vody je elektrický nebo nikoliv.

$$k_{VYT,NT} = \sum_{i=1}^{8760} \frac{T_{VYT,NT,i}}{(T_{VYT,NT,i} + T_{TV,NT,i} + T_{S,NT,i})} \quad 6.1$$

$$k_{TV,NT} = \sum_{i=1}^{8760} \frac{T_{TV,NT,i}}{(T_{VYT,NT,i} + T_{TV,NT,i} + T_{S,NT,i})} \quad 6.2$$

$$k_{S,NT} = \sum_{i=1}^{8760} \frac{T_{S,NT,i}}{(T_{VYT,NT,i} + T_{TV,NT,i} + T_{S,NT,i})} \quad 6.3$$

$k_{VYT,NT}$	Koeficient spotřeby elektrické energie v nízkém tarifu pro vytápění	[-]
$k_{TV,NT}$	Koeficient spotřeby elektrické energie v nízkém tarifu pro ohřev TV	[-]
$k_{S,NT}$	Koeficient spotřeby elektrické energie v nízkém tarifu pro ostatní spotřebiče	[-]
$T_{VYT,NT,i}$	Teoretická potřeba elektrické energie pro vytápění v nízkém tarifu v hodině $i$	[MWh]
$T_{TV,NT,i}$	Teoretická potřeba elektrické energie pro ohřev TV v nízkém tarifu v hodině $i$	[MWh]
$T_{S,NT,i}$	Teoretická potřeba elektrické energie ostatních spotřebičů v nízkém tarifu v hodině $i$	[MWh]

Jakmile je znám koeficient spotřeby elektrické energie v nízkém tarifu pro všechny tři kategorie, pak je již metodika přerozdělení energie prostá. V případě, že je daný zdroj akumulací, pak se roční spotřeba energie vypočítá jako celková roční spotřeba elektrické energie v nízkém tarifu vynásobeno koeficientem spotřeby elektrické energie v nízkém tarifu pro příslušnou kategorii. Zbylá roční spotřeba elektrické energie se následně dle teoreticky vypočtených hodnot poměrově přerozdělí pro zbylé kategorie. V případě, že zbylá roční spotřeba elektrické energie je nižší než teoreticky vypočtené hodnoty, pak má vyšší váhu teoreticky vypočtená spotřeba elektrické energie pro spotřebiče, jelikož tato hodnota bude v porovnání s teoreticky vypočtenou spotřebou energie pro vytápění či ohřev vody vždy přesnější. Konkrétní rozdělení vah priority je 90 % pro spotřebiče a 10 % pro vytápění nebo ohřev TV. Pro lepší pochopení je metodika výpočtu popsána v následující tabulce:

	Vytápění	Ohřev TV	Spotřebiče
<b>Akumulace Vytápění</b>	1 $S_{VYT} = k_{VYT,NT} \cdot S_{NT}$	3 $S_{TV} = S_C - S_{VYT} - S_S$	2 If $(S_C - S_{VYT}) > (T_S + T_{TV})$ Then $S_S = \frac{T_S}{(T_S + T_{TV})} \cdot (S_C - S_{VYT})$ Else $S_S = 0,9 \cdot MIN((S_C - S_{VYT}); T_S)$
<b>Akumulace Ohřev TV</b>	3 $S_{VYT} = S_C - S_{TV} - S_S$	1 $S_{TV} = k_{TV,NT} \cdot S_{NT}$	2 If $(S_C - S_{TV}) > (T_S + T_{VYT})$ Then $S_S = \frac{T_S}{(T_S + T_{VYT})} \cdot (S_C - S_{TV})$ Else $S_S = 0,9 \cdot MIN((S_C - S_{TV}); T_S)$
<b>Akumulace Ohřev TV + Vytápění</b>	1 $S_{VYT} = k_{VYT,NT} \cdot S_{NT}$	1 $S_{TV} = k_{TV,NT} \cdot S_{NT}$	2 $S_S = S_C - S_{TV} - S_{VYT}$
<b>Bez akumulace</b>	2 $S_{VYT} = \frac{T_{VYT}}{(T_{VYT} + T_{TV})} \cdot (S_C - S_S)$	3 $S_{TV} = S_C - S_S - S_{VYT}$	1 If $S_C > (T_S + T_{VYT} + T_{TV})$ Then $S_S = \frac{T_S}{(T_S + T_{VYT} + T_{TV})} \cdot S_C$ Else $S_S = 0,9 \cdot MIN(S_C; T_S)$

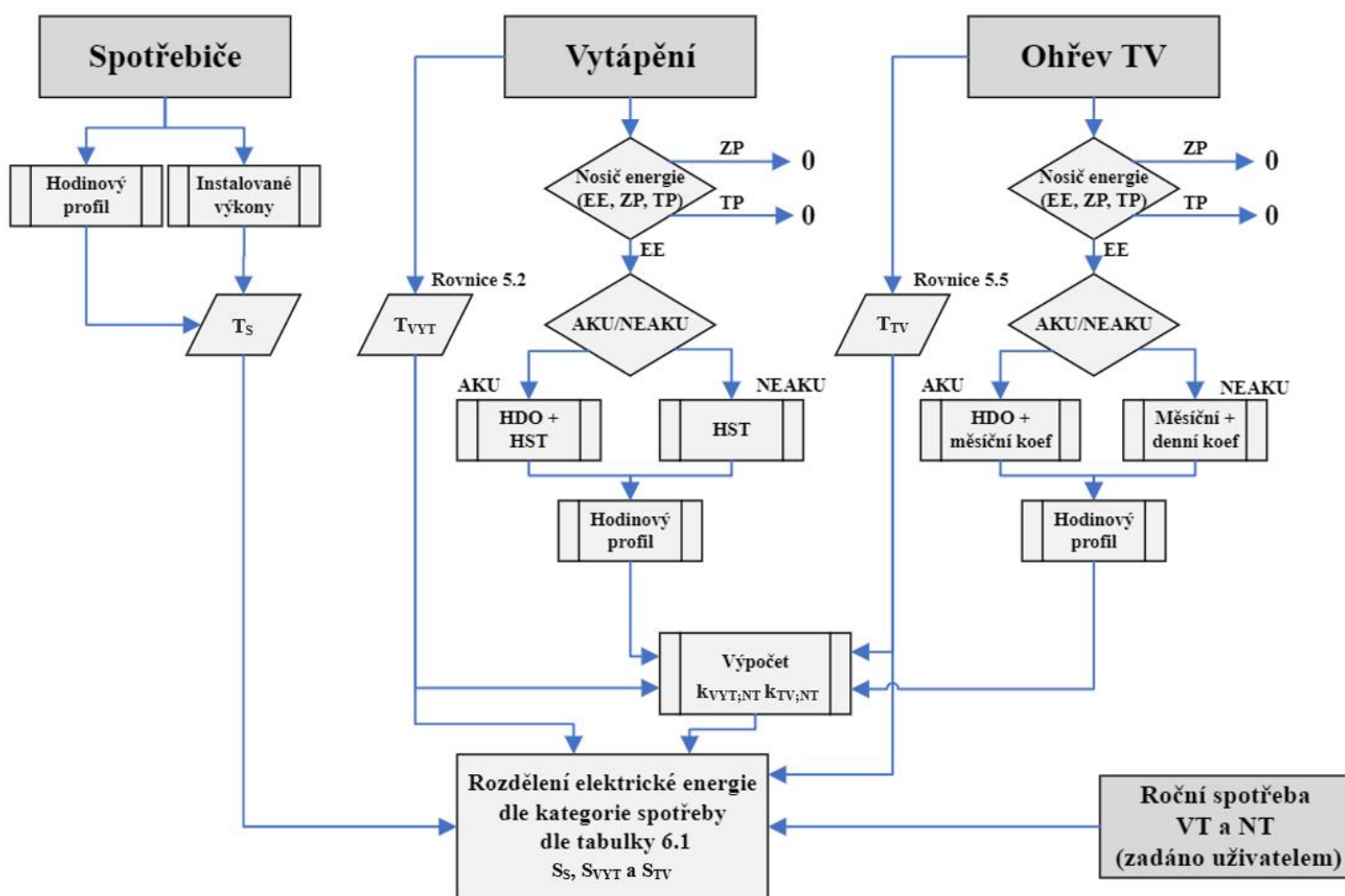
Tab. 6.1 – Metodika výpočtu rozdělení elektrické energie dle kategorie spotřeby (vytápění, ohřev TV a spotřebiče)

$S_C$	Celková roční spotřeba elektrické energie (vysoký i nízký tarif)	[MWh]
$S_{NT}$	Celková roční spotřeba elektrické energie v nízkém tarifu	[MWh]
$S_{VYT}$	Celková roční spotřeba elektrické energie pro elektrický zdroj vytápění	[MWh]



$S_{TV}$	Celková roční spotřeba elektrické energie pro elektrický zdroj ohřevu TV	[MWh]
$S_S$	Celková roční spotřeba elektrické energie pro ostatní domácí spotřebiče	[MWh]
$T_{VYT}$	Teoreticky vypočtená potřeba energie pro vytápění snižená o energii dodanou z ostatních zdrojů	[MWh]
$T_{TV}$	Teoreticky vypočtená potřeba energie pro ohřev TV snižená o energii dodanou z ostatních zdrojů	[MWh]
$T_S$	Teoreticky vypočtená potřeba elektrické energie pro ostatní spotřebiče	[MWh]

V pravém horním rohu tabulky je vždy uvedeno číslo, které znázorňuje, v jakém pořadí je potřeba rovnice počítat. Pro lepší představivost je postup výpočtu celkových ročních spotřeb elektrické energie pro všechny tři kategorie spotřeby znázorněn a následujícím grafu:

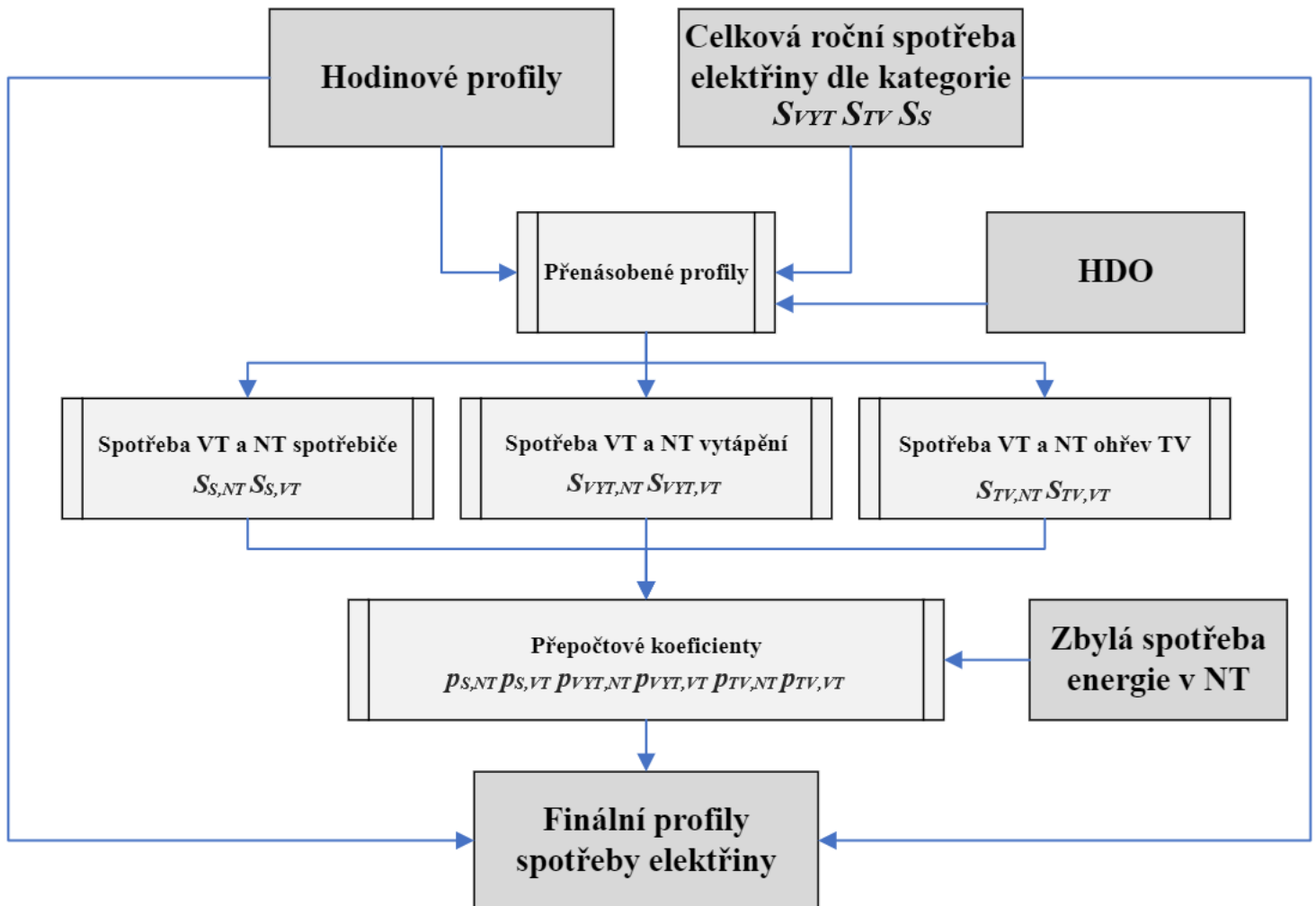


Obr. 6.1 – Schematický graf postupu výpočtu celkových ročních spotřeb elektrické energie pro vytápění, ohřev TV a spotřebiče

V tento okamžik jsou známy celkové roční spotřeby elektrické energie pro všechny tři kategorie ( $S_S$ ,  $S_{TV}$  a  $S_{VYT}$ ). Po vynásobení hodinového profilu celkovou roční spotřebou příslušné kategorie však zbývá vyřešit ještě poslední úkol, a to rozdělení zbylé spotřeby v nízkém tarifu mezi běžné spotřebiče a zdroje tepla bez akumulace, tak aby seděla roční spotřeba v nízkém a vysokém tarifu, kterou zadal uživatel. V prvním kroku je potřeba vypočítat aktuální spotřebu ve vysokém a nízkém tarifu pro každou kategorii a následně opět vypočítat koeficient spotřeby elektrické energie v nízkém tarifu ( $k_{S,NT}$ ,  $k_{TV,NT}$  a  $k_{VYT,NT}$ ), nyní však už z profilů skutečných

ročních spotřeb nikoliv z teoretických. Dále je potřeba vypočítat zbylou elektrickou energii v nízkém tarifu, kterou je ještě možno přerozdělit, ta se získá jako rozdíl celkové roční spotřeby v nízkém tarifu zadané uživatelem a celkové roční spotřeby akumulčních zdrojů tepla (ať už zdroj pro vytápění, ohřev či kombinace).

V posledním kroku se porovná spotřeba každé kategorie v nízkém tarifu se zbylou přidělenou elektrickou energií v nízkém tarifu. Z tohoto poměru se vypočítá koeficient pro přepočítání spotřeby v nízkém a vysokém tarifu, a to tak, aby po vynásobení hodinového profilu tímto koeficientem byla roční spotřeba ve VT a NT stejná, jako zadal uživatel. Pro lepší představu je opět uveden schématický graf postupu:



Obr. 6.2 – Schématický graf postupu přepočtu celkových hodinových průběhů spotřeby elektrické energie

$S_{S,NT}$	Celková roční spotřeba ostatních spotřebičů v nízkém tarifu	[MWh]
$S_{S,VT}$	Celková roční spotřeba ostatních spotřebičů ve vysokém tarifu	[MWh]
$S_{VYT,NT}$	Celková roční spotřeba elektrického zdroje na vytápění v nízkém tarifu	[MWh]
$S_{VYT,VT}$	Celková roční spotřeba elektrického zdroje na vytápění ve vysokém tarifu	[MWh]
$S_{TV,NT}$	Celková roční spotřeba elektrického zdroje na ohřev TV v nízkém tarifu	[MWh]
$S_{TV,VT}$	Celková roční spotřeba elektrického zdroje na ohřev TV ve vysokém tarifu	[MWh]

$p_{S,NT}$	Koeficient přepočtu spotřeby ostatních spotřebičů v nízkém tarifu	[-]
$p_{S,VT}$	Koeficient přepočtu spotřeby ostatních spotřebičů ve vysokém tarifu	[-]
$p_{VYT,NT}$	Koeficient přepočtu spotřeby elektrického zdroje na vytápění v nízkém tarifu	[-]
$p_{VYT,VT}$	Koeficient přepočtu spotřeby elektrického zdroje na vytápění ve vysokém tarifu	[-]
$p_{TV,NT}$	Koeficient přepočtu spotřeby elektrického zdroje na ohřev TV v nízkém tarifu	[-]
$p_{TV,VT}$	Koeficient přepočtu spotřeby elektrického zdroje na ohřev TV ve vysokém tarifu	[-]

## 6.2.2 Zemní plyn

Dalším běžně využívaným zdrojem energie v rodinných domech je zemní plyn. Na rozdíl od elektřiny je rozdělení spotřeby zemního plynu v domácnosti podstatně jednodušší, neboť zemní plyn je určen pouze k vytápění nebo ohřevu teplé vody. Navíc není potřeba modelovat hodinový profil spotřeby, jako u elektřiny, jelikož tato informace není nezbytná pro optimalizaci fotovoltaického systému.

Pro výpočet je tedy dostačující znát celkovou roční spotřebu zemního plynu a informaci o tom, zda se v dané domácnosti využívá zemní plyn k vytápění či ohřevu teplé vody. Rozdělení roční spotřeby zemního plynu je pak prováděno na základě teoreticky vypočtené spotřeby energie pro vytápění a ohřev teplé vody, a to podle následujících vzorců:

$$S_{ZP,VYT} = \frac{T_{VYT}}{(T_{VYT} + T_{TV})} \cdot S_{ZP} \quad 6.4$$

$$S_{ZP,TV} = \frac{T_{TV}}{(T_{VYT} + T_{TV})} \cdot S_{ZP} \quad 6.5$$

kde  $S_{ZP,VYT}$  je celková roční spotřeba zemního plynu pro vytápění [MWh],  $S_{ZP,TV}$  je celková roční spotřeba zemního plynu pro ohřev teplé vody [MWh],  $S_{ZP}$  je celková roční spotřeba zemního plynu [MWh],  $T_{VYT}$  je teoreticky vypočtená roční spotřeba energie pro vytápění [MWh] a  $T_{TV}$  je teoreticky vypočtená roční spotřeba energie pro ohřev teplé vody [MWh].

## 6.2.3 Tuhá paliva

Podobným způsobem lze také provést rozdělení roční spotřeby tuhých paliv v domácnosti. Nejprve je nutné získat od uživatele informace o tom, jaký druh tuhého paliva v domácnosti používá, a dále odhadnout jeho roční spotřebu v kilogramech. Poté lze využít výhřevnost daného typu paliva k výpočtu roční spotřeby energie. V následující tabulce je přehled výhřevnosti podle typu paliva:

Výhřevnost tuhých paliv [MJ/kg]	
Hnědé uhlí	13,39
Černé uhlí	22,54
Dřevo	14,6
Dřevěné brikety	16,21
Dřevěné pelety	16,21
Štěpka	12,5

Tab. 6.2 – Přehled výhřevnosti dle typu tuhého paliva [47]

Následně lze stejným způsobem rozdělit spotřebu energie z tuhých paliv na vytápění a ohřev teplé vody:

$$S_{TP,VYT} = \frac{T_{VYT}}{(T_{VYT} + T_{TV})} \cdot S_{TP}$$

6.6

$$S_{TP,TV} = \frac{T_{TV}}{(T_{VYT} + T_{TV})} \cdot S_{TP}$$

6.7

kde  $S_{TP,VYT}$  je celková roční spotřeba energie z tuhých paliv pro vytápění [MWh],  $S_{TP,TV}$  je celková roční spotřeba energie z tuhých paliv pro ohřev teplé vody [MWh] a  $S_{TP}$  je celková roční spotřeba energie z tuhých paliv [MWh].

Na závěr, když máme k dispozici všechny individuální spotřeby energie podle energetických zdrojů pro vytápění a ohřev teplé vody, můžeme spočítat celkovou roční spotřebu energie pro vytápění a celkovou roční spotřebu energie pro ohřev teplé vody.

$$E_{VYT} = S_{VYT} + S_{ZP,VYT} + S_{TP,VYT}$$

6.8

$$E_{TV} = S_{TV} + S_{ZP,TV} + S_{TP,TV}$$

6.9k

kde  $E_{VYT}$  je celková roční potřeba energie k vytápění objektu [MWh] a  $E_{TV}$  je celková roční potřeba energie k ohřevu teplé vody v objektu [MWh].

### 6.3 Fotovoltaický systém

V následující sekci bude podrobně rozebrán výpočet výroby fotovoltaického zdroje a jeho následné využití, spolu s funkcí bateriového úložiště.

### 6.3.1 Výroba elektrické energie

Pro stanovení hodinové výroby fotovoltaického systému v průběhu roku bude využit online výpočetní PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*). PVGIS je nástroj vyvinutý Evropskou komisí pro analýzu využití solární energie. Poskytuje uživatelům podrobné informace o potenciálu solární energie na daném místě a umožňuje vypočítat výkon a výnosy solárních fotovoltaických systémů v různých částech Evropy a zemí mimo ni. PVGIS umožňuje uživatelům zadat geografické souřadnice nebo vybrat místo na mapě, a poté získat informace o slunečním záření, výkonu fotovoltaických panelů nebo také o očekávaných výnosech elektřiny z fotovoltaického systému na základě geografické polohy, sklonu střechy, orientace a dalších faktorů. Tento nástroj je volně dostupný a poskytuje užitečné informace pro rozhodování o instalaci fotovoltaických systémů, plánování energetických projektů a optimalizaci využití solární energie pro různé účely. [48]

Problémem však je, že výpočetní nástroj Excel neumožňuje online propojení s nástrojem PVGIS, tak aby bylo možné nasimulovat hodinovou výrobu fotovoltaiky v přesné lokalitě objektu. Proto je nezbytné přijmout zjednodušující opatření a rozdělit výrobu elektřiny z fotovoltaických panelů do geografických sektorů, konkrétně do všech 76 okresů v České republice, včetně Prahy (celkem tedy 77 sektorů).



Obr. 6.3 – Mapa okresů České republiky [49]

Dalšími vstupními parametry výpočetního nástroje PVGIS jsou orientace a sklon panelů. Sklon panelů je závislý na sklonu střechy rodinného domu, tudíž tento parametr bude ponechán jako volitelný. Důležité je si však uvědomit, že sklon panelů značně ovlivňuje účinnost výroby fotovoltaického systému. Z výpočetního nástroje PVGIS byla pro každý okres vytažena výroba za optimálního sklonu panelu, a tudíž bude potřeba tuto výrobu přepočítat o ztráty způsobené vychýlením panelu od optimálního sklonu. K tomu bude využita následující tabulka:

Vliv orientace a sklonu na výkon solárních panelů (% ideálního stavu)										
	VERTIK.	80	70	60	50	40	30	20	10	HORIZ.
VÝCHOD	58	65	70	76	80	84	86	88	90	90
JIOVÝCHOD	69	77	84	89	93	96	96	96	94	90
JIH	71	80	87	93	97	100	100	98	96	90
JIOZÁPAD	67	75	82	87	92	95	96	96	94	90
ZÁPAD	56	63	69	74	78	82	86	87	89	90

Obr. 6.4 – Vliv orientace a sklonu panelu na jejich výkon [50]

Jak je z obrázku patrné, optimální sklon v podmínkách České republiky je okolo 40° a optimální orientace je směrem na jih. To vede k dalšímu problému, který je třeba vyřešit, a to orientace fotovoltaického systému. Možnost nastavení polohy panelů je omezena uspořádáním střechy. Z tohoto důvodu bude ve výpočetním modelu umožněna volba orientace střechy na východ, jihovýchod, jih, jihozápad, západ a také kombinovaná orientace východ-západ. Umístění panelů směrem na sever nebude bráno v úvahu z důvodů nízké ekonomické efektivity. V případě, že je střecha domu členitá a nabízí například možnost využití ploch na východě i na jihu, může uživatel zvolit orientaci směrem na jihovýchod. Celková roční produkce fotovoltaického systému se získá tak, že dle okresu a orientace střechy se vybere příslušný hodinový profil získaný pomocí nástroje PVGIS a tento profil se vynásobí faktorem snížení účinnosti vlivem sklonu panelů. Výsledný profil se na závěr vynásobí instalovaným výkonem, čímž se získá relativně přesný odhad výroby solární elektrárny během roku. V případě, kdy rodinný dům disponuje plochou střechou, bude uvažováno s optimální orientací směrem na jih a optimálním sklonem 40°. Model také zohledňuje degradaci účinnosti fotovoltaických panelů, a to ve výši 0,5 %/rok. [51]

Posledním úkolem je určit maximální možné osazení střechy fotovoltaickou elektrárnou. Stanovení přesného maximálního instalovaného výkonu, který lze umístit na střechu, je komplexní úloha, která závisí na mnoha faktorech, jako je statická stabilita, rozložení střešních prvků, přítomnost střešních oken, komínů a dalších proměnných. Tato problematika však přesahuje rámec této diplomové práce. Proto bude ve výpočetním modelu odhad maximálního osazení střechy proveden jednodušeji, a to na základě dostupné plochy střechy a její využitelnosti pro solární panely. Důležitým údajem je také informace o tom, kolik plochy potřebuje jeden instalovaný kilowatt peak (kW<sub>p</sub>) solárních panelů. Mezi nejčastěji používané solární panely instalované na rodinných domech jsou panely od výrobce Trina Solar Residential 365 W, které mají instalovaný výkon 365 W<sub>p</sub> a zabírají plochu 1,84 m<sup>2</sup>. Proto bude ve výpočetním modelu předpokládáno, že pro instalaci 1 kW<sub>p</sub> je zapotřebí 5,05 m<sup>2</sup> plochy. [52]

Pokud uživatel nemá k dispozici přesný údaj o ploše střechy, může tento údaj zanedbat. Výpočetní nástroj navrhne optimální počet solárních panelů z hlediska ekonomické efektivity, aniž by bral v úvahu, zda je možné dané množství panelů na střechu fyzicky umístit či nikoliv. V případě, že uživatel později zjistí, že optimální počet panelů nelze na střechu umístit, pak je optimální zvolit maximální možné množství panelů, které je možné na střechu nainstalovat.

### 6.3.2 Bateriový systém

Aby bylo možné optimálně navrhnout velikost bateriového systému, je potřeba nejdříve znát přebytečnou energii z fotovoltaické elektrárny na rodinném domě. Profil přebytků a nedostatků elektrické energie získáme rozdílem hodinového profilu výroby FVE (popis získání tohoto profilu byl popsán v předchozí kapitole) a profilu hodinové spotřeby objektu (viz kapitola 6.1.1) podle následujících vzorců:

$$P = \sum_{t=1}^{8760} \text{MAX}(0; V_t - S_t)$$

6.10

$$N = \sum_{t=1}^{8760} \text{MAX}(0; S_t - V_t)$$

6.11

kde  $P$  jsou celkové roční přebytky energie z produkce FVE [MWh],  $N$  jsou celkové roční nedostatky energie potřebné pokrýt se sítě [MWh],  $S_t$  je spotřeba elektrické energie v objektu v hodině  $t$  [MWh] a  $V_t$  je výroba elektrické energie FVE v hodině  $t$  [MWh].

V situaci, kdy v určité hodině dojde k nadprodukcí energie, je tato nadbytečná energie ukládána do bateriového úložiště, za předpokladu, že kapacita baterie ještě není plně vyčerpána. V opačném scénáři, kdy v danou hodinu dochází k nedostatku elektrické energie, je tato uložená energie z baterie odebírána, až do okamžiku, kdy je baterie zcela vybita. Pro zachování dlouhodobé životnosti baterie je zohledňováno, že maximální hloubka vybití baterie je omezena na 20 % z celkové kapacity, zatímco maximální nabití je omezeno na 95 % z celkové kapacity baterie, jak je popsáno v kapitole 2.1. To znamená, že například baterii s kapacitou 10 kWh by bylo možné vybit pouze na úroveň 2 kWh a nabít pouze na úroveň 9,5 kWh. Ve výpočetním modelu bude také zohledněna účinnost baterie a degradace kapacity baterie viz kapitola 2.1.

Kapacita baterie je proměnnou položkou výpočetního modelu, která je z hlediska ekonomické efektivity vhodná volit v rozmezí jednonásobek až dvojnásobek instalovaného výkonu fotovoltaických panelů. Součástí výpočetního modelu je také zohlednění varianty bez instalace bateriového úložiště.

Po odečtení vlivu baterie na tok elektrické energie v rodinném domě je nezbytné opětovně vyčíslit přebytky elektrické energie, které budou prodány do sítě, a nedostatky elektrické energie, které bude naopak třeba ze sítě nakoupit. Maximální rezervovaný výkon, který lze do

sítě připojit, bývá často omezen volnou kapacitou sítě v odběrném místě. Může se také stát, že v daném odběrném místě budou povoleny pouze nulové přetoky. Pokud uživatel disponuje touto informací, může ji zadat do výpočetního modelu. V opačném případě bude uvažováno s maximálním přetokem ve výši 50 % instalovaného výkonu. Tento postup je zvolen z důvodu, že pokud je maximální rezervovaný výkon uvedený v žádosti o připojení vyšší než 50 % instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny, nelze získat dotační podporu z titulu Nová zelená úsporám. V případě přetoku vyššího, než je maximální rezervovaný výkon uvedený ve smlouvě o připojení, jsou aplikovány relativně vysoké poplatky regulované Energetickým regulačním úřadem.

## 6.4 Topný systém s využitím tepelného čerpadla

Postup výpočtu výroby tepla a spotřeby elektrické energie TČ je založený na intervalové metodě popsané v technické normalizační informaci TNI 73 0351, avšak výroba tepla nebude rozdělena do teplotních intervalů o velikost 1 K, nýbrž bude vypočtena pro každou hodinu v roce zvlášť. To znamená, že výpočetní interval nebude 1 K, ale 1 h. Toto opatření je nutné provést, aby bylo možné přesně vypočítat přebytečnou elektrickou energii z FVE. Na správnost výpočtu však tato změna nebude mít žádný zásadní vliv. I když je metoda postupu logická a správná z fyzikálního hlediska, jedná se o zjednodušený výpočet, který zahrnuje několik vstupních předpokladů. Jedním z těchto předpokladů, jak již bylo zmíněno v kapitole 4.3, je provoz tepelného čerpadla s konstantním výkonem. Dalším předpokladem je zanedbání ztrát v akumulací nádrži. I přes tyto zjednodušení je výpočetní metoda považována za velmi přesnou. [53]

V prvním kroku je potřeba znát hodinový profil potřeby energie na vytápění a ohřev teplé vody. Hodinový profil potřeby energie pro vytápění se získá vynásobením profilu získaného hodinostupňovou metodou (viz kapitola 5.1) a parametrem celkové roční potřeby energie k vytápění objektu  $E_{VYT}$  (viz kapitola 6.1). Podobným způsobem se získá hodinový profil potřeby energie pro přípravu teplé vody, a to vynásobením denních a měsíčních profilů spotřeby teplé vody s parametrem celkové roční potřeby energie pro ohřev teplé vody  $E_{TV}$ . Jakmile jsou známy tyto hodinové profily, je potřeba získat hodinový profil teploty na vstupu do výparníku  $t_{v1}$  [°C] a teploty na výstupu z kondenzátoru  $t_{k2}$  [°C].

Teplota nízkopotenciálního zdroje tepla během roku neboli teplota na vstupu do výparníku  $t_{v1}$  má v průběhu roku významný vliv na účinnost a výkon tepelného čerpadla. Aby byl výpočet produkce tepla z tepelného čerpadla co nejpřesnější, je nezbytné stanovit pro každou hodinu v roce teplotu na vstupu do výparníku, která se mění v závislosti na typu tepelného čerpadla. Následující tabulka obsahuje příslušné vztahy, které jsou v souladu s normou ČSN EN 15316-4-2: [53]

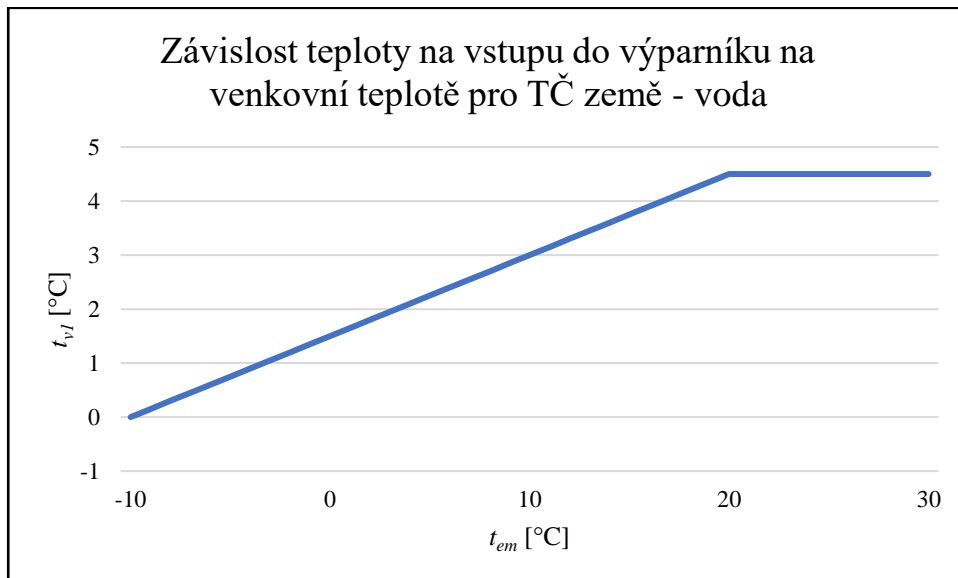
Typ tepelného čerpadla	Teplota na vstupu do výparníku
Vzduch – Voda	$t_{v1,i} = t_{em,i}$
Voda – Voda	$t_{v1,i} = \text{průměrná roční teplota vzduchu}$
Země – Voda	$t_{v1,i} = \max(0 \text{ °C}; \min(0,15 \cdot t_{em,i} + 1,5 \text{ °C}; 4,5 \text{ °C}))$

Tab. 6.3 – Závislost teploty na vstupu do výparníku na typu zdroje tepla [53]



kde  $t_{v1,i}$  je teplota na vstupu do výparníku v čase  $i$  [°C] a  $t_{em,i}$  je venkovní teplota vzduchu v čase  $i$  [°C].

Jak je z tabulky patrné, v případě TČ vzduch – voda je teplota na vstupu do výparníku úměrná venkovní teplotě, případě TČ voda – voda lze použít zjednodušující předpoklad teploty vody rovné průměrné teplotě vzduchu. Nejzajímavější je určení teploty  $t_{v1}$  pro TČ využívající jako zdroj tepla zemský povrch. Dle vztahu v tabulce 6.3 se teplota zdroje může pohybovat v rozmezí 0 – 4,5 °C, pro lepší představu je možné tuto závislost vynést do grafu:



Graf 6.1 - Závislost teploty na vstupu do výparníku na venkovní teplotě pro TČ země – voda

Nyní, když je známá vstupní teplota pro výpočet produkce tepla tepelného čerpadla, je potřeba znát také požadovanou výstupní teplotu pro vytápění a ohřev teplé vody. Otopná soustava je charakterizována návrhovými teplotami přívodní a vratné vody  $t_{w1}/t_{w2}$  [°C] a teplotním exponentem  $m$  převažujících otopných ploch v soustavě. Teplotu přívodní vody v otopné soustavě lze vypočítat pro každou hodinu v roce podle ekvitermního vztahu na základě střední teploty venkovního vzduchu: [53]

$$t_{w1,i} = t_{is} + \frac{t_{w1,N} - t_{w2,N}}{2} \cdot \frac{t_{is} - t_{em,i}}{t_{is} - t_{e,N}} + \left( \frac{t_{w1,N} + t_{w2,N}}{2} - t_{is} \right) \cdot \left( \frac{t_{is} - t_{em,i}}{t_{is} - t_{e,N}} \right)^{1/m}$$

6.12

$t_{w1,i}$	Teplota přívodní vody otopné soustavy v hodině $i$	[°C]
$t_{is}$	Střední vnitřní teplota vzduchu	[°C]
$t_{w1,N}$	Návrhová teplota přívodní otopné vody	[°C]
$t_{w2,N}$	Návrhová teplota vratné topné vody	[°C]
$t_{em,i}$	Střední teplota venkovního vzduchu v hodině $i$	[°C]
$t_{e,N}$	Venkovní výpočtová teplota	[°C]
$m$	Teplotní exponent otopných ploch	[°C]

Pomocí rovnice 6.9 bude vypočtena teplota přívodní vody pro vytápění pro každou hodinu v roce. Pro účely této diplomové práce bude uvažovat teplotní exponent  $m$  roven hodnotě 1,3 [-]. Jedná se o zjednodušující předpoklad pro soustavy s otopnou plochou v podobě topných těles. Například pro teplovzdušné vytápění se používá hodnota  $m = 1,4$ . Dále se ve výpočtu ještě zohledňuje nabíjení uvažovaného nárazového zásobníku otopné vody nad požadovanou ekvitermní teplotu pro omezení cyklování tepelného čerpadla. Z tohoto důvodu, se k výsledné hodnotě  $t_{w1,i}$  ještě přičítá rezerva  $\Delta t_w$ , která se při běžných podmínkách volí ve výši 2 K. Výsledná výstupní teplota do kondenzátoru pro vytápění  $t_{k2,i}$  se pro každou hodinu v roce vypočítá následujícím způsobem: [53]

$$t_{k2,i} = t_{w1,i} + \Delta t_w$$

6.13

Teplota na výstupu do kondenzátoru pro ohřev teplé vody  $t_{k2,i}$  se v každé hodině v roce stanoví jako teplota přívodní vody pro ohřev vody  $t_{TV}$  navýšená o teplotní rozdíl na výměníku tepla mezi přiváděnou otopnou vodou a připravovanou teplou vodou  $\Delta t_{TV}$ . Pro systémy s cirkulací se volí hodnota  $\Delta t_{TV} = 5$  K, opačném případě se volí hodnota  $\Delta t_{TV} = 0$  K. [53]

$$t_{k2,i} = t_{TV} + \Delta t_{TV}$$

6.14

Aby bylo možné vypočítat výrobu tepelného čerpadla v závislosti na vstupních teplotách, je potřeba znát údaje o tepelném výkonu a topném faktoru  $COP$  stanovené zkouškou v souladu s ČSN EN 14511 pro různé teploty na vstupu do výparníku  $t_{v1}$  a různé teploty na výstupu z kondenzátoru  $t_{k2}$ . Požadované kombinace dle normy jsou uvedeny v následující tabulce:

$t_{k2}/t_{v1}$	Voda – voda		Země – voda			Vzduch – voda				
	10 °C	15 °C	-5 °C	0 °C	5 °C	-15 °C	-7 °C	2 °C	7 °C	12 °C
35 °C										
45 °C										
55 °C										
65 °C										

Tab. 6.4 – Požadované kombinace zkušebních teplotních podmínek pro tepelná čerpadla [53]

Většina výrobců tepelných čerpadel však v technických listech neuvádí topný výkon a topný faktor pro všechny zmíněné kombinace vstupní a výstupní teploty. Norma však stanovuje i minimální počet známých kombinací potřebných k dosažení spolehlivého výsledku, pro TČ typu voda – voda je minimální počet kombinací 5, pro TČ země – voda je to 7 a pro čerpadla vzduch – voda 12. Z těchto pracovních stavů se pomocí regresní charakteristiky vypočítají hodnoty topného výkonu a topného faktory pro všechny různé kombinace vstupní a výstupní teploty.

K vytvoření spolehlivé a funkční závislosti výkonových charakteristik tepelného čerpadla je potřeba využít vhodnou funkci pro proložení pracovních bodů uvedených v tabulce 6.4. Pro

tepelná čerpadla typu země – voda a voda – voda by stačila pouze lineární závislost, u čerpadel typu vzduch – voda je nutné použít proložení polynomem vyššího řádu, a to konkrétně dle funkční závislosti dle následující rovnice:

$$P = A + B \cdot t_{v1} + C \cdot t_{k2} + D \cdot t_{v1}^2 + E \cdot t_{k2}^2 + F \cdot t_{v1} \cdot t_{k2}$$

6.15

kde  $P$  je obecná výkonová charakteristika (v našem případě půjde o topný výkon a topný faktor),  $t_{v1}$  je teplota na vstupu do výparníku [°C],  $t_{k2}$  je teplota na výstupu do kondenzátoru [°C] a  $A-F$  jsou regresní koeficienty [-].

Způsobem popsaným výše, se pro každou hodinu v roce vypočítá topný výkon a topný faktor, jak pro vytápění, tak pro ohřev vody (topný faktor a topný výkon se pro ohřev TV a vytápění bude lišit z důvodu rozdílu výstupní teploty do kondenzátoru). Nyní už je možné na základě získaných informací vypočítat spotřebu elektrické energie tepelného čerpadla. Z praktického hlediska je příprava teplé vody prioritizována před potřebou pokrytí spotřeby tepla pro vytápění. Z tohoto důvodu, se nejprve vypočítá spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla potřebná k ohřevu TV, a to následujícím vztahem:

$$S_{TC,TV,i} = MIN \left( \frac{E_{TV,i}}{COP_{TV,i}}; \frac{\Phi_{TV,i}}{COP_{TV,i}} \right)$$

6.16

kde  $S_{TC,TV,i}$  je spotřeba elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla v režimu přípravy teplé vody v hodině  $i$  [kWh],  $E_{TV,i}$  je potřebná energie pro přípravu teplé vody v hodině  $i$  [kWh],  $COP_{TV,i}$  je topný faktor tepelného čerpadla pro režim přípravy teplé vody v hodině  $i$  [-] a  $\Phi_{TV,i}$  je topný výkon tepelného čerpadla v režimu přípravy teplé vody v hodině  $i$  [kW].

V dalším kroku se vypočítá čas chodu tepelného čerpadla  $\tau_{TC,TV,i}$  [h] potřebný k pokrytí potřeby energie k přípravě teplé vody, a to dle rovnice:

$$\tau_{TC,TV,i} = MIN \left( \frac{E_{TV,i}}{\Phi_{TV,i}}; 1 \right)$$

6.17

Následně je potřeba vypočítat zbylou dobu provozu tepelného čerpadla dostupnou pro režim vytápění  $\tau_{TC,VYT,i}$  [h], tu lze vypočítat velice jednoduchým vztahem:

$$\tau_{TC,VYT,i} = 1 - \tau_{TC,TV,i}$$

6.18

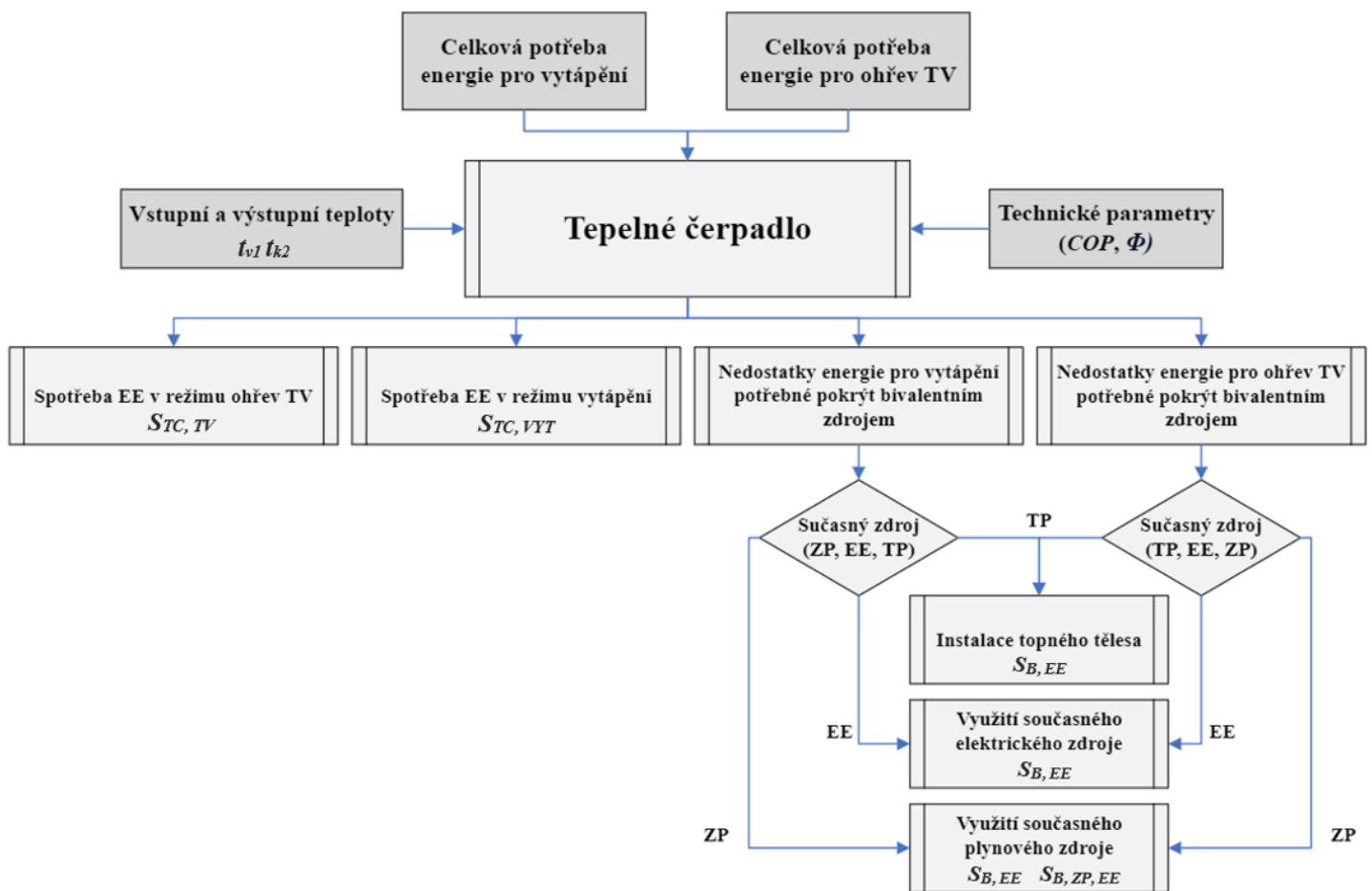
Pomocí tohoto parametru je možné vypočítat spotřebu elektrické energie tepelného čerpadla potřebnou pro vytápění:

$$S_{TC,VYT,i} = MIN \left( \frac{E_{VYT,i}}{COP_{VYT,i}}; \frac{\Phi_{VYT,i} \cdot \tau_{TC,VYT,i}}{COP_{VYT,i}} \right)$$

6.19

kde  $S_{TC, VYT, i}$  je spotřeba elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla v režimu vytápění v hodině  $i$  [kWh],  $E_{VYT, i}$  je potřebná energie pro vytápění v hodině  $i$  [kWh],  $COP_{VYT, i}$  je topný faktor tepelného čerpadla pro režim vytápění v hodině  $i$  [-] a  $\phi_{VYT, i}$  je topný výkon tepelného čerpadla v režimu vytápění v hodině  $i$  [kW].

V poslední fázi zbývá vypočítat nedostatek tepelné energie, který tepelné čerpadlo není schopno pokrýt. Tento nedostatek bude kompenzován pomocí bivalentního zdroje tepla, důležité však je rozdělit, kolik energie ještě je potřeba pro ohřev teplé vody a kolik pro vytápění. Typ bivalentního zdroje je závislý na současném uspořádání vytápění v hodnoceném domě. V případě, že uživatel již má nainstalovaný plynový či elektrický zdroj pro ohřev teplé vody či vytápění, bude tento zdroj využit k pokrytí nedostatku (účinnost tohoto zdroje je uživatelem zadána). V domácnosti, kde je pouze zdroj na tuhá paliva, je nezbytné doplnit systém o topné těleso, které bude sloužit jako bivalentní zdroj v otopné soustavě, a to z důvodu, že zdroj na tuhá paliva nelze jednoduše a rychle regulovat. Účinnost topných těles se obvykle pohybuje kolem 98 %. Na základě typu bivalentního zdroje je poté vypočítána spotřeba elektriny nebo zemního plynu k pokrytí nedostatku tepelné energie. Důležité je vzít v úvahu, že v případě bivalentního zdroje na zemní plyn je třeba zahrnout také spotřebu elektrické energie daného plynového zdroje. Spotřebu oběhových čerpadel a cirkulačních čerpadel není třeba počítat, jelikož je již zahrnuta v celkové spotřebě spotřebičů (viz kapitola 5.3) a očekává se neměnný provoz i po instalaci tepelného čerpadla. Postup výpočtu energetické bilance tepelného čerpadla je znázorněn na následujícím diagramu:



Obr. 6.5 – Schématický graf postupu výpočtu energetické bilance tepelného čerpadla

Celková spotřeba elektrické energie v domácnosti po instalaci tepelného čerpadla se vypočítá jako:

$$S_{C,TC} = S_S - S_{ZP,EE} + S_{TC,VYT} + S_{TC,TV} + S_{B,EE} + S_{B,ZP,EE} \quad 6.20$$

$S_{C,TC}$	Celková spotřeba elektrické energie v domácnosti po instalaci tepelného čerpadla	[MWh]
$S_S$	Celková spotřeba ostatních spotřebičů v domácnosti	[MWh]
$S_{ZP,EE}$	Celková spotřeba elektrické energie plynových zdrojů před instalací tepelného čerpadla	[MWh]
$S_{TC,VYT}$	Celková spotřeba elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla v režimu vytápění	[MWh]
$S_{TC,TV}$	Celková spotřeba elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla v režimu přípravy teplé vody	[MWh]
$S_{B,EE}$	Celková spotřeba elektrické energie bivalentních zdrojů na elektřinu	[MWh]
$S_{B,ZP,EE}$	Celková spotřeba elektrické energie bivalentních zdrojů na zemní plyn	[MWh]

Následně se postupuje stejným způsobem jako bylo popsáno v kapitole 6.2 pro výpočet produkce, nedostatků a přebytků elektrické energie z fotovoltaického zdroje. Na závěr je provedena energetická bilance roční spotřeby elektřiny, zemního plynu a tuhých paliv před a po instalaci tepelného čerpadla. Je také důležité vzít v úvahu, že instalace tepelného čerpadla pravděpodobně povede ke změně distribuční sazby a časů spínání systému s nízkou cenou elektřiny HDO, což vyžaduje přepočtení spotřeby elektrické energie v nízkém a vysokém tarifu podle nových časů spínání HDO.

## 6.5 Ekonomický model

V přechodí kapitole byl detailně vysvětlen postup výpočtu technické části výpočetního modelu, aby však bylo možné správně určit optimální variantu fotovoltaického systému z pohledu ekonomické efektivity, je potřeba vytvořit také ekonomický model. Ekonomický model bude založen na metodě součtu čistých současných diskontovaných hotovostních toků, tzv. *NPV* (*Net Present Value*), dle vzorce: [54]

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad 6.21$$

kde *NPV* je čistá současná hodnota [Kč],  $CF_t$  je hotovostní tok v roce  $t$  [Kč],  $r$  je diskont [%] a  $T$  je doba porovnání [rok].

Metoda optimalizace je založena na hledání varianty s nejvyšší hodnotou *NPV*, pro každou variantu budou dále zkoumány i další ekonomické parametry, jako například míra výnosnosti *IRR* (*Internal Rate of Return*) nebo doba návratnosti (diskontovaná). [54]

$$0 = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t}$$

6.22

Jak z rovnic vyplývá, aby bylo možné přesně stanovit čistou současnou hodnotu, bude potřeba nejprve co nejpřesněji nasimulovat hotovostní toky v každém roce za dobu porovnání. Z tohoto důvodu je potřeba stanovit výši příjmů a výdajů v každém roce. V tomto ohledu je však tento ekonomický model poněkud specifický, neboť bude potřeba zohlednit nejen příjmy plynoucí z prodeje přebytků elektrické energie do sítě, ale také peněžní úsporu vzniklou nižšími výdaji za platbu za energie.

### 6.5.1 Úspory

Aby bylo možné stanovit roční úspory za platbu za energie je třeba nejprve vypočítat výchozí výdaje spojené s platbou za elektřinu, zemní plyn či tuhá paliva. Rozdílem výdajů výchozího stavu a varianty po optimalizaci se získá celková roční úspora.

#### Elektrická energie

Výpočet úspory za platbu za elektrickou energii se může zdát z laického pohledu poměrně složitý, a proto bude tento postup podrobně vysvětlen. V první řadě je třeba znát roční spotřebu elektrické energie ve vysokém a případně nízkém tarifu, dále je potřeba znát typ distribuční sazby, velikost jističe a počet fází, ale také výchozí cenu za silovou složku elektrické energie, a to pro vysoký i nízký tarif (v případě dvoutarifní distribuční sazby). Platba za elektrickou energii se skládá také z regulované části, kam spadá poplatek za distribuci, poplatek za systémové služby, poplatek za rezervovaný příkon (kapacitu jističe), příspěvek na podporované zdroje energie a poplatek operátorovi trhu OTE. Výši jednotlivých poplatků a příspěvků stanovuje ERÚ, přičemž některé z nich se mohou lišit v závislosti na distribuční sazbě. Dle současného ceníku jsou regulované poplatky na hladině NN následující:

Regulovaná část ceny elektřiny		
Poplatek za systémové služby	212,82	Kč/MWh
Příspěvek na POZE (dle spotřeby)	495	Kč/MWh
Příspěvek na POZE (dle velikosti jističe)	84,7	Kč/A/měsíc
Poplatek OTE	1,75	Kč/měsíc
Poplatek za distribuci	Závisí na distribuční sazbě	-
Poplatek za velikost jističe	Závisí na distribuční sazbě	-

Tab. 6.5 – Výše regulovaných poplatků na hladině NN [55]

Jak je z tabulky patrné příspěvek na POZE lze vypočítat dvěma způsoby, přičemž zákazník vždy platí nižší z obou sazeb. Poplatek za distribuci se značně odlišuje dle typu distribuční sazby, stejně jako poplatek za velikost jističe. Dalším parametrem, který je třeba znát jsou alespoň rámcové časy spínání systému HDO, ty jsou jiné prakticky pro každé odběrné místo a k jejich stanovení potřeba znát číslo elektroměru, číslo HDO nebo číslo odběrného místa. Na stránkách příslušného distributora v lokalitě (ČEZ Distribuce, a.s., PREdistribuce, a.s. nebo EG.D) se pak dají tyto časy dohledat. V případě, kdy interval sepnutí

je kratší než 1 h, je potřeba ve výpočetním modelu v rámci zjednodušení zaokrouhlovat na celé hodiny.



Obr. 6.6 – Distributoři elektrické energie v ČR dle území [56]

V tento moment lze vypočítat celkovou roční platbu za elektrickou energii ve výchozím stavu před optimalizací, a to podle následujícího vzorce:

$$E_v = S_{VT} \cdot (SE_{VT} + DP_{VT}) + S_{NT} \cdot (SE_{NT} + DP_{NT}) + S_C \cdot (SyS + DE) + POZE + 12 \cdot (OTE + VJ) \quad 6.23$$

$E_v$	Celková roční platba za elektrickou energii ve výchozím stavu bez DPH	[Kč]
$S_{VT}$	Celková roční spotřeba elektřiny ve vysokém tarifu ve výchozím stavu	[MWh]
$S_{NT}$	Celková roční spotřeba elektřiny v nízkém tarifu ve výchozím stavu	[MWh]
$S_C$	Celková roční spotřeba elektrické energie ve výchozím stavu	[MWh]
$SE_{VT}$	Platba za silovou složku elektrické energie ve vysokém tarifu ve výchozím stavu	[Kč/MWh]
$SE_{NT}$	Platba za silovou složku elektrické energie v nízkém tarifu ve výchozím stavu	[Kč/MWh]
$DP_{VT}$	Poplatek za distribuci ve vysokém tarifu ve výchozím stavu	[Kč/MWh]
$DP_{NT}$	Poplatek za distribuci v nízkém tarifu ve výchozím stavu	[Kč/MWh]
$SyS$	Poplatek za systémové služby	[Kč/MWh]
$DE$	Daň z elektřiny	[Kč/MWh]
$POZE$	Příspěvek na podporované zdroje energie	[Kč]
$OTE$	Poplatek operátorovi trhu	[Kč/měsíc]
$VJ$	Poplatek za velikost jističe v odběrném místě	[Kč/měsíc]

Přičemž příspěvek na podporované zdroje energie POZE se vypočte následujícím vztahem:

$$POZE = \text{MIN}(S_C \cdot 495; 12 \cdot P_f \cdot 84,7 \cdot VJ)$$

6.24

kde  $P_f$  je počet fází rozvodné soustavy [-].

Daň z elektřiny je částka, kterou hradí dodavatelé elektřiny Celní správě a v současné době je její výše stanovena na hodnotu 28,3 Kč/MWh. V posledním kroku je potřeba k celkové roční platbě za elektrickou energii ve výchozím stavu přičíst sazbu DPH, která je momentálně stanovena na hodnotu 21 %. Do celkové roční platby za elektrickou energii ještě vstupuje jeden člen, a to stálá měsíční platba, kterou si stanovuje sám obchodník, ta se však před a po optimalizaci změní jen minimálně, a proto je možné jí do výpočtu roční úspory nezahrnout.

Následně je potřeba vypočítat platbu za elektrickou energii ve stavu při optimalizačním výpočtu, ta se vypočítá stejným způsobem podle rovnice 6.23, avšak je třeba brát v úvahu, že vlivem instalace FVE dojde ke snížení spotřeby elektrické energie. V případě varianty s tepelným čerpadlem navíc dojde ke zvýšení velikosti jističe, a to o kapacitu úměrnou jmenovitému výkonu tepelného čerpadla. Zároveň má uživatel možnost začít čerpat distribuční sazbu D57d, která by měla být pro provoz tepelného čerpadla ekonomicky výhodná. Změnou distribuční sazby dojde nejen ke změně časů spínání systému HDO, ale také se změní regulované poplatky za distribuci a velikost jističe. Zároveň je potřeba brát v úvahu, že změnou distribuční sazby dojde také ke změně ceny silové složky elektrické energie, neboť ta se u většiny obchodníků odlišuje dle typu distribuční sazby. Pro účely této diplomové práce bude cena silové složky elektrické energie pro tarif D57d počítána jako průměr cen od tuzemských obchodníků s elektřinou, konkrétně ČEZ Prodej, a.s., MND Energie, a.s. a E.ON Energie, a.s. Pro porovnání byl vždy zvolen nejvýhodnější ceník od daného obchodníka s fixací ceny elektrické energie.

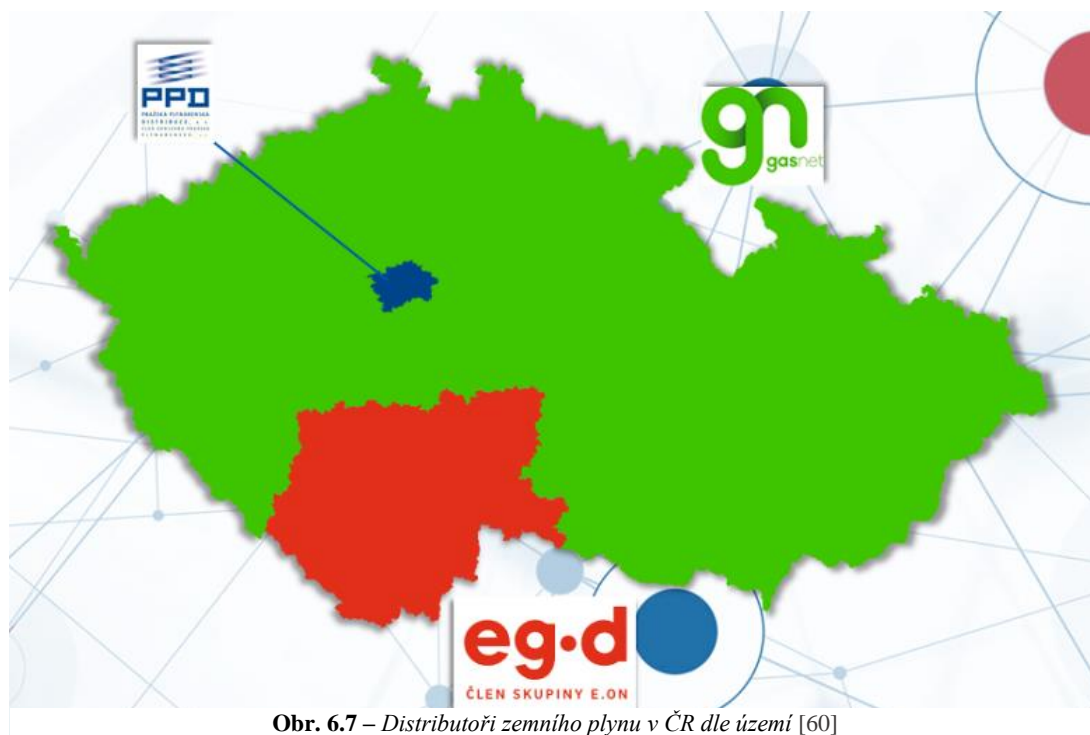
<b>Přehled cen za silovou složku elektrické energie pro tarif D57d</b>			
	<b>Vysoký tarif (bez DPH)</b>	<b>Nízký tarif (bez DPH)</b>	<b>Jednotka</b>
ČEZ Prodej, a.s. (Elektřina extra)	3 100	3 000	Kč/MWh
MND Energie, a.s. (Proud)	3 055,37	2 931,4	Kč/MWh
E.ON Energie, a.s. (Variant PRO)	3 150	2 984	Kč/MWh
<b>Průměr</b>	<b>3 101,79</b>	<b>2 971,8</b>	<b>Kč/MWh</b>

Tab. 6.6 – Přehled cen za silovou složku elektrické energie pro tarif D57d u různých obchodníků [57], [58], [59]



## Zemní plyn

Stejně jako u elektřiny i cena zemního plynu se skládá z regulované a neregulované složky. Neregulovanou složku ceny zemního plynu si určuje obchodník sám a spadá do ní jednotková cena za komoditu a stálá měsíční platba. Výchozí jednotkovou cenu za komoditu zadá uživatel do výpočetního modelu, stálá měsíční platba bude stejně jako u elektřiny v rámci zjednodušení zanedbána, neboť její vliv na celkovou výši úspory je minimální. Regulovaná cena zemního plynu se skládá z poplatku za distribuci, stálé měsíční platby za přistavenou kapacitu a poplatku za služby OTE a činnosti ERÚ. Aktuální výše poplatku za služby OTE je 1,49 Kč/MWh a za činnosti ERÚ 1,34 Kč/MWh. Ostatní regulované poplatky závisí na celkové roční spotřebě zemního plynu a distribučním území (EG.D, a.s., Pražská plynárenská Distribuce, a.s., a GasNet, s.r.o.)



Obr. 6.7 – Distributoři zemního plynu v ČR dle území [60]

Dále je nutné k celkové roční platbě za zemní plyn přičíst DPH (sazba 21 %). Daň z plynu se neplatí, neboť jsou od ní domácnosti osvobozeny. Vlivem instalace tepelného čerpadla dojde ke snížení spotřeby zemního plynu, čímž se změní i regulované poplatky ceny zemního plynu. Z tohoto důvodu se stejně jako u elektřiny nejprve vypočítá celková roční platba za spotřebu zemního plynu ve výchozím stavu a následně se vypočítá stejný údaj i pro každou optimalizační variantu. Výsledná roční úspora se získá rozdílem těchto dvou hodnot.

## Tuhá paliva

Celkovou roční platbu za tuhá paliva ve výchozím stavu musí odhadnout uživatel v závislosti na roční spotřebě daného tuhého paliva a jeho průměrné ceně. V optimalizačních scénářích, které zohledňují instalaci tepelného čerpadla se následně uvažuje s nulovou spotřebou tuhých paliv, jelikož se neuvažuje s vyžitím tohoto zdroje k bivalenci (viz kapitola 6.3). V případě instalace systému bez tepelného čerpadla zůstane spotřeba tuhých paliv stejná jako ve výchozím stavu.

## Úspora nákladů výchozího stavu

V ekonomickém modelu je vždy provedeno srovnání mezi stávajícím stavem a potenciální novou variantou, aby byl tento model účinný, je třeba zhodnotit všechny budoucí výdaje, které by vznikly při zachování stávajícího stavu, a které by naopak odpadly při instalaci nového fotovoltaického či topného systému. Tyto výdaje se kladně promítnou do výsledného ekonomického modelu. Mezi tyto výdaje lze zařadit například reinvestici do stávajícího zdroje tepla, jelikož nelze předpokládat, že současný zdroj vytápění by vydržel po celou dobu porovnání. Proto je důležité znát odhad životnosti stávajícího hlavního zdroje tepla a také je potřeba nacenit jeho náhradu. Pro zjednodušení je ve výpočetním modelu předpokládána výměna zdroje metodou kus za kus a zanedbává se varianta možnosti výměny za jiný zdroj tepla. Pokud uživatel zná nákupní cenu stávajícího zdroje tepla nebo má přesnější informace o nacenění výměny zdroje tepla, může tento údaj uvést ve výpočetním modelu. V opačném případě bude navržena částka na základě aktuálních průměrných cenových nabídek na internetovém cenovém srovnávači Heureka! od společnosti Heureka Group, a.s.

Rámcové ceny zdrojů vytápění		
Elektrický kotel průtokový	30 000	Kč
Elektrický kotel akumulací	40 000	Kč
Plynový kotel průtokový	30 000	Kč
Plynový kotel akumulací	40 000	Kč
Kotel na uhlí	50 000	Kč
Krbová vložka	20 000	Kč
Kotel na pelety/brikety	100 000	Kč

Tab. 6.7 – Rámcové ceny zdrojů vytápění [61]

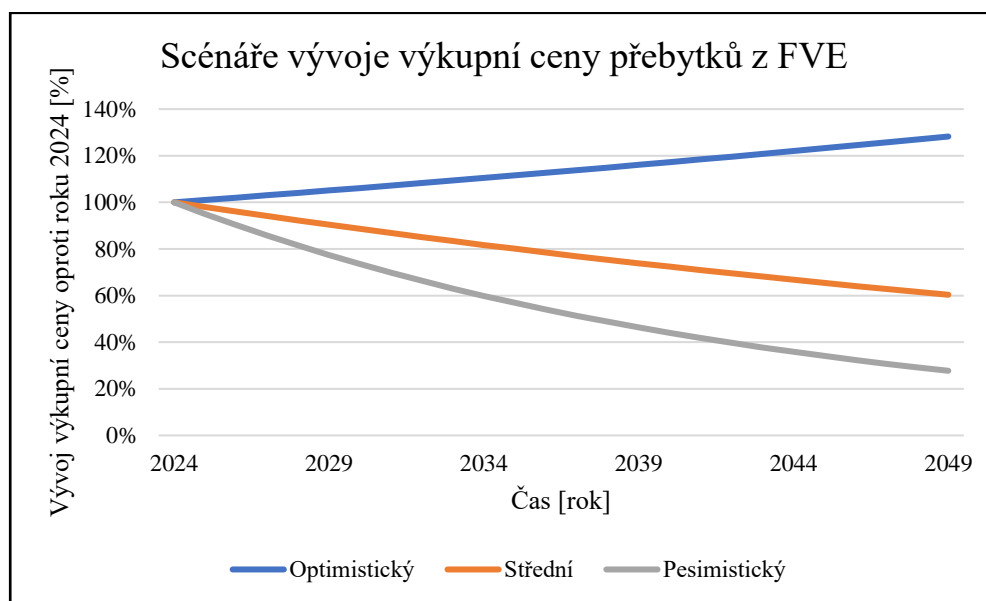
Dále je potřeba zohlednit provozní náklady výchozího zdroje tepla, které při přechodu na topný systém s tepelným čerpadlem zaniknou. Údržba plynových kotlů je doporučena každoročně a jedna servisní prohlídka vychází v průměru na 1 000 Kč. Dále u plynových kotlů a kotlů na tuhá paliva je potřeba pravidelné kontroly a čištění spalinových cest. U plynových kotlů je doporučený interval kontroly 1 rok a kontrola vychází na zhruba 1 500 Kč. U zdrojů tepla na tuhá paliva je povinný interval kontroly spalinových cest dvakrát za rok. Naopak u elektrických zdrojů tepla jsou provozní náklady zanedbatelné. [62]

### 6.5.2 Příjmy

Jediný čistý příjem, který do ekonomického modelu vstupuje, je prodej přebytků z FVE do sítě. Výše tohoto příjmu je závislá na dvou faktorech, a to hodnotě celkových ročních přebytků z FVE prodaných do sítě a výkupní ceně těchto přebytků. Výkupní cena přebytků je ve výpočetním modelu volitelným parametrem, neboť každý obchodník nabízí trochu jinou metodiku výpočtu a výši výkupní ceny přebytků. V případě, kdy uživatel nezná výkupní cenu přetoků, bude jako defaultní hodnota uvažována cena 2 000 Kč/MWh, jak již bylo zmíněno v kapitole 2.3.

Vzhledem k aktuálnímu stavu na energetickém trhu by však bylo chybné uvažovat s konstantní výkupní cenou po celou dobu porovnání. Vlivem vysokého počtu instalací fotovoltaických zdrojů do sítě bude docházet k obrovskému přebytku elektrické energie v poledních hodinách, což může způsobit až zápornou cenu elektřiny na spotovém trhu. Z tohoto důvodu lze očekávat, že výkupní cena přebytků bude v průběhu let nejspíše klesat,

avšak na toto téma může mít každý trochu jiný názor, proto ve výpočetním modelu bude možnost volby ze tří scénářů vývoje výkupní ceny přebytků z FVE.



Graf 6.2 – Scénáře vývoje výkupní ceny přebytků z FVE v průběhu let

U optimistického scénáře se uvažuje s 1 % meziročním růstem výkupní ceny, naopak u středního scénáře se uvažuje 2 % pokles výkupní ceny a u pesimistického scénáře se uvažuje dokonce až s 5 % poklesem.

### 6.5.3 Výdaje

Postup výpočtu investičních a provozních výdajů byl popsán již v kapitole 4. Pro shrnutí budou proto pouze vyjmenovány jednotlivé výdaje, které do výpočetního modelu vstupují. V případě varianty s využitím FVE vstupují do modelu investiční výdaje spojené s instalací fotovoltaického systému dle rovnice 4.1. Dále je potřeba zohlednit investiční výdaje za pořízení střídače a jeho následnou reinvestici po 12 letech provozu. V neposlední řadě je třeba zohlednit také provozní výdaje vynaložené za servis a údržbu fotovoltaického systému.

V případě instalace bateriového úložiště je potřeba k celkovým investičním výdajům připočítat pořízení bateriového úložiště a dále je také potřeba zohlednit reinvestici do bateriového úložiště po 15 letech provozu. V případě instalace tepelného čerpadla se investiční výdaje vypočítají jako součet ceny samotné technologie tepelného čerpadla dle tabulky 4.2 a výdajů spojených s jeho instalací dle grafu 4.5. Opět je třeba zohlednit provozní výdaje spojené s údržbou tepelného čerpadla a také reinvestici do tepelného čerpadla po 15 letech ve výši ceny technologie zvýšenou o eskalaci ceny elektrických zařízení. V případě, že vybraná domácnost využívá k vytápění a ohřevu TV kotel na tuhá paliva, pak do modelu vstupují investiční výdaje za pořízení topného tělesa pro bivalenci. Cena topných těles se pohybuje okolo 7 000 Kč. [63]

Pokud je vybraná domácnost připojena pouze k jednofázové rozvodné soustavě, pak pro zapojení tepelného čerpadla je nezbytné rozvodnou soustavu rozšířit na třífázovou. Investiční výdaje spojené rozšířením jednofázové soustavy na třífázovou závisí na způsobu zapojení rozvodné soustavy ve vybraném objektu, a tudíž lze tyto výdaje velice špatně odhadovat. Z tohoto důvodu bude tato volba ve výpočetním modelu ponechána na uživateli.

Další investiční výdaje, které dosud nebyly zahrnuty do výpočtu, představují výdaje spojené s pořízením akumulací nádrže na teplou vodu. V podmínkách dotačního programu NZÚ je stanovena minimální kapacita akumulací nádrže, pro kterou je možné získat dotaci na tepelné čerpadlo, a ta činí 400 litrů. Ceny akumulací nádrží se výrazně odlišují v závislosti na jejich typu a použitém materiálu. Průměrná nádrž této kapacity je však dostupná za přibližně 30 000 Kč. Pokud již daná domácnost vlastní akumulací nádrž o kapacitě 400 litrů nebo vyšší, není nutné provádět tuto investici. [61]

## 6.6 Vývoj cen

Jelikož doba porovnání výpočetního modelu je úměrná deklarované životnosti fotovoltaických panelů 25 let, nelze předpokládat, že po celou dobu budou ceny energií a instalovaných technologií stejné. Proto je nezbytné provést simulaci a odhadnout vývoj cen elektřiny, zemního plynu a dalších technologií, které bude během této doby potřeba obnovit.

K odhadu budoucí ceny instalovaných technologií bude využit index cen průmyslových výrobků, konkrétně elektrických zařízení, jehož vývoj je znázorněn v tabulce 4.1. Tento index by měl korelovat s vývojem meziroční inflace v ČR, dle ČNB je dlouhodobým cílem udržet hladinu meziroční inflace na hodnotě 2 %, což se také aktuálně daří. To dokazuje, že se v Česku podařilo obnovit cenovou stabilitu. Z tohoto důvodu bude ve výpočetním modelu uvažována eskalace cen elektrických zařízení ve výši 2 %. O tuto eskalaci budou navýšeny všechny reinvestice do technických zařízení za dobu porovnání. [64]

Stejně jako u cen technologií nelze předpokládat, že provozní výdaje spojené s revizí a servisem budou po celou dobu porovnání stejné. Proto je nutné tyto výdaje eskalovat v průběhu let. K tomu opět využijeme dlouhodobý cíl ČNB, kterým je udržet meziroční inflaci na úrovni 2 %.

O něco složitější je odhadnout vývoj ceny elektrické energie a zemního plynu. Pokud se podíváme na historický vývoj ceny elektrické energie (viz graf 1.2), pak je patrné, že cena elektrické energie v posledních letech značně klesala a po krizi v roce 2022 se dostala zpět na rozumnou hladinu. Pokles ceny elektrické energie však nelze předpokládat do nekonečna, z historického vývoje víme, že cena elektrické energie má spíše mírně rostoucí trend. Vlivem čím dále většího zatížení sítě intermitentními zdroji elektrické energie lze očekávat extrémní rozdíly mezi cenou elektrické energie v poledních a večerních hodinách. Tyto výkyvy bude potřeba v síti regulovat, zároveň bude potřeba posílit distribuční síť vzhledem k tlaku na elektrifikaci dopravy a decentralizaci výroby. Z tohoto důvodu lze očekávat vyšší poplatky za distribuční složku ceny elektřiny, proto bude ve výpočetním modelu cena elektrické energie eskalována 2 %.

Stejný nárůst cen lze očekávat i u zemního plynu, jelikož se nejedná o bezemisní zdroj energie. Lze očekávat, že cena zemního plynu od obchodníka bude v brzké době zatížena zvažujícími se cenami emisních povolenek, z tohoto důvodu bude v modelu cena zemního plynu eskalována rovněž 2 %.

## 6.7 Algoritmus výpočtu

Algoritmus výpočtu je založen na hledání optimální konfigurace instalovaného výkonu FVE, kapacity bateriového úložiště a typu a výkonu tepelného čerpadla. Pokud uživatel má zájem pouze o fotovoltaiku nebo naopak pouze o tepelné čerpadlo, pak může zvolit konfiguraci výpočtu, která je pro něj relevantní. Přehled všech možných variant je uveden v následující tabulce:

Možné konfigurace výpočtu
Všechny varianty (bez vlastní)
Varianta FVE + BAT
Varianta FVE + BAT + TČ
Varianta TČ
Varianta TČ (vzduch – voda)
Varianta TČ (země – voda)
Varianta TČ (voda – voda)
Varianta FVE + BAT + TČ (vzduch – voda)
Varianta FVE + BAT + TČ (země – voda)
Varianta FVE + BAT + TČ (voda – voda)
Vlastní výpočet

Tab. 6.8 – Přehled všech možných konfigurací výpočtu ve výpočetní aplikaci

V tabulce je uvedena možnost vlastního výpočtu. Pokud uživatel zvolí tuto variantu, může nastavit vlastní konfiguraci fotovoltaického a topného systému včetně investičních nákladů za jednotlivé technologie. Tato možnost umožňuje například ověřit ekonomickou efektivitu cenové nabídky od instalační společnosti. Pokud se však jedná o systém využívající tepelné čerpadlo, je třeba uvést také hodnoty topného výkonu a topného faktoru pro různé varianty vstupní a výstupní teploty, viz tabulka 6.4. Pro tepelná čerpadla voda – voda je potřeba uvést do tabulky alespoň 5 hodnot, pro čerpadla země – voda alespoň 7 hodnot a pro tepelná čerpadla vzduch – voda alespoň 12 hodnot.

Pro hledání optimální konfigurace nelze využít standardní výpočetní nástroj *Solver* od MS Excel, protože tento nástroj pracuje na základě gradientní metody, která může v případě složitějších modelů nalézt pouze lokální extrémy namísto globálního maxima. Proto byl zvolen přístup tzv. hrubé síly (*brute force*), při kterém jsou prozkoumány všechny možné konfigurace systému a následně je vybrána ta s nejvyšším ukazatelem NPV. Tento přístup garantuje spolehlivé nalezení ekonomicky optimálního řešení, avšak výpočet může trvat poměrně dlouhou dobu. V aplikaci je proto možnost volby rychlosti výpočtu, kde rychlejší výpočet s sebou nese menší přesnost.

Varianta „Rychlá“ zanedbává ztráty baterie a fotovoltaického článku vlivem degradace v průběhu let a navíc iteruje pouze přes konfigurace systému, pro které je možné získat dotaci z dotačního titulu NZÚ. Varianta „Střední“ iteruje také pouze přes konfigurace, pro které je možné získat dotaci, avšak již zanedbává ztráty vlivem degradace systému. Varianta „Pomalá“ iteruje přes všechny možné kombinace zapojení systému a také zanedbává ztráty vlivem degradace. Odhadované doby trvání výpočtu pro jednotlivé varianty jsou uvedeny v následující tabulce:

	<b>Rychlá</b>	<b>Střední</b>	<b>Pomalá</b>
Všechny varianty (bez vlastní)	1:10 h	6:40h	až 24 h
Varianta FVE + BAT	0:04 h	0:22 h	4:20 h
Varianta FVE + BAT + TČ	1:00 h	5:40 h	20 h
Varianta TČ	40 s	0:03 h	0:36 h
Varianta TČ (vzduch – voda)	10 s	0:01 h	0:12 h
Varianta TČ (země – voda)	10 s	0:01 h	0:12 h
Varianta TČ (voda – voda)	10 s	0:01 h	0:12 h
Varianta FVE + BAT + TČ (vzduch – voda)	0:20 h	1:55 h	12 h
Varianta FVE + BAT + TČ (země – voda)	0:20 h	1:55 h	12 h
Varianta FVE + BAT + TČ (voda – voda)	0:20 h	1:55 h	12 h
Vlastní výpočet	okamžitě	okamžitě	okamžitě

**Tab. 6.9** – Odhadovaná doba trvání výpočtu dle výpočetní varianty a rychlosti výpočtu

Důležité je zmínit, že časy výpočtu se budou značně lišit v závislosti na technických parametrech zařízení, na kterém je výpočet spuštěn. Zároveň u pomalé varianty bude délka výpočtu záviset na vstupních parametrech. Po provedení optimalizačního výpočtu je možné přejít na ekonomické vyhodnocení optimální varianty. Samozřejmě existuje také možnost, že i optimální varianta bude ekonomicky nevýhodná. Ve vyhodnocení je uvedena optimální konfigurace fotovoltaického a topného systému včetně všech ekonomických ukazatelů zmíněných v kapitole 6.4. Dále je také zobrazena energetická bilance spotřeby a výroby FVE a také cenový rozpad dané konfigurace včetně možné výše dotace z programu NZÚ. Výpočetní model uživateli poskytuje také detailní rozklad ročních výdajů za energie do jednotlivých položek. Z této tabulky je tak možno lehce vyčíst, na které položce uživatel nejvíce ušetří. Celý postup jak správně vyplnit všechny vstupní parametry ve výpočetním modelu je uveden v uživatelském manuálu v příloze č.1.

## Optimální návrh systému dle zvolených vstupních parametrů

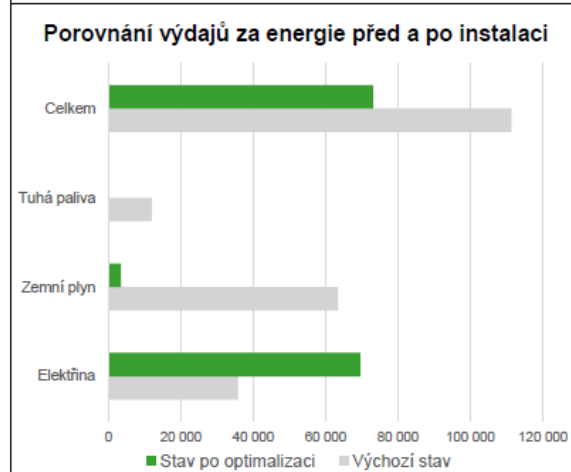
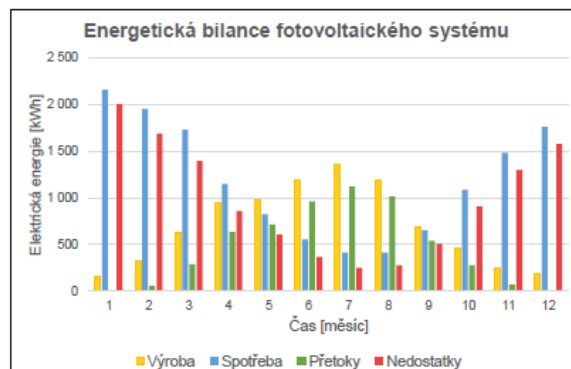
Optimální varianta		
Instalovaný výkon FVE	9,9	kWp
Kapacita bateriového úložiště	Bez instalace baterie	
Jmenovitý výkon tepelného čerpadla	9,96	kW
Typ tepelného čerpadla	TC země - voda	

Ekonomické ukazatele		
NPV	29 074	Kč
IRR	4,61%	%
RCF	1 864	Kč
Prostá doba návratnosti	13,55	let
Diskontovaná doba návratnosti	23,41	let

Orientační cenový rozklad		
Dodávka FVE 9,86 kWp včetně instalace	307 275	Kč
Dodávka asymetrického střídače včetně instalace	23 046	Kč
Dodávka bateriového úložiště včetně instalace	0	Kč
Dodávka tepelného čerpadla 9,96 kW včetně instalace	258 691	Kč
Dodávka akumulační nádrže včetně instalace	30 000	Kč
Celková cena systému včetně DPH	619 011	Kč
Možná výše dotace z dotačního titulu NZU	154 000	Kč
Celková cena systému se zahrnutím dotace včetně DPH	465 011	Kč

Vyhodnocení roční úspory			
	Výchozí stav	Stav po optimalizaci	
Spotřeba elektrické energie ve vysokém tarifu	3 770	2 078	kWh/rok
Spotřeba elektrické energie v nízkém tarifu	1 101	9 647	kWh/rok
Spotřeba zemního plynu	31 687	594	kWh/rok
Spotřeba tuhých paliv	10 512	0	kWh/rok
<b>Elektrina</b>			
Silová složka VT	11 562	6 445	Kč/rok
Silová složka NT	3 074	28 670	Kč/rok
Měsíční poplatek	486	486	Kč/rok
Distribuční poplatek VT	8 125	1 348	Kč/rok
Distribuční poplatek NT	482	4 226	Kč/rok
Platba za jistič	2 364	7 716	Kč/rok
Systémové služby	1 037	2 495	Kč/rok
POZE	2 411	5 804	Kč/rok
Daň z elektřiny	138	332	Kč/rok
Celkem za elektřinu (bez DPH)	29 679	57 523	Kč/rok
Celkem za elektřinu (s DPH)	35 911	69 602	Kč/rok
<b>Zemní plyn</b>			
Obchodní složka ceny	39 229	735	Kč/rok
Měsíční poplatek	565	565	Kč/rok
Poplatek za distribuci	8 729	397	Kč/rok
Měsíční poplatek za přistavenou kapacitu	3 827	1 244	Kč/rok
Poplatek ERU a OTE	90	2	Kč/rok
Celkem za zemní plyn (bez DPH)	52 439	2 942	Kč/rok
Celkem za zemní plyn (s DPH)	63 451	3 560	Kč/rok
<b>Tuhá paliva</b>			
Celkem (s DPH)	12 001	0	Kč/rok
<b>Celková roční platba za energie</b>			
Roční platba	111 363	73 162	Kč/rok
Celková roční úspora za platbu za energie	38 201		Kč/rok

Prodej přebytků elektrické energie do sítě		
Odhadované výnosy z prodeje přebytků v prvním roce	11 133	Kč/rok



Obr. 6.8 – Ukázka vyhodnocení výsledků optimalizačního modelu

# 7 Modelový příklad

---

Aby výpočetní aplikace nebyla popsána pouze teoreticky, bude její funkcionality znázorněna na následujícím ilustračním příkladu. Zvoleným objektem je rodinný dům nacházející se v městě Petřvald v okrese Karviná. Jedná se o samostatně stojící dvojdomek, kde každá polovina je využívána jinou domácností. V rámci výpočtu bude zohledněna pouze domácnost obydlující jednu polovinu dvojdomku.

## 7.1 Popis objektu

Jedná se o poměrně starou stavbu z roku 1920, která původně sloužila jako ubytovna pro horníky z nedaleké šachty, nacházející se v nadmořské výšce okolo 265 m. n. m. Ačkoliv je objekt poměrně rozsáhlý (podlahová plocha včetně druhého patra činí 311 m<sup>2</sup>, průměrná výška stropu 3 m), tak v objektu trvale žijí pouze 3 osoby. Dům je nezateplený, ale nedávno byla vyměněna všechna okna v rámci energetických úspor.



Obr. 7.1 – Uvažovaný objekt pro ilustrační příklad [65]

Střecha domu je rozsáhlá a poměrně členitá, navíc je z velké části zastíněna okolními stromy, z tohoto důvodu bude uvažováno s instalací FVE na vedlejší objektu, který je využíván jako hospodářská budova. Střecha tohoto objektu je orientována směrem východ – západ a hrubá plocha je zhruba 120 m<sup>2</sup>, sklon střechy je zhruba 40°. Hrubá plocha střechy však nelze využít celá, kvůli hromosvodům a komínu, který vrhá stín, což by omezilo produkci elektrické energie. Vzhledem k tomu, že komín je již několik let mimo provoz je možné komín zbourat a zlepšit tak využitelnost plochy střechy v případě potřeby. Z tohoto důvodu bude uvažována využitelnost střechy ve výši 85 %. Objekt se nachází v distribučním území ČEZ Distribuce a hodnota maximálního možného rezervovaného výkonu není z pohledu výstavby rodinné FVE nijak omezena. Objekt je využíván celoročně, mimo domov je celá domácnost průměrně čtyři týdny v roce, zejména v letních měsících a v období jarních a podzimních prázdnin.





Obr. 7.2 – Náhled na objekt z ptačí perspektivy spolu s umístěním fotovoltaických panelů [65]

## 7.2 Energetická bilance objektu

Domácnost využívá k vytápění a k ohřevu teplé vody kombinaci zemního plynu a krbu na dřevo, přičemž dřevo se využívá zejména v zimním období, aby se snížila závislost na zemním plynu. Roční spotřeba zemního plynu dle faktury za období 09.08.2022 – 10.08.2023 byla 2 871 m<sup>3</sup> neboli 31 687 kWh. Obchodní složka ceny zemního plynu se v průběhu zúčtovacího období několikrát změnila, dokonce dosáhla i zastropovaného maxima 2 500 Kč/MWh, aktuální cena je však 1 238 Kč/MWh bez DPH a aktuální měsíční platba obchodníkovi je 47,1 Kč/měsíc. Domácnost jako palivo do krbu využívá bukové dřevo, přičemž průměrná roční spotřeba činí přibližně 8 PRMS (prostorový metr sypaný). Prostorový metr sypaný je jednotka, která představuje polínka dřeva volně sypané do prostoru o rozměru 1 m<sup>3</sup>. Aby bylo možné vypočítat, jaká je hmotnost 8 PRMS dřeva je potřeba nejprve přepočítat jednotku na plnometry (PLM). Obecně se používá pravidlo, že 1 PRMS = 0,45 PLM. Z toho vyplývá, že průměrná roční spotřeba dřeva je 3,6 PLM. Jeden PLM vysušeného bukového dřeva váží přibližně 720 kg, což znamená, že roční spotřeba dřeva je zhruba 2 592 kg. Cena bukového dřeva od místního dodavatele je 1 500 Kč/PRMS, což odpovídá ceně 4,63 Kč/kg. [66]

Elektrická energie je využívána pouze pro běžné spotřebiče v domácnosti. V současnosti domácnost využívá sazbu D25d, přestože nevyužívá elektrického akumulárního zdroje vytápění. Roční spotřeba ve vysokém tarifu je 3 770 kWh a v nízkém tarifu 1 101 kWh (za zúčtovací období 09.09.2022 – 10.09.2023). Aktuální cena za silovou složku elektrické energie dle platného ceníku je 3 066,94 Kč/MWh bez DPH ve vysokém tarifu a 2 791,73 Kč/MWh bez DPH v nízkém tarifu. Hodnota hlavního jističe je 3x25A a stálá měsíční platba je dle aktuálního ceníku 40,48 Kč/měsíc. Jelikož domácnost využívá dvoutarifní distribuční sazbu, je potřeba do výpočetního modelu zadat časy spínání systému HDO. Na stránkách ČEZ Distribuce je možné pomocí čísla elektroměru dohledat tyto časy spínání. V běžných pracovních dnech je systém

HDO aktivní od 00:50 – 5:46 a následně od 13:45 – 16:51, zatímco o víkendu je nízký tarif aktivní v časech 02:35 – 07:36 a následně od 13:10 – 16:11. Časy spínání systému HDO se mohou v průběhu roku měnit, ve výpočetním modelu si však postačíme s těmito časy.

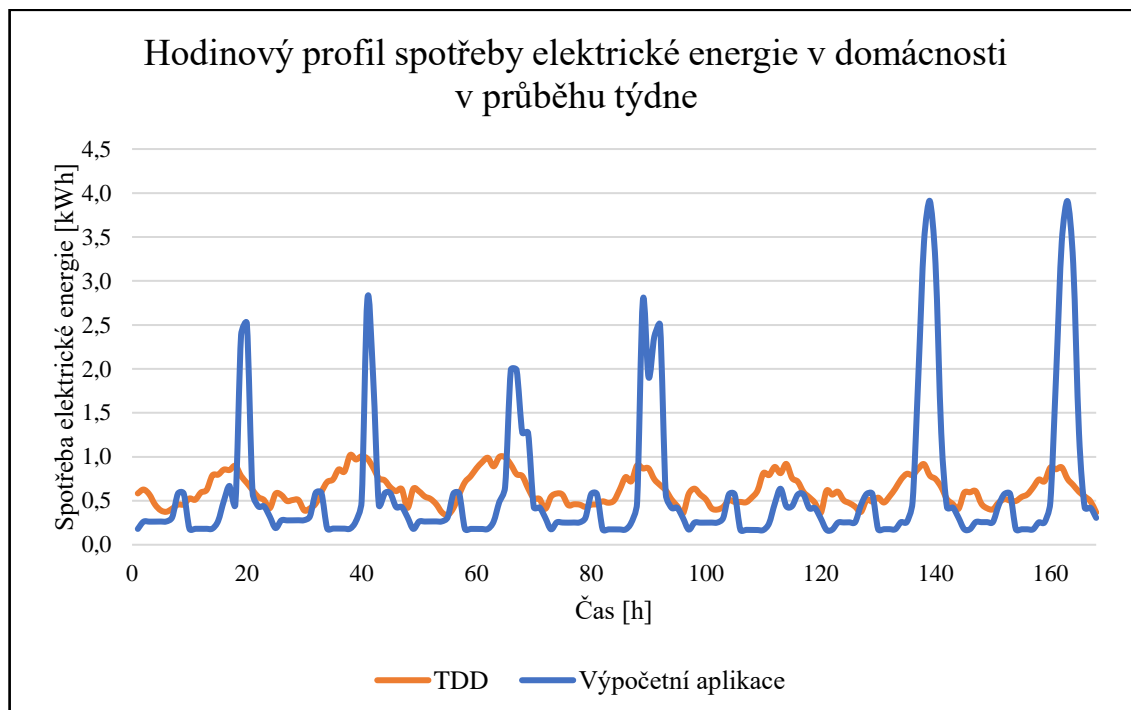
Běžný den		Víkend	
1	VT	1	VT
2	NT	2	VT
3	NT	3	NT
4	NT	4	NT
5	NT	5	NT
6	NT	6	NT
7	VT	7	NT
8	VT	8	VT
9	VT	9	VT
10	VT	10	VT
11	VT	11	VT
12	VT	12	VT
13	VT	13	VT
14	VT	14	NT
15	NT	15	NT
16	NT	16	NT
17	NT	17	VT
18	VT	18	VT
19	VT	19	VT
20	VT	20	VT
21	VT	21	VT
22	VT	22	VT
23	VT	23	VT
24	VT	24	VT

Tab. 7.1 – Přehled časů spínání systému HDO zadanych do výpočetního modelu

Objekt je celoročně vytápěn na teplotu 20 °C a v případě dlouhodobější absence se teplota snižuje na hodnotu 18 °C. Teplota v objektu je regulována prostorovým termostatem, který je umístěn v obývacím pokoji. Jak již bylo zmíněno hlavním zdrojem vytápění je zemní plyn, konkrétně k ohřevu teplé vody se využívá akumulární plynový kotel o kapacitě 195 l s účinností 90 %, o tepelném výkonu 10 kW a elektrickém příkonu 50 W. Naopak pro vytápění se používá průtočný kondenzační kotel o výkonu 20 kW (pro jmenovitý spád 50/30 °C) s elektrickým příkonem 200 W a účinností 98 %. Plynový zdroj vytápění byl zakoupen před pěti lety, tudíž lze očekávat, že jeho zbytková životnost je zhruba 10 let, jeho pořizovací cena byla zhruba 60 000 Kč. Topná soustava je bez cirkulace teplé vody a příkon oběhových čerpadel je neznámý, proto budeme uvažovat výchozí hodnotu 200 W. Dle zadaných parametrů doporučuje výpočetní nástroj tepelnou ztrátu objektu ve výši 34,5 kW, přesnější údaj není znám, avšak dle výkonu plynového kotle a roční spotřeby zemního plynu a tuhých paliv lze vyvodit, že tato hodnota je poněkud nepřesná, tepelná ztráta objektu by se mohla pohybovat okolo 10-20 kW. Na průběh výpočtu však tento parametr nemá zásadní vliv, neboť spotřeba energie objektu je počítána dle současné roční spotřeby uvedené ve faktuře.

Domácnost využívá standartních domácích spotřebičů jako je pračka, sušička, myčka, televizor, trouba, chladnička či stolní počítač. V závislosti na jejich využívání vytvoří výpočetní nástroj hodinový profil spotřeby elektrické energie v domácnosti. V objektu není instalována

klimatizace ani dobíjecí stanice pro elektromobil. Hodinový a měsíční profil spotřeby teplé vody nebude v rámci výpočtu upraven a bude ponechán výchozí profil stanovený dle normy.



**Graf 7.1** – Hodinový průběh spotřeby elektrické energie v domácnosti v průběhu týdne

Na grafu 7.1 je znázorněn průběh spotřeby energie v průběhu jednoho týdne, konkrétně v prvním týdnu ledna. Tento graf prezentuje zjednodušený profil spotřeby, který nezahrnuje všechny spotřebiče v domácnosti. Přesto je jeho přesnost výrazně vyšší než v případě využití TDD, které poskytují průměrné hodnoty.

Domácnost nakupuje elektřinu i plyn od dodavatele MND Energie, a.s. Tento dodavatel nabízí výkupní cenu přebytečné energie z FVE ve výši 2 000 Kč/MWh, a proto bude ve výpočetním modelu počítáno s touto hodnotou, přičemž budeme uvažovat mírný pokles výkupní ceny přebytků dle středního scénáře popsaného v kapitole 6.4.2. Diskontní míra se stanoví podle výnosnosti jiných potenciálních investic, do kterých může domácnost vložit své finance namísto instalace fotovoltaického či topného systému. Jeden z nejméně rizikových scénářů je uložení financí na spořicí účet. V současné době se úrokové sazby u běžných spořicích účtů pohybují kolem 5 %. Očekává se, že vlivem klesající inflace se budou úrokové sazby v příštích letech spíše snižovat, navíc s provozem spořicího účtu jsou spojeny různé poplatky, a proto bude ve výpočetním modelu uvažována diskontní míra ve výši 4 %.

## 7.3 Vyhodnocení

V rámci vyhodnocení bude provedena analýza všech možných variant výpočtu, a to jak pro rychlou, středně rychlou i pomalou možnost výpočtu. Dle vypočtených ekonomických ukazatelů bude následně zvolena optimální konfigurace fotovoltaického a topného systému pro vybraný rodinný dům.

Dle vstupních parametrů popsaných v předchozí podkapitole vyšly optimální konfigurace fotovoltaického a topného systému pro jednotlivé varianty výpočtu následovně:

	Ukazatel	Rychlá	Střední	Pomalá
Všechny varianty (bez vlastní)	FVE [kW <sub>p</sub> ]	0	0	0
	BAT [kWh]	0	0	0
	TČ [kW]	10,36	10,36	10,36
Varianta FVE + BAT	FVE [kW <sub>p</sub> ]	9,9	9,9	9,9
	BAT [kWh]	9,9	9,9	9,9
	TČ [kW]	0	0	0
Varianta FVE + BAT + TČ	FVE [kW <sub>p</sub> ]	10,2	10,2	10,2
	BAT [kWh]	0	0	0
	TČ [kW]	10,36	10,36	10,36

**Tab. 7.2** – Vyhodnocení optimální konfigurace modelového příkladu – kombinované varianty

Jak je z tabulky patrné, tak dle rychlého a nejméně přesného způsobu výpočtu, se ze všech variant jeví jako nejvýhodnější pořízení tepelného čerpadla voda – voda o jmenovitém výkonu okolo 10 kW bez instalace fotovoltaiky, stejné řešení našly i ostatní možnosti výpočtu. Hlavním cílem diplomové práce je však najít optimální konfiguraci fotovoltaického systému, možnost instalace tepelného čerpadla bez FVE je spíše doplňkovou funkcí výpočetního modelu.

Pro variantu výpočtu FVE+BAT se jeví jako nejvýhodnější varianta pořízení FVE o výkonu 10 kW<sub>p</sub> včetně bateriového úložiště o stejné kapacitě. Zároveň je patrné, že optimální konfigurace systému z ekonomického hlediska je značně limitována dotačními podmínkami titulu NZÚ, neboť hodnota 10 kW<sub>p</sub> je právě limitní hodnota pro získání dotace. To sice neznamená, že v případě vyššího instalovaného výkonu než 10 kW<sub>p</sub> nemá uživatel nárok na dotaci, ale že dalším navyšováním instalovaného výkonu se již nezvyšuje dotační podpora. Současné dotační podmínky nemotivují zákazníka k nastavení výkonu fotovoltaické elektrárny úměrně jeho spotřebě, z tohoto důvodu většina domácností instaluje fotovoltaické elektrárny o výkonu 10 kW<sub>p</sub>, přestože většinu vyrobené energie nejsou schopni reálně využít. Tím vzniká značné přetížení distribuční sítě, čímž je omezena výstavba dalších zdrojů na jiných objektech. Státní fond životního prostředí ČR se tomuto jevu pokouší zabránit, například nově je rezervovaný výkon ve smlouvě o připojení omezen na 50 % instalovaného výkonu, aby však zákazníci byli plně motivováni k výstavbě fotovoltaického zdroje dle jejich potřeby, musely by se zcela změnit dotační podmínky, a to nejen u programu NZÚ.

Dále byla také zhodnocena varianta FVE + BAT + TČ, což je varianta, která podmiňuje instalaci FVE i TČ. Pro tuto variantu vyšel stejný výsledek pro všechny způsoby výpočtu, a to 10 kW<sub>p</sub> FVE bez baterie s instalací tepelného čerpadla voda – voda o výkonu okolo 10 kW.

	Ukazatel	Rychlá	Střední	Pomalá
Všechny varianty (bez vlastní)	NPV [tis. Kč]	289,5	229,9	229,9
	IRR [%]	16,36 %	14,58 %	14,58 %
	DDN [let]	7,19	7,78	7,78
Varianta FVE + BAT	NPV [tis. Kč]	92,7	31,4	31,4
	IRR [%]	6,91 %	5,12 %	5,12 %
	DDN [let]	18,97	22,13	22,13
Varianta FVE + BAT + TČ	NPV [tis. Kč]	255,2	182,6	182,6
	IRR [%]	8,06 %	7,04 %	7,04 %
	DDN [let]	12,78	17,89	17,89

Tab. 7.3 – Vyhodnocení ekonomických ukazatelů modelového příkladu – kombinované varianty

V tabulce 7.3 jsou uvedeny ekonomické ukazatele pro příslušné konfigurace z tabulky 7.2. Optimální konfigurace, tedy instalování tepelného čerpadla o výkonu 10 kW bez fotovoltaické elektrárny, vychází ekonomicky efektivně. Čistá současná hodnota se v tomto případě pohybuje okolo 229 tis. Kč s mírou výnosnosti 14,58 %, přičemž investice by se měla navrátit za zhruba 8 let. V případě kombinované instalace fotovoltaiky i tepelného čerpadla vychází ekonomické ukazatele rovněž kladně, avšak s o něco nižší mírou výnosnosti.

	Ukazatel	Rychlá	Střední	Pomalá
Varianta TČ (vzduch – voda)	TČ [kW]	7,6	7,6	7,6
Varianta TČ (země – voda)	TČ [kW]	9,96	9,96	9,96
Varianta TČ (voda – voda)	TČ [kW]	10,36	10,36	10,36

Tab. 7.4 – Vyhodnocení optimální konfigurace modelového příkladu – pouze různé druhy tepelných čerpadel

Přestože primárním cílem výpočetního modelu je hledání optimalizace využití přebytků z fotovoltaického systému, aplikace také umožňuje vypočítat optimální výkon tepelného čerpadla, a to pro různé druhy tepelných čerpadel. V tomto případě je však výpočetní aplikace značně limitována, jelikož výkon tepelného čerpadla nelze při hledání optimálního řešení zvyšovat lineárně. Ve výpočetním modelu je proto pro každý druh tepelného čerpadla vybíráno pouze z šesti výkonových variant, které jsou od sebe výkonově vzdáleny o zhruba 2 kW. Jak je však z výpočtu patrné, optimální výkon tepelného čerpadla se bude pohybovat okolo 10 kW.

	Ukazatel	Rychlá	Střední	Pomalá
Varianta TČ (vzduch – voda)	NPV [tis. Kč]	30,9	-27	-27
	IRR [%]	6,00 %	1,88 %	1,88 %
	DDN [let]	9,89	>25	>25
Varianta TČ (země – voda)	NPV [tis. Kč]	166,8	98,9	98,9
	IRR [%]	10,63 %	8,35 %	8,35 %
	DDN [let]	9,38	9,72	9,72
Varianta TČ (voda – voda)	NPV [tis. Kč]	289,5	229,9	229,9
	IRR [%]	16,36 %	14,58 %	14,58 %
	DDN [let]	7,19	7,78	7,78

Tab. 7.5 – Vyhodnocení ekonomických ukazatelů modelového příkladu – pouze různé druhy tepelných čerpadel

Z ekonomických ukazatelů uvedených v tabulce 7.5 je zřejmé, že nejvýhodnějším typem tepelného čerpadla pro vybranou domácnost je čerpadlo voda – voda (studna), což je nejspíše způsobeno tím, že TČ voda – voda mají daleko vyšší topný faktor *COP* v zimních měsících, kdy je spotřeba tepla největší. Jelikož je přírodní teplo odebíráno z podzemní vody, která se nachází několik metrů pod zemí, je teplota na vstupu do výparníku v průběhu roku téměř konstantní okolo 10 °C, což zajišťuje stálou hodnotu topného faktoru. Jak již však bylo zmíněno, výpočetní model nedokáže ověřit, zda je tepelné čerpadlo v dané lokalitě možné instalovat či nikoliv. Zároveň nelze odhadnout přesnou výši vstupní investice, jelikož ta se odvíjí od mnoha faktorů. V tomto případě bych uživateli doporučil kontaktovat instalační firmu, aby vyhotovila cenovou nabídku a následně bych tuto nabídku znovu ověřil ve výpočetním modelu.

Důležité je také poznamenat, že ukazatele IRR a DDN mohou být značně zavádějící, jelikož u konfigurací s tepelnými čerpadly dochází k jejich reinvestici v průběhu doby porovnání. Kumulovaný diskontovaný peněžní tok se tak během doby porovnání může vyšplhat na kladnou hodnotu, avšak následně vlivem reinvestice do tepelného čerpadla na sklonku životnosti se diskontovaný kumulovaný cashflow může vrátit zpět do záporných čísel. Z tohoto důvodu se může vyskytovat více hodnot diskontované doby návratnosti. Tento jev může také značně ovlivnit přesnost a kredibilitu ukazatele IRR, z tohoto důvodu bude optimální varianta vždy zvolena podle ukazatele NPV.

	Ukazatel	Rychlá	Střední	Pomalá
Varianta FVE + BAT + TČ (vzduch – voda)	FVE [kW <sub>p</sub> ]	10,2	10,2	10,2
	BAT [kWh]	0	0	0
	TČ [kW]	7,6	7,6	7,6
Varianta FVE + BAT + TČ (země – voda)	FVE [kW <sub>p</sub> ]	10,2	10,2	10,2
	BAT [kWh]	0	0	0
	TČ [kW]	9,96	9,96	9,96
Varianta FVE + BAT + TČ (voda – voda)	FVE [kW <sub>p</sub> ]	10,2	10,2	10,2
	BAT [kWh]	0	0	0
	TČ [kW]	10,36	10,36	10,36

Tab. 7.6 – Vyhodnocení optimální konfigurace modelového příkladu – různé druhy tepelných čerpadel s FVE

Asi nepřekvapivým výsledkem je, že optimální konfigurace pro variantu kombinující fotovoltaiku a tepelné čerpadlo vyšla pro všechny možnosti výpočtu stejná, a to FVE o výkonu 10 kW<sub>p</sub> a tepelné čerpadlo o výkonu zhruba 10 kW.

	Ukazatel	Rychlá	Střední	Pomalá
Varianta FVE + BAT + TČ (vzduch – voda)	NPV [tis. Kč]	46,4	-25,4	-25,4
	IRR [%]	4,93 %	3,45 %	3,45 %
	DDN [let]	22,42	>25	>25
Varianta FVE + BAT + TČ (země – voda)	NPV [tis. Kč]	142,9	60,9	60,9
	IRR [%]	6,24 %	5,01 %	5,01 %
	DDN [let]	19,43	22,11	22,11
Varianta FVE + BAT + TČ (voda – voda)	NPV [tis. Kč]	255,2	182,6	182,6
	IRR [%]	8,06 %	7,04 %	7,04 %
	DDN [let]	12,78	17,89	17,89

Tab. 7.7 – Vyhodnocení ekonomických ukazatelů modelového příkladu – různé druhy tepelných čerpadel s FVE

Zajímavým zjištěním je, že instalace tepelného čerpadla vzduch-voda v kombinaci s fotovoltaickou elektrárnou vedla ke zvýšení ekonomické efektivity, na rozdíl od ostatních typů tepelných čerpadel, kde došlo k výraznému zhoršení ekonomické efektivity. Tento jev lze vysvětlit současným nastavením dotačních podmínek programu NZÚ. Instalace samotného tepelného čerpadla vzduch-voda je momentálně podporována částkou 100 000 Kč, zatímco tepelná čerpadla země-voda a voda-voda jsou podporována částkou 140 000 Kč. Dotační podpora pro instalaci pouze tepelného čerpadla a instalaci čerpadla a fotovoltaiky dosahuje stejné výše pro TČ země-voda a voda-voda. U tepelných čerpadel vzduch-voda je však v případě instalace FVE dotace o zhruba 40 tis. Kč vyšší, což výrazně ovlivňuje výslednou ekonomiku.

## 7.4 Zhodnocení výsledků

V předchozí podkapitole bylo provedeno vyhodnocení ekonomických ukazatelů pro všechny různé varianty výpočetního modelu. Dle ukazatele čisté současné hodnoty vyšla jako optimální varianta instalace tepelného čerpadla voda – voda o výkonu 10,36 kW bez fotovoltaické elektrárny. Jak již bylo zmíněno hlavním cílem této diplomové práce je optimalizace fotovoltaického systému a samostatné vyhodnocení instalace tepelných čerpadel je spíše doplňkovou funkcí. Optimální konfigurací fotovoltaického systému je instalace zdroje o výkonu 10 kW<sub>p</sub> společně s tepelným čerpadlem voda – voda o výkonu 10,36 kW bez bateriového úložiště. Zajímavým poznatkem však je, že instalace samotného tepelného čerpadla může být ekonomicky výhodnější než instalace fotovoltaiky.

Pokud porovnáme přesnost výpočtu v závislosti na rychlosti výpočtu, pak je patrné, že v případě zanedbání ztrát vlivem degradace se může nerentabilní konfigurace jevit jako ekonomicky efektivní. Zároveň je patrné, že optimální varianta se bude s velmi vysokou pravděpodobností nacházet ve výkonovém rozmezí určeném dotačními podmínkami. Z tohoto důvodu bych pro budoucí výpočty doporučoval vždy zvolit střední rychlost výpočtu.

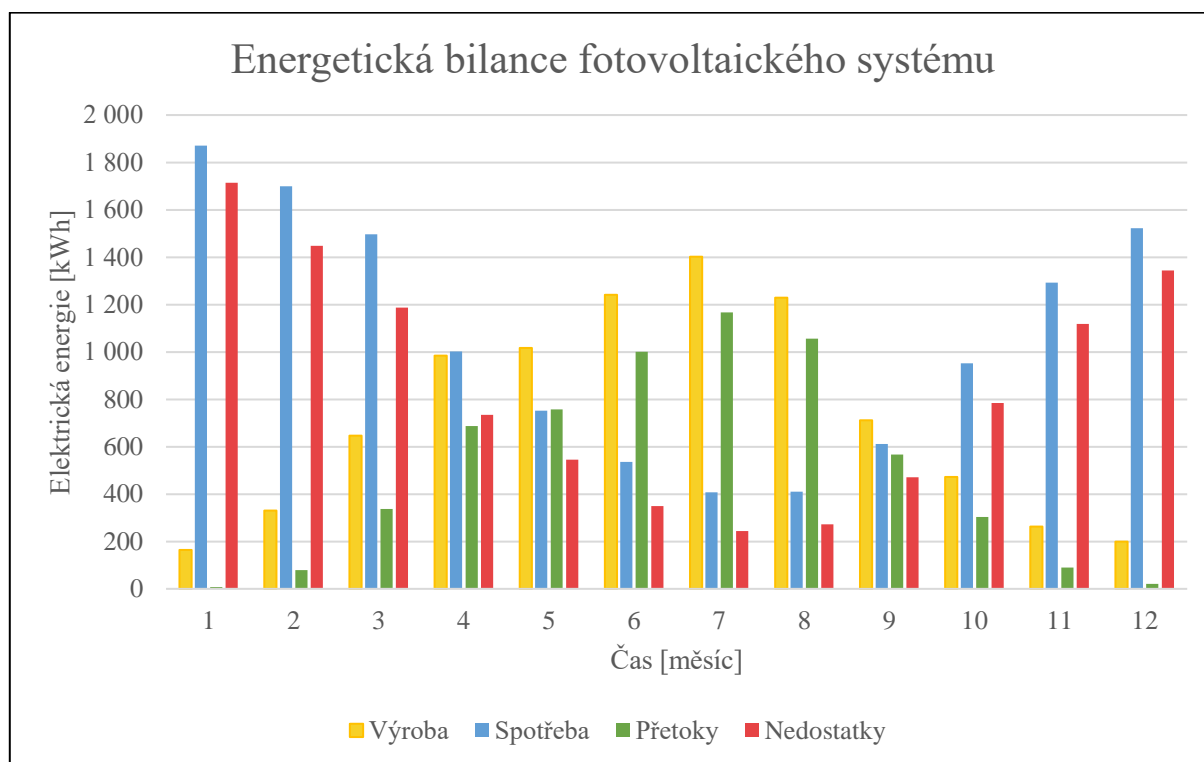
Dalším poznatkem je, že instalace tepelných čerpadel pro využití přebytků z FVE vychází ekonomicky efektivněji, než instalace bateriových úložišť. To je nejspíše způsobeno tím, že technologie bateriových úložišť je i v dnešní době stále poměrně nákladná. Zároveň je v dnešní době stále poměrně vysoká výkupní cena přebytečné elektrické energie, tudíž přidaná hodnota baterie není až tolik viditelná. Lze však očekávat, že tento trend se do budoucna bude měnit, jelikož jak je patrné z grafu 4.3, ceny bateriových úložišť v průběhu let značně klesaly, zároveň lze očekávat, že výkupní cena přebytků bude do budoucna také klesat. S pokračujícím vývojem technologií a strukturou cen na trhu je tedy možné, že se v budoucnu bateriová úložiště stanou ekonomicky konkurenceschopnějšími.

V kapitole vyhodnocení byly detailně rozebrány pouze ekonomické ukazatele dané konfigurace. Výsledkem výpočetního modelu je však také detailní vyhodnocení roční platby za energii. Celkové vyhodnocení ekonomického modelu pro optimální konfiguraci fotovoltaického systému (FVE 10,2 kW<sub>p</sub>, TČ 10,36 kW) je uvedeno níže:

Optimální varianta	
Instalovaný výkon FVE	10,2 kW <sub>p</sub>
Kapacita bateriového úložiště	Bez instalace baterie
Jmenovitý výkon tepelného čerpadla	10,36 kW
Typ tepelného čerpadla	TČ voda – voda

Tab. 7.8 – Optimální konfigurace fotovoltaického systému dle výpočetního modelu

Jak již bylo zmíněno optimální variantou dle výpočetního modelu je instalace tepelného čerpadla bez fotovoltaické elektrárny, avšak cílem této diplomové práce je navrhnout ekonomicky nejvýhodnější fotovoltaický systém s ohledem na využití přebytečné energie, z tohoto důvodu bude dále posuzována tato varianta.



Graf 7.2 – Energetická bilance optimální konfigurace fotovoltaického systému dle výpočetního modelu

Na grafu 7.2 je znázorněna energetická bilance fotovoltaické elektrárny v průběhu roku, jak je patrné, využití vyrobené elektrické energie je poměrně nízké, z celkové roční výroby 8,66 MWh se pro spotřebu objektu využilo pouze 2,59 MWh, což odpovídá zhruba 30 % využití. To je nejspíše způsobeno tím, že během pracovních dní je nejvyšší spotřeba elektrické energie v ranních a večerních hodinách, zároveň v letních měsících, kde je výroba elektrické energie nejvyšší, není potřeba provozovat tepelné čerpadlo za účelem vytápění.

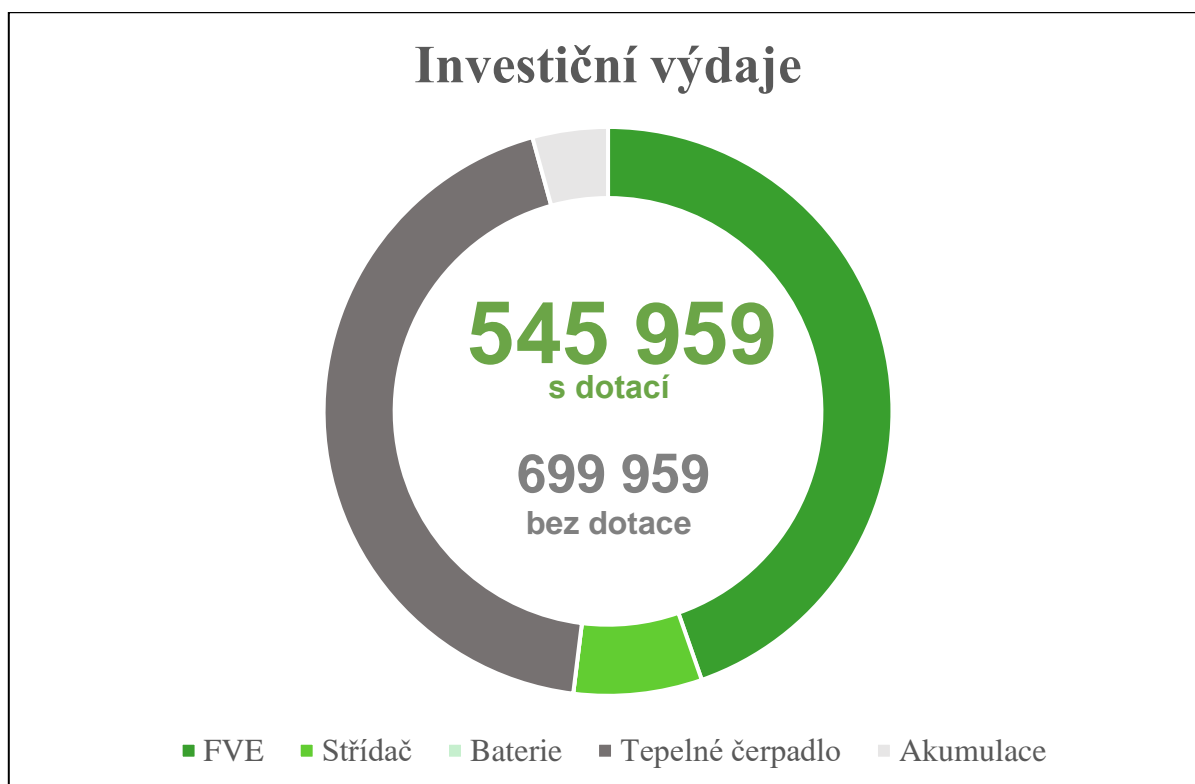
Ekonomické ukazatele		
NPV	182 560	Kč
IRR	7,04 %	%
RCF	11 686	Kč
Prostá doba návratnosti	9,73	let
Diskontovaná doba návratnosti	17,89	let

Tab. 7.9 – Ekonomické ukazatele optimální konfigurace fotovoltaického systému dle výpočetního modelu



Orientační cenový rozklad		
Dodávka FVE 9,86 kW <sub>p</sub> včetně instalace	312 568	Kč
Dodávka asymetrického střídače včetně instalace	51 100	Kč
Dodávka bateriového úložiště včetně instalace	0	Kč
Dodávka tepelného čerpadla 10,36 kW včetně instalace	306 291	Kč
Dodávka akumulční nádrže včetně instalace	30 000	Kč
<b>Celková cena systému včetně DPH</b>	<b>699 959</b>	<b>Kč</b>
Možná výše dotace z dotačního titulu NZÚ	154 000	Kč
<b>Celková cena systému se zahrnutím dotace včetně DPH</b>	<b>545 959</b>	<b>Kč</b>

Tab. 7.10 – Orientační cenový rozklad optimální konfigurace fotovoltaického systému dle výpočetního modelu



Graf 7.3 – Graf vyhodnocení investičních výdajů optimální konfigurace fotovoltaického systému dle výpočetního modelu

V tabulce 7.10 je uveden orientační cenový rozklad pro danou konfiguraci fotovoltaického systému s tepelným čerpadlem. Jak je patrné, tak největší položkou je dodávka fotovoltaické elektrárny, která by včetně instalace měla vyjít na cca 312 tis. Kč, druhou největší položkou je dodávka tepelného čerpadla voda – voda, která by včetně instalace měla vyjít na zhruba 306 tis. Kč. Možná výše dotace z programu NZÚ je 154 tis. Kč včetně započtení 10 % bonusu pro znevýhodněné lokality.

<b>Vyhodnocení roční úspory</b>			
	<b>Výchozí stav</b>	<b>Stav po optimalizaci</b>	
Spotřeba elektrické energie ve vysokém tarifu	3 770	1 764	kWh/rok
Spotřeba elektrické energie v nízkém tarifu	1 101	8 450	kWh/rok
Spotřeba zemního plynu	31 687	448	kWh/rok
Spotřeba tuhých paliv	10 512	0	kWh/rok
<b>Elektrina</b>			
Silová složka VT	11 562	5 471	Kč/rok
Silová složka NT	3 074	25 111	Kč/rok
Měsíční poplatek	486	486	Kč/rok
Distribuční poplatek VT	8 125	1 144	Kč/rok
Distribuční poplatek NT	482	3 702	Kč/rok
Platba za jistič	2 364	11 580	Kč/rok
Systémové služby	1 037	2 174	Kč/rok
POZE	2 411	5 056	Kč/rok
Daň z elektřiny	138	289	Kč/rok
<b>Celkem za elektřinu (bez DPH)</b>	<b>29 679</b>	<b>55 011</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Celkem za elektřinu (s DPH)</b>	<b>35 911</b>	<b>66 564</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Zemní plyn</b>			
Obchodní složka ceny	39 229	555	Kč/rok
Měsíční poplatek	565	565	Kč/rok
Poplatek za distribuci	8 729	299	Kč/rok
Měsíční poplatek za přistavenou kapacitu	3 827	1 244	Kč/rok
Poplatek ERU a OTE	90	1	Kč/rok
<b>Celkem za zemní plyn (bez DPH)</b>	<b>52 439</b>	<b>2 664</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Celkem za zemní plyn (s DPH)</b>	<b>63 451</b>	<b>3 223</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Tuhá paliva</b>			
<b>Celkem (s DPH)</b>	<b>12 241</b>	<b>0</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Celková roční platba za energii</b>			
<b>Roční platba</b>	<b>111 603</b>	<b>69 787</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Celková roční úspora za platbu za energii</b>	<b>41 816</b>		<b>Kč/rok</b>
<b>Prodej přebytků elektrické energie do sítě</b>			
<b>Odhadované výnosy z prodeje přebytků v prvním roce</b>		<b>11 902</b>	<b>Kč/rok</b>

Tab. 7.11 – Vyhodnocení celkové roční úspory pro optimální konfiguraci fotovoltaického systému dle výpočetního modelu

Instalací tepelného čerpadla a FVE dojde k navýšení spotřeby elektřiny o zhruba 5,3 MWh, což se promítne do zvýšení výdajů za elektrickou energii o zhruba 30 tis. Kč. K úspoře dojde naopak u platby za zemní plyn, kdy spotřeba z 31 MWh klesne na zhruba 0,5 MWh, čímž se objekt stane prakticky nezávislý na dodávce zemního plynu. Přestože se mohou tuhá paliva pro vytápění a ohřev vody v objektu využívat i nadále, tato možnost není ve výpočetním modelu uvažována, jelikož zdroj na tuhá paliva není vhodný pro bivalenci k tepelnému čerpadlu, v případě potřeby však možnost vytápět pomocí krbových kamen nadále existuje.

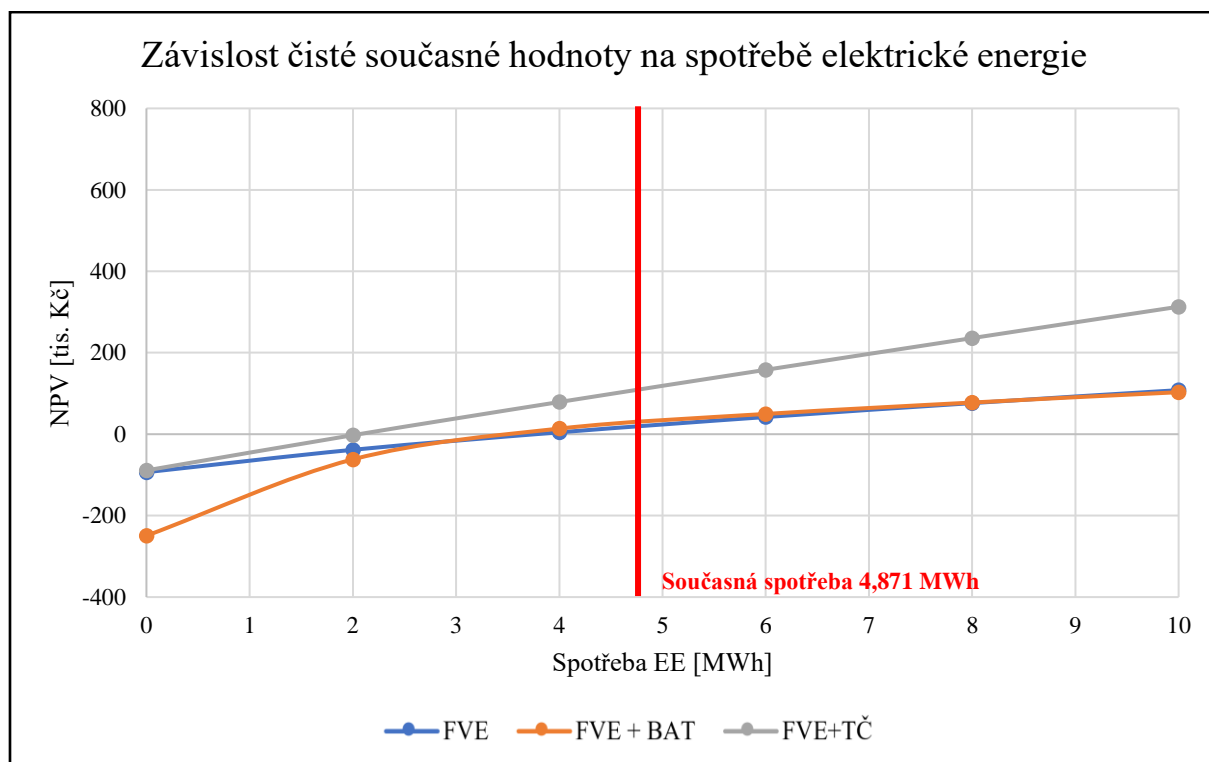
Díky opatřením zaměřeným na úsporu energie je celková energetická spotřeba v objektu nyní zhruba čtyřikrát nižší než v původním stavu. Tento výsledek by naznačoval poměrně

vysokou hodnotu sezónního topného faktoru (SCOP) tepelného čerpadla. Je však důležité si uvědomit, že uvedená spotřeba energie ve výchozím stavu zahrnuje spotřebu daného typu paliva a skutečná spotřeba tepla v objektu je nižší kvůli účinnosti zdroje vytápění. Kromě toho úspory energie v objektu nezpůsobuje pouze tepelné čerpadlo, ale také fotovoltaická elektrárna.

## 7.5 Citlivostní analýza

Součástí této podkapitoly bude analýza citlivosti výsledků optimální konfigurace na změně vstupních parametrů. Cílem citlivostní analýzy je zhodnotit, které vstupní parametry mají na výsledné ekonomické ukazatele největší vliv. V rámci citlivostní analýzy budou mezi sebou porovnány vždy 3 možné konfigurace fotovoltaického systému:

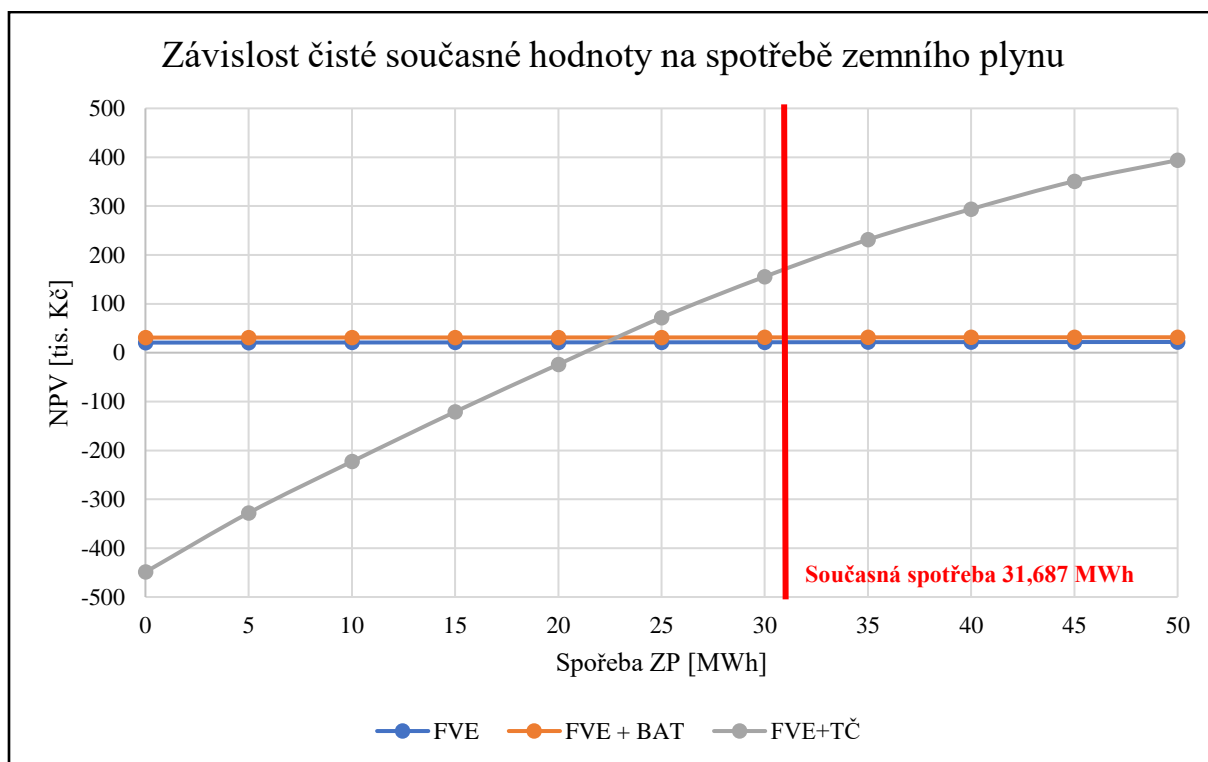
- 1) Instalace FVE 10,2 kW<sub>p</sub> bez bateriového úložiště a TČ
- 2) Instalace FVE 9,9 kW<sub>p</sub> s bateriovým úložištěm 9,9 kWh bez TČ
- 3) Instalace FVE 10,2 kW<sub>p</sub> s TČ voda – voda 10,36 kW – **Optimální varianta dle modelu**



Graf 7.4 – Závislost čisté současné hodnoty na průměrné roční spotřebě elektrické energie

Na grafu 7.4 je vynesena závislost NPV na průměrné roční spotřebě elektrické energie v objektu, přičemž bylo uvažováno se zachováním stejného poměru spotřeby elektrické energie ve vysokém a nízkém tarifu, jako při výchozím stavu. Z grafu je patrné, že s rostoucí spotřebou elektrické energie v objektu se rovněž zvyšuje ekonomická efektivita všech konfigurací fotovoltaického systému. Poměrně zajímavým zjištěním je, že nejvyšší nárůst ukazatele NPV v závislosti na spotřebě elektrické energie je při konfiguraci FVE+TČ. To je způsobeno tím, že instalací tepelného čerpadla dojde ke změně distribuční sazby (z D25d na D57d). Sazba D57d disponuje 22 hodinami NT, čímž dojde ke značnému snížení poplatku za distribuci energie oproti výchozímu stavu, což způsobuje výrazné zvýšení ekonomické efektivity.

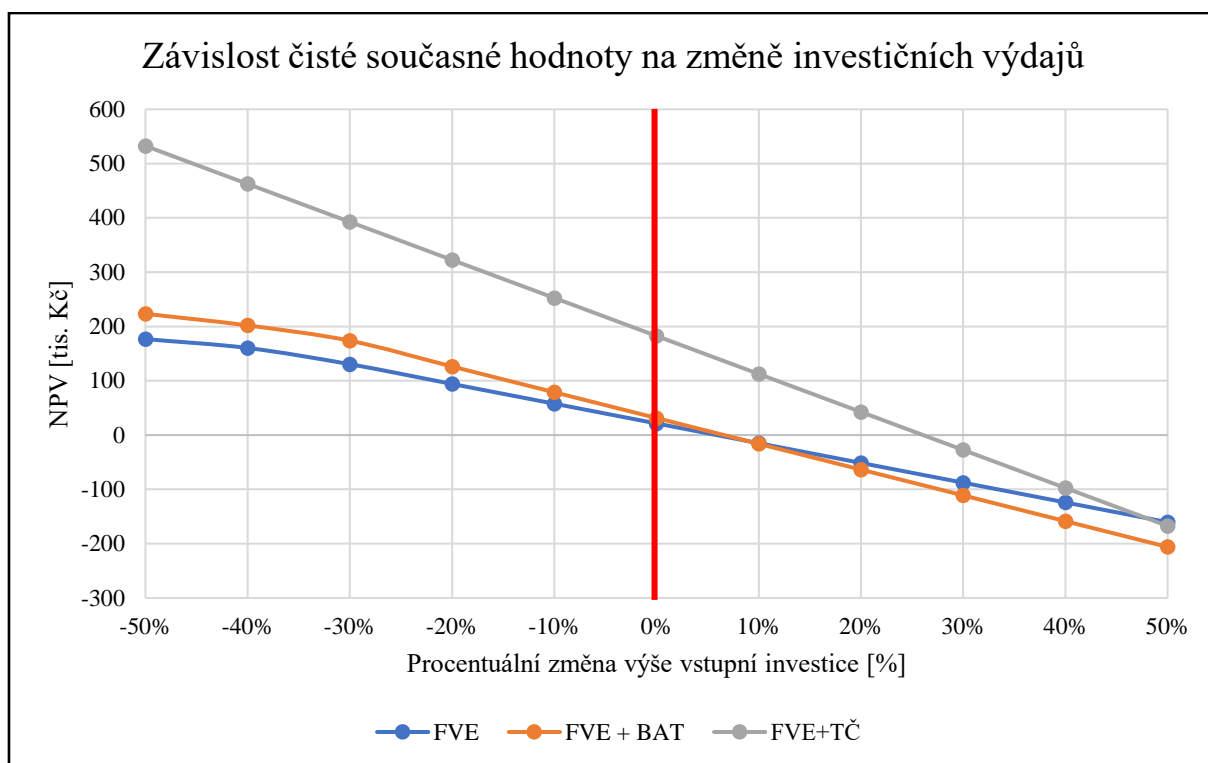
Dále je patrný strmý nárůst ukazatele NPV při roční spotřebě 0 až 4 MWh, s následným mírným nárůstem až do spotřeby 10 MWh/rok u konfigurace FVE+BAT. Tento jev je pravděpodobně způsoben tím, že při nízké spotřebě elektřiny je efekt baterie výrazně větší, jelikož dokáže kompenzovat nedostatek energie v hodinách, kdy fotovoltaický systém neprodukuje elektřinu. S rostoucí spotřebou se tento efekt snižuje, až dosáhne svého limitu. Při určité úrovni spotřeby elektrické energie by charakteristika NPV byla již konstantní, protože fotovoltaický systém by neprodukoval žádné přebytky elektrické energie. Zároveň je patrné, že instalace fotovoltaického systému s bateriovým úložištěm je více rentabilní než konfigurace bez baterie pouze v rozmezí průměrné roční spotřeby cca 3–8 MWh, při větší či menší spotřebě je ekonomicky výhodnější varianta bez bateriového úložiště. Důležité je však mít na paměti, že pokud by se dramaticky zvýšila spotřeba ve výchozím stavu mohlo by dojít ke změně distribuční sazby, tudíž už by tato citlivostní analýza nedávala smysl.



**Graf 7.5** – Závislost čisté současné hodnoty na průměrné roční spotřebě zemního plynu

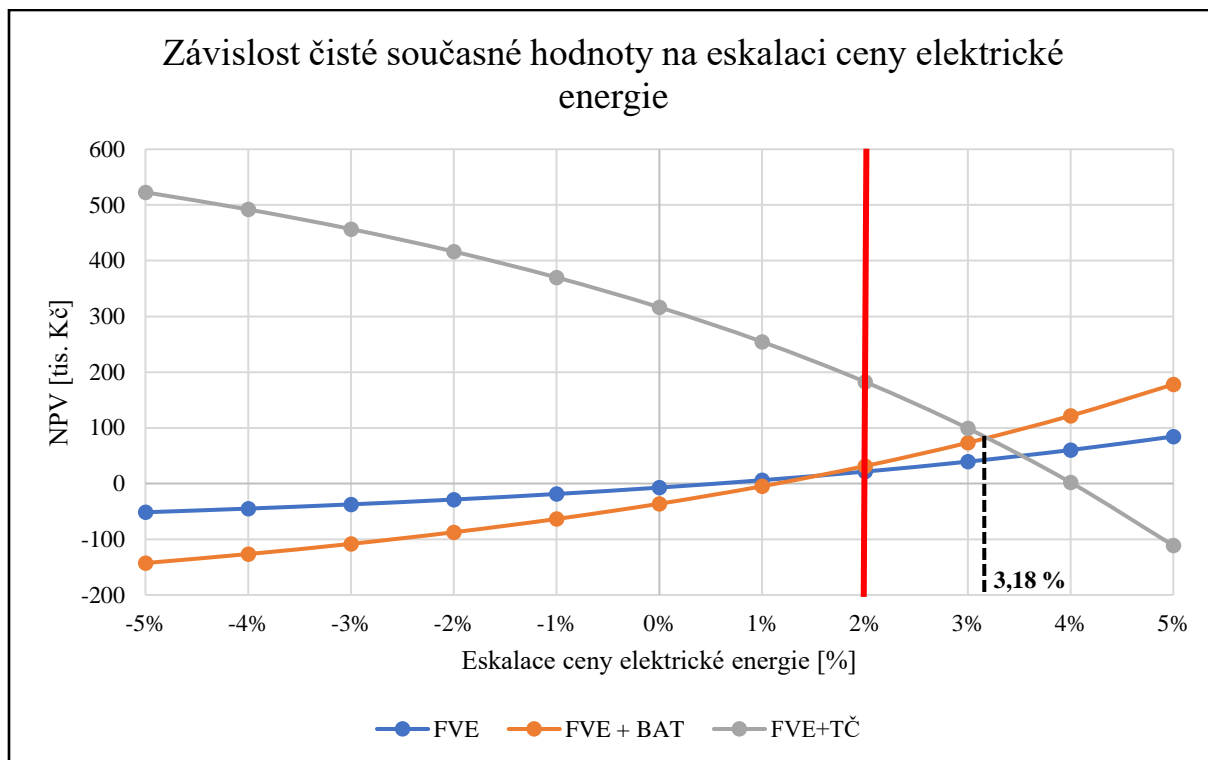
Na grafu 7.5 je vynesena závislost čisté současné hodnoty na průměrné roční spotřebě zemního plynu v objektu. Z charakteristiky je patrné, že výše roční spotřeby zemního plynu nemá takřka žádný vliv na ekonomickou efektivitu pro konfigurace FVE a FVE+BAT. Nepatrný nárůst je způsoben tím, že zvyšující se spotřebou zemního plynu se zvyšuje také spotřeba elektrické energie plynového zdroje, čímž dojde ke změně profilu spotřeby elektrické energie. Vzhledem k tomu, že plynový zdroj je v provozu i v poledních hodinách, je nový profil spotřeby elektrické energie výhodnější pro instalaci fotovoltaického systému, jelikož dochází k o něco menším přebytkům.

Z grafu lze rovněž vyzorovat, že pokud by roční spotřeba zemního plynu byla nižší než 23 MWh/rok, pak by ekonomicky výhodnější variantou bylo pořízení fotovoltaického systému bez tepelného čerpadla. Alternativní možností by bylo snížení výkonu tepelného čerpadla, určení ekonomicky výhodnější konfigurace by vyžadovalo znovu přepočítat výsledky výpočetní aplikace pro nově zvolené vstupní parametry.



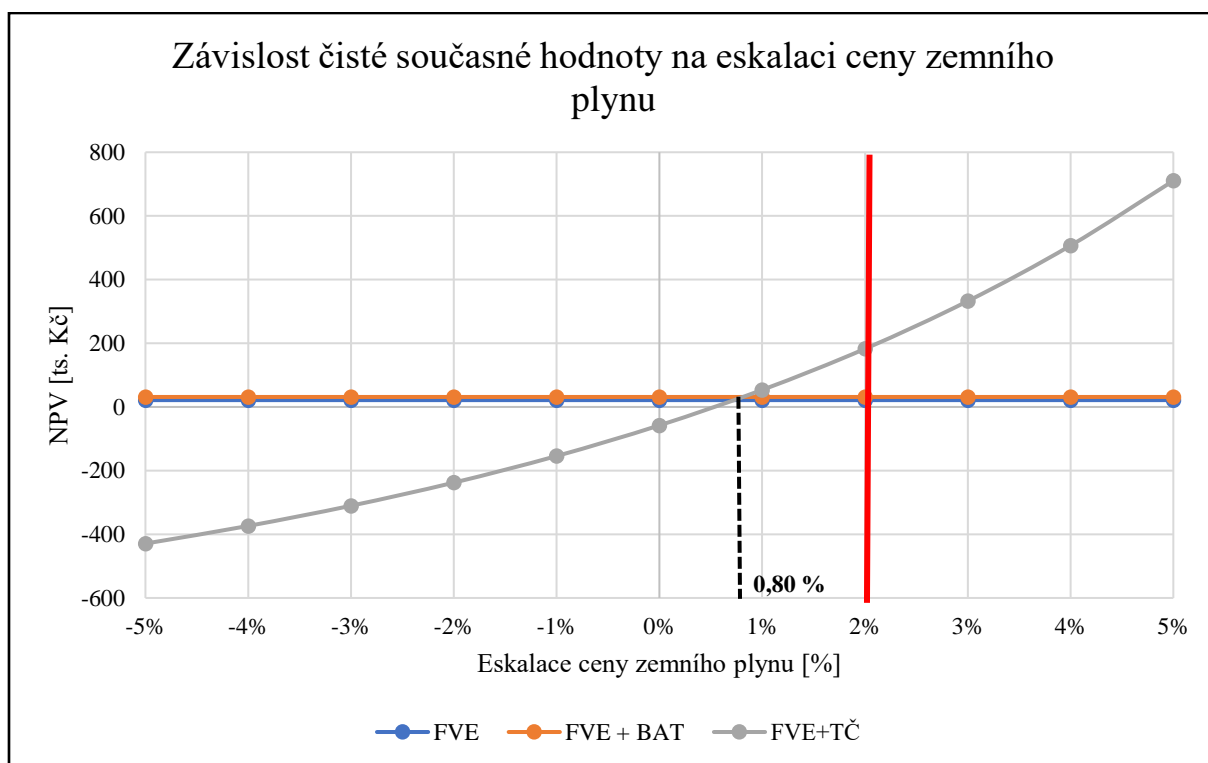
**Graf 7.6** – Závislost čisté současné hodnoty na procentuální změně výše vstupní investice

Na grafu 7.6 je vyobrazena závislost ukazatele NPV na procentuální změně výše vstupní investice. Z principu této charakteristiky by se dalo očekávat, že bude čistě lineární, jak je však patrné, charakteristika pro konfigurace FVE a FVE+BAT lineární není. To je způsobeno tím, že při určitém snížení vstupních výdajů se začne snižovat výše podpory z dotačního titulu NZÚ, jelikož jednou z podmínek je, že maximální výše podpory je omezena na 50 % investičních výdajů. Z grafu je rovněž patrné, že všechny tři konfigurace jsou silně závislé na výši vstupní investice. Zejména u konfigurace s tepelným čerpadlem je poměrně pravděpodobné, že skutečná výše vstupních výdajů se může lišit. Z tohoto důvodu je potřeba brát výsledky výpočetní aplikace s jistou rezervou. Vhodným řešením je nechat si od instalační firmy vyhotovit cenovou nabídku, a tu následně znovu ověřit ve výpočetní aplikaci.



**Graf 7.7** – Závislost čisté současné hodnoty na eskalaci ceny elektrické energie

Z charakteristiky uvedené na grafu 7.7 lze vypočítat, že s zvyšující se cenou elektrické energie klesá ekonomická efektivita konfigurace FVE+TČ, zatímco u variant FVE a FVE+BAT ukazatel NPV roste. To je způsobeno tím, že těchto konfigurací vlivem úsporných opatření klesá roční spotřeba elektriny v objektu oproti výchozímu stavu. U instalace s tepelným čerpadlem se naopak spotřeba elektrické energie zvyšuje. Vývoj ceny elektrické energie nelze nikdy přesně odhadnout, pokud by průměrná roční eskalace ceny elektrické energie za dobu porovnání byla pouze 1 %, pak by již byla ekonomicky efektivnější instalace FVE bez bateriového úložiště oproti instalaci s baterií. Zároveň pokud by byl nárůst ceny elektrické energie ještě výraznější, okolo 3,18 %, pak by již ekonomicky nejvýhodnější variantou nebyla konfigurace s tepelným čerpadlem, nýbrž instalace s baterií.



**Graf 7.8** – Závislost čisté současné hodnoty na eskalaci ceny zemního plynu

Dalším důležitým vstupním parametrem je eskalace ceny zemního plynu. Z analýzy uvedené charakteristiky vyplývá, že cena zemního plynu nemá vliv na konfigurace FVE a FVE+BAT, jelikož tyto instalace nepředstavují žádnou úsporu zemního plynu. Naopak, konfigurace s tepelným čerpadlem je výrazně ovlivněna cenou zemního plynu, protože hlavní úspory energie jsou dosaženy při vytápění a ohřevu teplé vody právě zemním plynem. Z grafu je zřejmé, že pokud by průměrná roční eskalace ceny zemního plynu byla nižší než přibližně 0,80 %, pak by bylo ekonomicky výhodnější instalovat fotovoltaický systém bez tepelného čerpadla. Naopak, při vyšší eskalaci ceny zemního plynu než 2 % by ekonomická efektivita této konfigurace byla ještě výraznější.

# Závěr

---

Cílem této závěrečné práce bylo sestrojít analytický výpočetní nástroj, který na základě vstupních parametrů od uživatele dokáže navrhnout optimální fotovoltaický systém pro rodinné domy, včetně vyhodnocení varianty využití přebytečné energie pro bateriové úložiště či tepelné čerpadlo. Výpočetní nástroj by měl být navíc univerzální a vhodný pro širokou škálu různých výchozích konfigurací. Aby bylo možné nástroj využít pro jakýkoliv rodinný dům, musela být přijata řada vstupních a zjednodušujících předpokladů, jinak by tvorba výpočetní aplikace byla extrémně náročná a složitá. Vzhledem k množství přijatých předpokladů nelze předpokládat, že výpočetní aplikace bude poskytovat absolutně přesné a ekonomicky optimální řešení. Hlavním cílem výpočetní aplikace je doporučit uživateli ekonomicky nejvýhodnější konfiguraci fotovoltaického systému, kterou si uživatel může následně poplatit u instalační společnosti. Výpočetní aplikace umožňuje rovněž výpočet ekonomické efektivity vlastní konfigurace fotovoltaického systému včetně vlastního nacenění vstupních investičních výdajů. Tuto funkci je doporučeno využít pro ověření rentability cenové nabídky od instalační firmy.

Jedním z největších úskalí tvorby této výpočetní aplikace bylo správné určení hodinového profilu spotřeby elektrické energie. Hodinový profil spotřeby elektrické energie je totiž pro výpočet optimálního fotovoltaického systému naprosto klíčový, jelikož je potřeba co nejpresněji odhadnout využití fotovoltaické elektrárny včetně výše přebytečné energie, od které se odvíjí ekonomická efektivita celé instalace. Jednou z nabízených variant bylo využití typových diagramů dodávek (TDD), které představují průměrný hodinový odběr elektřiny pro určité třídy odběratelů dle distribučních sazeb. Typové diagramy dodávek však k tomuto účelu nejsou zcela vhodné, jelikož jsou značně zprůměrované. Z toho důvodu může být spotřeba elektřiny během poledních hodin často vyšší, než ve skutečnosti, jelikož v tento čas je řada domácností mimo domov. Z tohoto důvodu jsem zvolil jinou metodu odhadu hodinového profilu spotřeby elektrické energie, a to pomocí výkonu běžných domácích spotřebičů a způsobu jejich využívání. V případě, kdy daná domácnost navíc využívá elektřinu pro vytápění byl profil spotřeby elektrické energie stanoven pomocí hodinostupňové metody, pro ohřev teplé vody byly využity normované profily spotřeby. U spotřeby elektrické energie pro vytápění či ohřev vody je navíc potřeba rozlišovat, zda má uživatel instalovaný akumulární či průtočný zdroj tepla. V případě akumulárních zdrojů tepla je totiž profil spotřeby elektrické energie naprosto odlišný a často koreluje s časy spínání systému HDO (pokud domácnost využívá dvoutarifní distribuční sazbu). Výsledný profil spotřeby elektrické energie vznikne spojením profilu běžných domácích spotřebičů a profilu spotřeby elektřiny pro vytápění a ohřev TV.

Dalším problémem bylo odhadnout potřebu energie pro vytápění a ohřev teplé vody v domácnosti. K tomuto účelu jsem využil rovnice 5.2 a 5.5, které vycházejí z normovaného způsobu výpočtu teoretické spotřeby energie. Dále bylo potřeba porovnat teoretickou spotřebu energie pro vytápění a ohřev teplé vody se skutečnou spotřebou energie v domácnosti a vypočítat kolik energie bylo reálně využito pro domácí spotřebiče, vytápění a pro ohřev TV. Důležité bylo také to, aby výsledný hodinový profil korespondoval s reálnou roční spotřebou elektrické energie v nízkém a vysokém tarifu.



Po sestavení technického a ekonomického modelu výpočetní aplikace bylo ještě potřeba navrhnout metodu hledání optimálního řešení. Jednou z nabízených variant bylo využití nástroje Solver, který je součástí softwaru MS Excel. Problémem tohoto nástroje je, že k nalezení optimální varianty využívá gradientní metodu či evoluční algoritmus, který v případě takto komplexního modelu často nalezne pouze dílčí optimální řešení. Z tohoto důvodu jsem zvolil jiný způsob výpočtu. Nejjednodušším, avšak nejpomalejším řešením, které se nabízelo byla tzv. metoda brute force, tedy iterace skrze všechny možné konfigurace fotovoltaického systému, přičemž jako optimální se následně zvolí ta s nejvyšší hodnotou ekonomického ukazatele NPV. Tento přístup má tu výhodu, že vždy a spolehlivě nalezne optimální variantu. Na druhou stranu tato metoda vyžaduje poměrně značné množství času, než dokáže optimální variantu nalézt. Z tohoto důvodu jsem zavedl 3 varianty (rychlosti) výpočtu, přičemž varianta rychlá zanedbává ztráty vlivem degradace všech technologií využitých v systému, a navíc iterace probíhá pouze do zisku maximální možné dotační podpory, jelikož lze předpokládat, že optimální konfigurace se bude s vysokou pravděpodobností nacházet právě v tomto intervalu, což se také potvrdilo ve vzorovém příkladu.

Aby nezůstalo pouze u teoretického výkladu, bylo využití výpočetní aplikace znázorněno na modelovém příkladu. Pro tento příklad jsem zvolil rodinný dům nacházející se v městě Petřvald nedaleko od Ostravy. Jednalo se o poměrně starý a rozsáhlý objekt s výraznou tepelnou ztrátou. Dle zadaných vstupních předpokladů byla jako optimální varianta zvolena instalace tepelného čerpadla voda – voda o výkonu cca 10 kW bez fotovoltaického zdroje. Jelikož cílem této diplomové práce je zhodnotit optimální využití přebytečné energie z fotovoltaického zdroje, byla jako optimální varianta zvolena druhá ekonomicky nejvýhodnější konfigurace, a to instalace tepelného čerpadla voda – voda včetně fotovoltaického zdroje o výkonu 10 kW<sub>p</sub>. Z výsledků poskytnutých výpočetní aplikací je patrné, že ekonomická efektivita je u všech konfigurací řízena dotační podporou, kvůli toho většina domácností instaluje FVE o maximálním možném podporovaném výkonu 10 kW<sub>p</sub> a nevolí výkon úměrně dle jejich spotřeby, čímž dochází k přetížení distribuční sítě. Jedním z možných řešení by bylo odvíjet dotační podporu od výše uspořené energie, jako je to například v současných podmínkách výzvy OP TAK – Úspory energie. Změna dotačních podmínek by však výrazně zkomplikovala výpočet celkové výše dotace a pro laické uživatele by se staly dotační podmínky ještě více nepřehledné.

Z výpočtu je navíc patrné, že mezi rychlou a střední variantou rychlosti výpočtu byly výrazné rozdíly v ekonomických ukazatelích, jelikož střední varianta výpočtu již ztráty vlivem degradace zvažuje. Zároveň jsem vyzoroval, že střední i pomalá varianta výpočtu vždy zvolila stejnou optimální konfiguraci systému, tudíž pro budoucí využití aplikace bych doporučil zvolit střední rychlost pro výpočet optimální konfigurace.

Na závěr jsem provedl citlivostní analýzu nejrůznějších vstupních parametrů výpočetního modelu. Jedním z výstupů této analýzy bylo, že vyšší spotřeba elektrické energie ve výchozím stavu pozitivně ovlivňuje ekonomickou efektivitu zvolené konfigurace s tepelným čerpadlem, stejně tak vyšší spotřeba zemního plynu. V rámci citlivostní analýzy nebyla zkoumána pouze konfigurace s FVE a tepelným čerpadlem, ale také konfigurace FVE bez baterie a s baterií. Jedním z dalších vstupních parametrů, pro který byla zpracována citlivostní analýza byla eskalace ceny elektrické energie, z výsledné charakteristiky je patrné, že s vyšší eskalací ceny elektrické energie klesala ekonomická efektivita konfigurace s tepelným

čerpádem, jelikož toto opatření zvyšuje celkovou roční spotřebu elektřiny. Naopak u variant FVE a FVE s baterií se ekonomická efektivita zvyšovala.

Z vyhodnocení modelového příkladu je zřejmé, že výpočetní aplikace dokáže posoudit ekonomickou efektivitu různých konfigurací fotovoltaických systémů a navrhnout optimální variantu. Avšak jeden z hlavních nedostatků aplikace spočívá v odhadu investičních výdajů na základě průměrných hodnot. Určení investičních výdajů pro instalaci fotovoltaického systému je velice složité, neboť se odlišují pro každý rodinný dům. Jeden ze způsobů, jak zlepšit přesnost výsledků výpočetního modelu, by mohla být spolupráce s instalační firmou, která by poskytla detailní ceník komponent a služeb potřebných pro daný fotovoltaický systém. Ačkoliv výpočetní aplikace pracuje s mnoha zjednodušujícími předpoklady, které by mohly být upraveny, rozsah této diplomové práce neumožňuje jejich další zpřesnění. Například při instalaci tepelného čerpadla by mohlo být zohledněno jeho zapojení do nízkoteplotního rozvodu s následným dohřevem teplé vody elektrokotlem. Tento způsob umožňuje zvýšit účinnost tepelného čerpadla a tím zlepšit ekonomickou efektivitu. Každá další proměnná v modelu však výrazně komplikuje a prodlužuje hledání optimální varianty.

# Literatura

---

- [1] CHODOS, Alan. *April 25, 1954: Bell Labs Demonstrates the First Practical Silicon Solar Cell*. [online]. [cit. 2023-10-10]. Dostupné z: <https://www.aps.org>
- [2] KUSALA, Jaroslav. *Solární energie*. [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://www.cez.cz>
- [3] MUJGOŠ, Michal. *Typy solárních systémů (FVE)*. [online]. Poslední změna: 04.01.2023. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://evolty.cz>
- [4] MUJGOŠ, Michal. *Solární měnič a jak si ho vybrat*. [online]. Poslední změna: 30.12.2022. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://evolty.cz>
- [5] LÁZOKOVÁ, Eva. *Je fotovoltaika bezpečná? Jaká jsou reálná rizika?* [online]. Poslední změna: 05.10.2023. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://www.woltair.cz>
- [6] VOBOŘIL, David. *Příčiny solárního boomu v České republice*. [online]. Poslední změna: 22. 03. 2015. [cit. 2023-10-10]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz>
- [7] Energetický regulační úřad. *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy české republiky za rok 2006-2022*. [online]. [cit. 2023-10-11]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/>
- [8] Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Počet fotovoltaických elektráren zapojených do sítě se od začátku roku 2022 více než zdvojnásobil. MPO pracuje na zjednodušení jejich povolování*. [online]. Poslední změna: 20. 07. 2023. [cit. 2023-10-11]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz>
- [9] Státní fond životního prostředí. *Nová zelená úsporám*. [online]. [cit. 2023-10-11]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/>
- [10] POHŮDKA, Petr. *Baterie pro fotovoltaické panely: Druhy, instalace, údržba a podle čeho vybírat*. [online]. Poslední změna: 10.09.2023. [cit. 2023-10-26]. Dostupné z: <https://www.e15.cz>
- [11] ČEZ, a.s. *Solární elektrárna s virtuální baterií. Vyplatí se?* [online]. [cit. 2023-10-26]. Dostupné z: <https://www.cez.cz>
- [12] Battery University *BU-808: How to Prolong Lithium-based Batteries*. [online]. Poslední změna: 11.10.2023. [cit. 2023-10-27]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com>
- [13] ZEMKOVÁ, Barbora. *Životnost fyzických baterií. Je nutné je vyměňovat po několika letech?* [online]. Poslední změna: 23.12.2019. [cit. 2023-10-27]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz>
- [14] BONKILE, Mayur, RAMADESIGAN, Venkatasailanathan. *Effects of sizing on battery life and generation cost in PV-wind battery hybrid systems*. [online]. Poslední změna: 15.03.2022. [cit. 2023-10-27]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com>
- [15] ŠPINA, Martin. *Degradační mechanismy lithium-iontových baterií (3. díl)*. [online]. Poslední změna: 15.04.2021. [cit. 2023-10-27]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz>

- [16] REMKO CZECH s.r.o. *Princip tepelného čerpadla*. [online]. [cit. 2023-10-27]. Dostupné z: <https://www.remko.cz>
- [17] IVT Tepelná čerpadla, s.r.o. *Typy tepelných čerpadel*. [online]. [cit. 2023-10-29]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz>
- [18] LEE, Je-Hyeon, Dong-Gyu KIM, Seok-Kwon JEONG a Young-hak SONG. *Analysis of Heat Source System Degradation Due to Aging and Evaluation of Its Effect on Energy Consumption*. [online]. Poslední změna: 01.11.2022. [cit. 2023-10-31]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com>
- [19] MATUŠKA, Tomáš. *Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP*. [online]. Poslední změna: 14.09.2015. [cit. 2023-10-31]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz>
- [20] HONZÍK, Jiří. *Dimenzování tepelného čerpadla vzduch-voda, bivalentní/záložní zdroj*. [online]. Poslední změna: 03.11.2011. [cit. 2023-10-31]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/>
- [21] JANDUŠOVÁ, Martina. *Proč si k vytápění vybrat elektrokotel?* [online]. Poslední změna: 26.11.2021. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://www.prumyslovaekologie.cz>
- [22] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Profi & hobby. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2720-2
- [23] HLADÍK, Richard. *Výkupní cena elektřiny z fotovoltaických elektráren 2024*. [online]. Poslední změna: 15.01.2023. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://evolty.cz>
- [24] OTE, a.s. *Roční zpráva o trhu 2023*. [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz>
- [25] MATAJS, Vladimír. *Virtuální baterie: podvod nebo zázrak?* [online]. Poslední změna: 22.10.2021. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz>
- [26] Státní fond životního prostředí ČR. *Nová zelená úsporám*. [online]. [cit. 2023-12-09]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz>
- [27] Státní fond životního prostředí ČR. *Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory Rodinné domy (Standard)*. [online]. [cit. 2023-12-09]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz>
- [28] Ministerstvo pro místní rozvoj ČR. *Vymezení státem podporovaných regionů*. [online]. Poslední změna: 11.01.2021. [cit. 2023-12-17]. Dostupné z: <https://mmr.gov.cz>
- [29] Český statistický úřad. *Indexy cen průmyslových výrobců podle CZ-CPA*. [online]. [cit. 2023-12-27]. Dostupné z: <https://www.czso.cz>
- [30] MATUŠKA, Tomáš, ŠOUREK, Bořivoj. *Výpočet ročního provozu tepelného čerpadla intervalovou metodou podle TNI 73 0351*. [online]. Poslední změna: 03.11.2014. [cit. 2024-01-06]. Dostupné z: <https://www.topin.cz>
- [31] Regulus spol. s.r.o. *Tepelná čerpadla*. [online]. [cit. 2024-01-06]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz>

- [32] MasterTherm. *Tepelné čerpadlo AquaMaster*. [online]. [cit. 2024-01-06]. Dostupné z: <https://mastertherm.cz>
- [33] S-Power Energies, s.r.o. *Zařízení, které rozhoduje o návratnosti fotovoltaiky*. [online]. Poslední změna: 17.02.2020. [cit. 2024-01-11]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz>
- [34] VIGA, s.r.o. *Revize a servis FVE*. [online]. [cit. 2024-01-11]. Dostupné z: <https://vigasolar.cz>
- [35] HLADÍK, Richard. *Údržba a servis tepelného čerpadla*. [online]. Poslední změna: 20.12.2023. [cit. 2024-01-11]. Dostupné z: <https://evolty.cz>
- [36] Energetický Regulační Úřad. *Třídy typových diagramů dodávek*. [online]. [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://www.eru.cz>
- [37] OTE, a.s. *Průběh celostátních přepočtených TDD*. [online]. [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz>
- [38] HANUŠ, Daniel. *Druhy vytápění – Jaké zvolit vytápění domu nebo bytu?* [online]. Poslední změna: 25.03.2023. [cit. 2024-03-20]. Dostupné z: <https://energetiko.cz>
- [39] REINBERK, Zdeněk. *Výpočet tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody*. [online]. [cit. 2024-03-20]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz>
- [40] REINBERK, Zdeněk. *Odhad tepelné ztráty rodinného domu dle období výstavby*. [online]. [cit. 2024-03-20]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz>
- [41] ČSN EN 13203-2 (061430). *Spotřebiče na plynná paliva k přípravě teplé užitkové vody pro domácnost – Část 2: Hodnocení spotřeby energie*. [cit. 2024-03-20]
- [42] EkoWATT CZ s.r.o. *Časové rozložení spotřeby teplé vody*. [online]. Poslední změna: 15.01.2010. [cit. 2024-03-20]. Dostupné z: <https://panelovedomy.ekowatt.cz>
- [43] ČEZ, a.s. *Výpočet proudové hodnoty jističe*. [online]. [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://www.cez.cz>
- [44] KOREŠ, Jaroslav. *Účinnost kondenzačních plynových kotlů*. [online]. [cit. 2024-04-03]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz>
- [45] Škoda Auto, a.s. *Vyznejte se v nabíjení elektromobilů*. [online]. Poslední změna: 11.08.2022. [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com>
- [46] NOVOTNÝ, Jakub. *Energeticky efektivní použití klimatizace*. [online]. Poslední změna: 18.10.2012. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz>
- [47] NOVÁK, Jan. *Výhřevnosti paliv*. [online]. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz>
- [48] European Commission. *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. [online]. [cit. 2024-04-09]. Dostupné z: <https://joint-research-centre.ec.europa.eu>
- [49] Mapa České republiky. *Mapa okresů ČR*. [online]. [cit. 2024-04-09]. Dostupné z: <http://www.mapaceskerekrepubliky.cz>

- [50] EnergoSolar. *Maximalizace účinnosti solárních panelů: Optimální směr a úhel*. [online]. [cit. 2024-04-09]. Dostupné z: <https://www.energ solar.cz>
- [51] SEDLÁK, Martin. *Vědecky ověřeno: Solární panely vydrží produkovat čistou energii minimálně tři dekády*. [online]. Poslední změna: 21.12.2020. [cit. 2024-04-09]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz>
- [52] Trinasolar. *Residential 365 W DE06X.05(II)*. [online]. [cit. 2024-04-09]. Dostupné z: <https://www.trinasolar.com>
- [53] TNI 73 0351. *Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup*. [cit. 2024-04-09]
- [54] BREALEY, Richard A., Stewart C. MYERS, Franklin ALLEN a Alex EDMANS. *Principles of Corporate Finance ISE*. McGraw-Hill Education; 14th edition, 2022. ISBN 978-1265074159.
- [55] Energetický Regulační Úřad. *ENERGETICKÝ REGULAČNÍ VĚSTNÍK 7/2023*. [online]. [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://eru.gov.cz>
- [56] Energetický Regulační Úřad. *KDO JE MŮJ DODAVATEL A DISTRIBUTOR?* [online]. [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://eru.gov.cz>
- [57] ČEZ Prodej, a.s. *Ceník elektřiny pro domácnosti*. [online]. [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz>
- [58] MND Energie, a.s. *Produkt Proud – Ceník 2025 Online – Domácnosti*. [online]. [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://www.mnd.cz>
- [59] E.ON Energie, a.s. *Ceník Variant PRO na 2 roky*. [online]. [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://www.eon.cz>
- [60] Topinfo s.r.o. 2001-2024. *Jak zjistím, ke které distribuční soustavě plynu patřím, a mohu si zvolit jinou?* [online]. [cit. 2024-04-18]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz>
- [61] Heureka Group, a.s. *Cenový srovnávač Heureka!* [online]. [cit. 2024-04-18]. Dostupné z: <https://www.heureka.cz/>
- [62] HAMALČÍKOVÁ, Kamila. *Revize a servis plynových kotlů: Před topnou sezónou přichází ideální čas na kontrolu*. [online]. Poslední změna: 15.10.2019. [cit. 2024-04-18]. Dostupné z: <https://www.elektрина.cz>
- [63] Seznam.cz, a.s. *Elektrická topná jednotka*. [online]. [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.zbozi.cz>
- [64] Česká Národní Banka. *Inflační cíl*. [online]. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz>
- [65] Google. *Google Maps 2335 Klimšova, Petřvald, Moravian-Silesian Region*. [online]. [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://maps.app.goo.gl>
- [66] SK RASEKO MORAVA, s.r.o. *Palivové dříví a vše o něm*. [online]. [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.drevomorava.cz>

## **Příloha 1 - Uživatelský manuál pro „Aplikaci pro vyhodnocování ekonomické efektivity využívání přebytků výroby z FVE pro rodinné domy“**

Autor: Adam Beneš

### **1 Úvod**

Tento výpočetní nástroj má za cíl poskytnout uživatelům rámcové stanovení optimálního nastavení fotovoltaického a topného systému s využitím tepelného čerpadla pro rodinné domy, s hlavním záměrem dosáhnout maximální ekonomické efektivity. Vzhledem k široké škále možných vstupních parametrů a předpokladů nelze výsledek považovat za absolutně přesný, avšak spíše jako orientační. Model také zahrnuje různé zjednodušující předpoklady, které mohou negativně či pozitivně ovlivnit výsledky. Účelem nástroje není nalézt dokonalé řešení, ale spíše doporučit uživateli ekonomicky výhodnou variantu fotovoltaického a topného systému.

Tento nástroj také umožňuje ekonomické zhodnocení cenových nabídek fotovoltaických a topných systémů od dodavatelských firem, což uživatelům dává možnost ověřit ekonomickou návratnost dané konfigurace. Výstupem modelu je vždy porovnání energetické bilance mezi výchozím stavem a stavem po optimalizaci, včetně vyhodnocení platby za energie a případných výnosů z prodeje přebytků do sítě. Model také poskytuje ekonomické ukazatele hodnotící investici do zvoleného systému, včetně hodnocení výše vstupní investice a možnosti zisku dotace.

### **2 Struktura modelu**

Výpočetní model je zpracován v aplikaci Microsoft Excel a je strukturován do čtyř částí, konkrétně tří zadávacích listů a jednoho listu s výsledným vyhodnocením. Součástí prvního zadávacího listu („*1\_Základní\_informace*“) jsou základní informace o hodnoceném objektu a o spotřebě nosičů energie v dané domácnosti. Na druhém zadávacím listu („*2\_Spotřeba\_energie*“) uživatel tvoří profil spotřeby energie v hodnocené domácnosti s cílem co nejpřesnějšího vyhodnocení diagramu spotřeby ke stanovení optimální hodnoty instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny. Na posledním zadávacím listu („*3\_Ekonomické\_parametry*“) uživatel doplní ostatní ekonomické parametry a zvolí postup výpočtu. Dále je zde možnost vypočítat vlastní variantu fotovoltaického či topného systému například z cenové nabídky od dodavatele či instalační firmy.

Všechna povinně vyplnitelné pole jsou označeny symbolem \*, v případě jejich nevyplnění není možné optimalizační výpočet spustit. Výpočetní model rovněž kontroluje, zda jsou všechny vstupní parametry zadány ve správném tvaru, v opačném případě model uživatele na tuto chybu upozorní systémovou chybovou hláškou.

### **3 Vstupní parametry – List „1\_Základní\_informace“**

**Lokalita objektu (okres)** – Zvolte okres, ve kterém se hodnocený objekt nachází. Na základě tohoto údaje bude stanoveno distribuční území pro elektřinu a zemní plyn, zároveň na základě této informace bude zvolen hodinový profil osvětlení a venkovní teploty.

**Lokalita objektu (obec)** – Napište slovem (včetně diakritiky) v jaké obci se zvolený objekt nachází. Na základě tohoto údaje se rozhodne, zda je možné získat 10 % bonus v dotačním titulu NZÚ pro vybrané regiony.

**Typ objektu dle umístění** – Vyberte z nabízených možností tu, která nejvíce odpovídá realitě. Na základě tohoto údaje se vypočítá odhad tepelné ztráty domu.

**Počet osob trvale obydlujících objekt** – Uveďte počet osob, které trvale obývají daný objekt (alespoň 50 % roku). Na základě tohoto údaje se počítá odhad spotřeby tepla v objektu.

**Rok výstavby objektu** – Uveďte rok výstavby vybraného objektu. Pokud neznáte přesný údaj, uveďte alespoň odhad. Na základě tohoto parametru se vypočítá odhad tepelné ztráty domu.

**Přibližná nadmořská výška objektu** – Uveďte přibližnou nadmořskou výšku, ve které se objekt nachází. Na základě tohoto parametru bude stanovena venkovní výpočtová teplota.

**Podlahová plocha objektu** – Uveďte podlahovou plochu všech obytných zastřešených místností v objektu včetně nadzemních pater. Na základě tohoto parametru je stanoven odhad tepelné ztráty objektu.

**Průměrná výška stropu v objektu** – Uveďte průměrnou výšku stropu všech místností v objektu nebo alespoň odhad. Na základě tohoto parametru je stanoven odhad tepelné ztráty objektu.

**Provedené energetické úspory** – Vyberte z nabízených možností tu, která nejvíce odpovídá realitě. Na základě tohoto údaje se vypočítá odhad tepelné ztráty domu.

**Plocha střechy** – Odhadněte celkovou plochu střechy neorientovanou na sever, zahrnující střešní okna a další prvky na střeše. Pokud je střecha rozdělena do více sekcí, zvažte pouze ty části střechy, na které lze umístit alespoň jeden fotovoltaický panel.

**Orientace střechy** – Vyberte orientaci střechy vybraného objektu z nabídky. Orientace severní strany střechy není zahrnuta, protože její osazení není ekonomicky výhodné. Pokud je střecha členitá a má různé orientace, zvolte orientaci podle největší plochy střechy. V případě, že má střecha tvar L, například orientaci východ-jih, volte variantu jihovýchodní orientace.

**Sklon střechy** – Uveďte nebo odhadněte přibližný průměrný sklon střechy. Na základě tohoto parametru se vypočítají ztráty fotovoltaického panelu vlivem jeho sklonu.

**Odhadovaná využitelnost střechy** – Odhadněte, jaké procento z celkové plochy střechy, kterou jste uvedli výše, lze využít pro instalaci fotovoltaických panelů, s ohledem na všechny prvky, které se na střeše nacházejí. V tomto ohledu buďte spíše optimističtější, neboť na základě tohoto předpokladu se vypočítá maximální možné využití střechy.

**Omezení maximálního možného přípustitelného rezervovaného výkonu v odběrném místě** – Pokud máte informaci o maximálním možném rezervovaném výkonu ve vašem odběrném místě, který lze připojit do distribuční sítě, uveďte toto omezení. V opačném případě vyberte možnost „Neznám“. Tato informace je zejména důležitá pro odběrná místa, kde je povolený nulový rezervovaný výkon. V takových případech není možné prodávat přebytek elektrické energie do sítě, což výrazně ovlivňuje ekonomickou stránku projektu.

**Kalendář** – Na pravé straně listu je kalendář. Prosím, označte dny, kdy se obvykle nacházíte mimo objekt. Tato informace nemusí být nikterak přesná, jde spíše o orientační údaje.



Například, pokud víte, že během letních měsíců jste obvykle mimo objekt dva týdny, pak označte libovolné dva týdny v letních měsících. Tato informace je důležitá zejména u domácností, které jsou často mimo objekt (1 měsíc nebo déle). Nepřítomnost domácnosti po delší dobu významně ovlivňuje ekonomickou stránku projektu. Pole označíte dvojitým kliknutím levého tlačítka myši na políčku vybraného dne. Označené pole by mělo mít zelenou barvu, viz obrázek.

Leden						
Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

Leden						
Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

Obr. 3.1 – Ukázka označení pole 01.ledna v kalendáři ve výpočetní aplikaci

**Současná roční spotřeba elektřiny VT** – Uveďte přesnou roční spotřebu elektrické energie ve vysokém tarifu v MWh. Tuto informaci naleznete ve faktuře za elektřinu od svého obchodníka. V případě distribuční sazby D01d a D02d se jedná o celkovou roční spotřebu elektřiny. V případě, že daný objekt obýváte méně než rok, pak tuto hodnotu odhadněte na základě vaší distribuční sazby a počtu osob v domácnosti.

**Současná roční spotřeba elektřiny NT** – Uveďte přesnou roční spotřebu elektrické energie v nízkém tarifu v MWh. Tuto informaci naleznete ve faktuře za elektřinu od svého obchodníka. V případě distribuční sazby D01d a D02d uveďte hodnotu 0 MWh. V případě, že daný objekt obýváte méně než rok, pak tuto hodnotu odhadněte na základě vaší distribuční sazby a počtu osob v domácnosti.

**Typ distribuční sazby** – Z nabídky zvolte vaší distribuční sazbu. Tento údaj naleznete ve faktuře za elektřinu od vašeho obchodníka.

**Silová složka elektřiny VT (bez DPH)** – Z faktury za elektřinu či ceníku odečtete aktuální výši ceny za silovou složku elektrické energie ve vysokém tarifu. Uveďte hodnotu nezahrnující DPH (v ceníku jsou uvedeny vždy obě varianty).

**Silová složka elektřiny NT (bez DPH)** – Z faktury za elektřinu či ceníku odečtete aktuální výši ceny za silovou složku elektrické energie v nízkém tarifu. V případě distribuční sazby D01d či D02d uveďte hodnotu 0 Kč/MWh. Uveďte hodnotu nezahrnující DPH (v ceníku jsou uvedeny vždy obě varianty).

**Počet fází hlavního jističe** – Z nabídky vyberte počet fází hlavního jističe. Tento údaj naleznete ve faktuře za elektřinu.

**Velikost hlavního jističe** – Uveďte současnou velikost hlavního jističe. Tento parametr opět naleznete ve faktuře za elektřinu.

**Stálá měsíční platba (bez DPH)** – Z faktury za elektřinu či ceníku odečtete aktuální výši stálého měsíčního poplatku. Uveďte hodnotu nezahrnující DPH (v ceníku jsou uvedeny vždy obě varianty).

**Poplatek za systémové služby** – Tento parametr není potřeba upravovat, pokud nedošlo k jeho změně. Aktuální výši poplatků za systémové služby uvádí ERÚ v cenovém rozhodnutí.

**Poplatek POZE (dle velikosti jističe)** – Tento parametr není potřeba upravovat, pokud nedošlo k jeho změně. Aktuální výši příspěvku na POZE uvádí ERÚ v cenovém rozhodnutí.

**Poplatek POZE (dle spotřeby)** – Tento parametr není potřeba upravovat, pokud nedošlo k jeho změně. Aktuální výši příspěvku na POZE uvádí ERÚ v cenovém rozhodnutí.

**Poplatek OTE** – Tento parametr není potřeba upravovat, pokud nedošlo k jeho změně. Aktuální výši poplatků OTE uvádí ERÚ v cenovém rozhodnutí.

**Současná roční spotřeba zemního plynu** – V případě, že vaše domácnost využívá zemní plyn uveďte celkovou roční spotřebu v MWh. V opačném případě uveďte hodnotu 0 MWh.

**Obchodní složka ceny zemního plynu (bez DPH)** – V případě, že vaše domácnost využívá zemní plyn uveďte výši obchodní složky zemního plynu, tento parametr naleznete ve faktuře za zemní plyn. V opačném případě uveďte hodnotu 0 Kč/MWh.

**Stálá měsíční platba Zemní plyn (bez DPH)** – V případě, že vaše domácnost využívá zemní plyn uveďte výši stále měsíční platby, tento parametr naleznete ve faktuře za zemní plyn. V opačném případě uveďte hodnotu 0 Kč/měsíc.

**Typ tuhého paliva** – V případě, že vaše domácnost využívá k vytápění či ohřevu teplé vody nějaké tuhé palivo, pak uveďte o jaký typ se jedná. V opačném případě zvolte variantu „Žádné“.

**Roční spotřeba daného paliva** – V případě, že vaše domácnost využívá tuhých paliv, uveďte odhad roční spotřeby v kg/rok. V opačném případě uveďte hodnotu 0 kg/rok.


**Cena daného paliva** – V případě, že vaše domácnost využívá tuhých paliv, uveďte odhad ceny tohoto paliva v Kč/kg. V opačném případě uveďte hodnotu 0 Kč/kg.

**Časy spínání HDO** – V případě, že zvolená domácnost nemá sazbu D01d nebo D02d, pak může využívat nízkého tarifu distribuční sazby, který zpravidla nabízí výhodnější ceny elektřiny. Každá distribuční sazba má nárok na jiný počet hodin v nízkém tarifu. Počet těchto hodin je uveden v následující tabulce.

Počet hodin v NT	
Sazba	Počet h v NT
D01d	0
D02d	0
D25d	8
D26d	8
D27d	8
D35d	16
D45d	20
D56d	22
D57d	20
D61d	Víkendový tarif

Tab. 3.1 – Přehled hodin v nízkém tarifu dle distribuční sazby

Časy spínání systému HDO se odlišují pro každé odběrné místo, proto je nezbytné na stránkách vašeho distributora tyto časy dohledat (odkaz „Časy spínání HDO“ vás na stránky vašeho distributora automaticky přesměruje). Z vašeho elektroměru či faktury za elektřinu opíšete číslo a zadáte jej do webové aplikace distributora. Následně by se vám měly zobrazit časy spínání systému HDO pro vaše odběrné místo. Tyto časy zadejte do připravené tabulky. Časy se mohou lišit pro běžný pracovní den a víkend, z tohoto důvodu jsou uvedeny tabulky dvě. Časy spínání HDO taky nemusí být přesně hodinu dlouhé, ale může nastat situace například: 8:15 – 9:00. V tento okamžik zvolíte hodinu, ve které byl systém HDO spuštěn delší dobu (tedy 8 h). Důležité je označit stejný počet políček, kolik daná distribuční sazba nabízí hodin v nízkém tarifu. Pokud tak neučiníte, pak vám výpočetní aplikace neumožní výpočet. Tabulka je zároveň omezena, aby nešel označit vyšší počet hodin v nízkém tarifu, než daná distribuční sazba nabízí. Pole označíte dvojitým kliknutím levého tlačítka myši na políčku vybrané hodiny. Označené pole by mělo mít tmavě zelenou barvu a popisek „NT“, viz obrázek.



Běžný den		Víkend	
1	VT	1	VT
2	VT	2	VT
3	VT	3	VT
4	VT	4	VT
5	VT	5	VT
6	VT	6	VT
7	VT	7	VT
8	VT	8	VT
9	VT	9	VT
10	VT	10	VT
11	VT	11	VT
12	VT	12	VT
13	VT	13	VT
14	VT	14	VT
15	VT	15	VT
16	VT	16	VT
17	VT	17	VT
18	VT	18	VT
19	VT	19	VT
20	VT	20	VT
21	VT	21	VT
22	VT	22	VT
23	VT	23	VT
24	VT	24	VT

Běžný den		Víkend	
1	NT	1	VT
2	VT	2	VT
3	VT	3	VT
4	VT	4	VT
5	VT	5	VT
6	VT	6	VT
7	VT	7	VT
8	VT	8	VT
9	VT	9	VT
10	VT	10	VT
11	VT	11	VT
12	VT	12	VT
13	VT	13	VT
14	VT	14	VT
15	VT	15	VT
16	VT	16	VT
17	VT	17	VT
18	VT	18	VT
19	VT	19	VT
20	VT	20	VT
21	VT	21	VT
22	VT	22	VT
23	VT	23	VT
24	VT	24	VT

Obr. 3.2 – Ukázka označení času spínání HDO

#### 4 Vstupní parametry – List „2\_Spotřeba\_energie“

**Typ paliva pro vytápění** – Z nabídky zvolte, které palivo využíváte pro vytápění objektu. V případě kombinace, uveďte o jakou kombinaci se jedná.

**Tepelná ztráta objektu** – Na základě předchozích parametrů byla vypočtena tepelná ztráta objektu. Pokud znáte přesnější údaj zvolte variantu „Vlastní“ a příslušnou hodnotu uveďte. Pokud údaj neznáte, ale chcete výpočet zpřesnit, pak kliknutím na [ODKAZ](#) budete přesměrováni na výpočetní aplikaci tepelné ztráty budovy. V opačném případě volte variantu „Odhad“.

**Průměrná vnitřní teplota objektu** – Uveďte průměrnou vnitřní teplotu objektu, tj. teplotu, na kterou v domácnosti topíte (průměrná hodnota 20 °C).

**Začátek topného období** – Jedná se o průměrnou venkovní teplotu, při níž domácnost začíná vytápět. Standartní hodnota je 13 °C.

**Snížení teploty v objektu v případě dlouhodobé absence** – V případě, že snižujete teplotu vytápění při dlouhodobější absenci, pak uveďte o kolik stupňů teplotu snižujete (doporučená hodnota 4 K)

**Typ regulace** – Z nabídky vyberte, jaký typ regulace teploty v domácnosti využíváte.

**Teplota přívodní vody** – Dle soustavy, nejčastěji pro nízkoteplotní soustavy v rodinných domech se volí hodnoty:

- $t = 55\text{ °C}$  → Nejčastější varianta
- $t = 45\text{ °C}$
- $t = 35\text{ °C}$  → Podlahové topení

Pro vysokoteplotní soustavy:

- $t = 85\text{ °C}$
- $t = 75\text{ °C}$
- $t = 70\text{ °C}$

**Teplota zpětné (vratné) vody** – Dle soustavy, nejčastěji pro nízkoteplotní soustavy v rodinných domech se volí hodnoty:

- $t = 45\text{ °C}$  → Nejčastější varianta
- $t = 35\text{ °C}$
- $t = 25\text{ °C}$  → Podlahové topení

Pro vysokoteplotní soustavy:

- $t = 75\text{ °C}$
- $t = 60\text{ °C}$
- $t = 50\text{ °C}$

**Účinnost zdroje vytápění** – Uveďte účinnost zdroje vytápění. Tento parametr by měl být dohledatelný v technickém listu daného zdroje, případně lze použít rámcové hodnoty:

- Plynové kotle: 80–90%
- Kondenzační plynové kotle: 98%
- Elektrické kotle: 99%

**Příkon plynového kotle** – V případě, že vybraná domácnost využívá k vytápění plynový kotel, pak uveďte jeho elektrický příkon, tento parametr by měl být opět dohledatelný v technickém listě. V opačném případě zadejte hodnotu 0 W.

**Tepelný výkon plynového kotle** – V případě, že vybraná domácnost využívá k vytápění plynový kotel, pak uveďte jeho tepelný výkon, tento parametr by měl být opět dohledatelný v technickém listě. V opačném případě zadejte hodnotu 0 kW.

**Stejný zdroj tepla pro vytápění a ohřev TV** – Pokud domácnost využívá stejný zdroj tepla pro ohřev TV a pro vytápění, pak zvolte volbu „Ano“, v opačném případě zvolte variantu „Ne“.

**Typ paliva k ohřevu TV** – Pokud používáte stejný zdroj tepla jako pro vytápění, vyberte prosím stejný typ paliva. V opačném případě si vyberte z nabídky. Pokud kombinujete různé zdroje tepla, specifikujte, o jakou kombinaci se jedná.

**Teplota studené vody** – Podle normy je teplota studené vody v České republice 10 °C. Pokud víte, že teplota se odlišuje, prosím, upravte tuto hodnotu.

**Teplota ohřáté vody** – Podle normy je teplota ohřáté v České republice 55 °C. Pokud víte, že teplota se odlišuje, prosím, upravte tuto hodnotu.

**Potřeba TV na osobu za den** – Dle normy je průměrná spotřeba teplé vody na osobu za den  $V_{2p} = 0,03 \text{ m}^3/\text{den}$ . Pokud víte, že se tato hodnota v hodnocené domácnosti se odlišuje, prosím, upravte tuto hodnotu.

**Teplota studené vody v létě** – Podle normy je teplota studené vody v létě v České republice 15 °C. Pokud víte, že teplota se odlišuje, prosím, upravte tuto hodnotu.

**Teplota studené vody v zimě** – Podle normy je teplota studené vody v zimě v České republice 5 °C. Pokud víte, že teplota se odlišuje, prosím, upravte tuto hodnotu.

**Koeficient energetických ztrát systému** – Tento parametr představuje tepelné ztráty v otopné soustavě. Hodnota tohoto parametru se značně liší v závislosti na stáří objektu a zapojení otopné soustavy. Standartně se volí pro běžné stavby mezi 50 až 100 %.

- Rozvody v novostavbách  $z = \text{max. } 0,5$
- Okrskové rozvody  $z = \text{max. } 1$
- rozvody ve starších stavbách  $z = 2-4$

**Účinnost zdroje ohřevu vody** – Uveďte účinnost zdroje ohřevu TV. Tento parametr by měl být dohledatelný v technickém listu daného zdroje, případně lze použít rámcové hodnoty:

- Plynové kotle: 80–90%
- Kondenzační plynové kotle: 98%
- Elektrické kotle: 99%

**Příkon plynového boileru** – V případě, že vybraná domácnost využívá k ohřevu TV plynový boiler, pak uveďte jeho elektrický příkon, tento parametr by měl být opět dohledatelný v technickém listě. V opačném případě zadejte hodnotu 0 W.

**Tepelný výkon plynového boileru** – V případě, že vybraná domácnost využívá k ohřevu TV plynový boiler, pak uveďte jeho tepelný výkon, tento parametr by měl být opět dohledatelný v technickém listě. V opačném případě zadejte hodnotu 0 kW.

**Systém akumulace** – Z nabídky zvolte jaký systém akumulace teplé vody je ve vybrané domácnosti použit.

**Kapacita akumulární nádrže pro vytápění** – Pokud je v domácnosti instalován akumulární systém pro vytápění, uveďte jeho kapacitu. V opačném případě zadejte hodnot 0 l.

**Kapacita akumulární nádrže pro ohřev TV** – Pokud je v domácnosti instalován akumulární systém pro ohřev TV, uveďte jeho kapacitu. V opačném případě zadejte hodnot 0 l.

**Cirkulace teplé vody** – Pokud je ve vybrané domácnosti využita cirkulace teplé vody, pak zvolte možnost „Ano“ v opačném případě zvolte variantu „Ne“.

**Celkový výkon oběhových čerpadel** – Uveďte celkový výkon všech oběhových čerpadel zapojených v otopné soustavě. Pokud výkon neznáte, pak zvolte průměrnou hodnotu 200 W.

**Celkový výkon cirkulačních čerpadel** – Pokud vybraná domácnost využívá cirkulaci teplé vody, pak uveďte celkový výkon cirkulačních čerpadel. Pokud výkon neznáte, pak zvolte průměrnou hodnotu 200 W.

**Používáte v domácnosti klimatizaci** – V případě, že ve vybrané domácnosti je v letních měsících využívána klimatizace, pak zvolte variantu „Ano“, v opačném případě volte možnost „Ne“.

**Příkon klimatizace** – V případě, že ve vybrané domácnosti je v letních měsících využívána klimatizace, uveďte její elektrický příkon. Tento parametr by měl být uveden v technickém listě klimatizace. V opačném případě zvolte hodnotu 0 kW.

**Nejčastější začátek a konec provozu** – V případě, že je v dané domácnosti v letních měsících používána klimatizace, uveďte přibližný čas, kdy je nejčastěji v provozu. Stačí uvést orientační čas, například pokud víte, že klimatizace bývá v provozu kolem poledne, запиšte jakoukoliv hodinu v poledne. Pokud klimatizace v dané domácnosti není instalována, pak tento krok můžete přeskočit.

**Nabíjíte doma elektromobil** – V případě, že ve vybrané domácnosti je nabíjen elektromobil, pak zvolte variantu „Ano“, v opačném případě volte možnost „Ne“. V případě volby „Ne“ můžete přeskočit všechny další parametry v sekci elektromobil.

**Průměrný denní nájezd** – Uveďte průměrný denní nájezd elektromobilu (nejčastěji cesta do práce a zpět).

**Kapacita baterie elektromobilu** – Uveďte kapacitu baterie elektromobilu. Tento parametru by měl být uveden v technickém průkazu vozu.

**Průměrná spotřeba** – Uveďte průměrnou spotřebu elektřiny na 100 km elektromobilu. Tento parametru by měl být uveden v technickém průkazu vozu.

**Maximální nabíjecí výkon vozidla (AC)** – Uveďte maximální nabíjecí výkon, který je elektromobil schopný pojmout z AC dobíjecí stanice. Tento parametru by měl být uveden v technickém průkazu vozu.

**Obvyklý začátek nabíjení** – Uveďte čas, kdy je elektromobil nejčastěji připojen k domácí dobíječce. Opět stačí rámcová hodnota.

**Zdroj nabíjení** – Z nabídky vyberte, jaký zdroj k nabíjení elektromobilu využíváte.

**Výkon wallboxu** – V případě, kdy k nabíjení elektromobilu využíváte AC wallbox, pak uveďte jeho výkon. V opačném případě zvolte hodnot 0 kW.

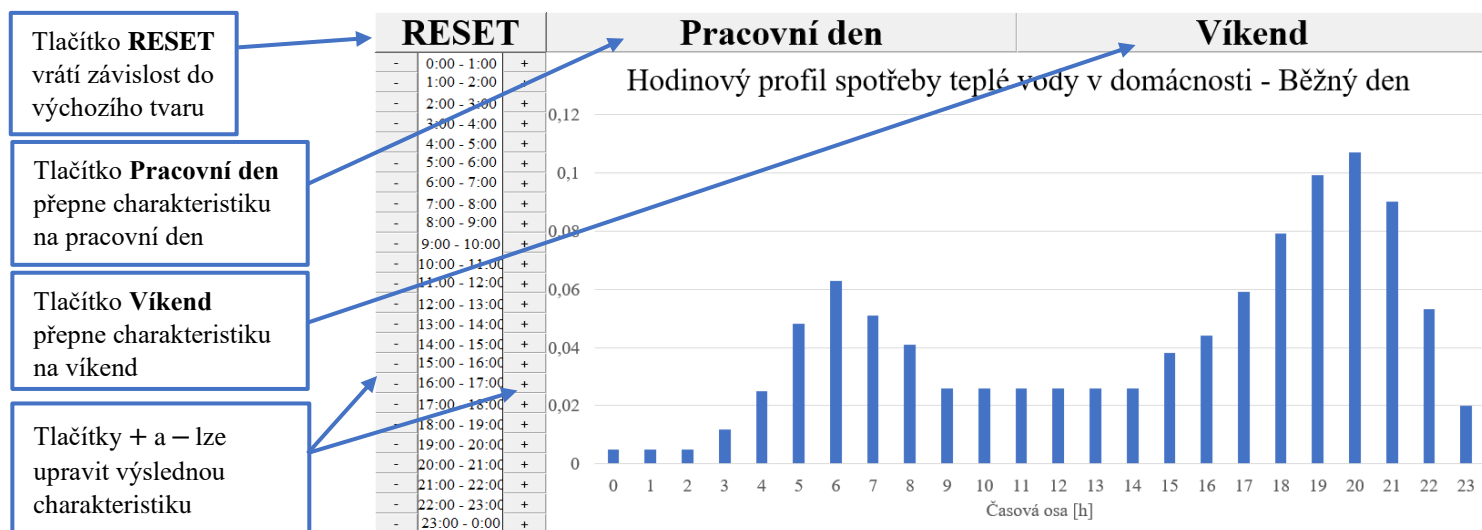
**Dny nabíjení elektromobilu** – Vyberte dny, kdy obvykle nabíjíte elektromobil. Důležitý je počet dnů, kdy probíhá nabíjení, ne konkrétní dny v týdnu. Pokud elektromobil doma nenabíjíte,

neoznačujte žádný den. Pro označení příslušného dne provedte dvojklik levým tlačítkem myši. Vybrané pole by mělo mít tmavě zelenou barvu a být označeno symbolem fajfky.



Obr. 4.1 – Ukázka označení pole

**Hodinový profil spotřeba TV** – Na následujícím grafu je zobrazen hodinový profil spotřeby teplé vody v domácnostech podle stanovené normy. Graf se liší pro běžné pracovní dny a víkend, mezi těmito závislostmi lze přepínat pomocí tlačítek „Pracovní den“ a „Víkend“. Pokud vyobrazená závislost nereprezentuje spotřebu teplé vody ve vybrané domácnosti, můžete tento profil upravit pomocí tlačítek „+“ a „-“. Pokud je potřeba, lze tlačítkem „RESET“ vrátit závislost do výchozí podoby.



Obr. 4.2 – Ukázka nastavení hodinového profilu spotřeby teplé vody

**Měsíční profil spotřeby TV** – Na této závislosti je vyobrazen měsíční profil spotřeby teplé vody v domácnostech podle stanovené normy. Podobně jako u hodinové charakteristiky spotřeby teplé vody lze i tuto charakteristiku upravovat podle potřeby.

**Spotřebiče** – V tabulce spotřebičů vyplňte hodnoty příkonu podle jmenovitých hodnot spotřebičů ve vaší domácnosti. Příkon daného spotřebiče obvykle najdete na výrobním štítku nebo v technickém listu. Do tabulky запиšte součet příkonů všech spotřebičů dané kategorie. Například, pokud máte ve své domácnosti dva televizory s příkonem 2 x 50 W, запиšte do tabulky hodnotu 0,1 kW. Pokud neznáte přesný příkon daného spotřebiče, můžete jej odhadnout podle obvyklých hodnot uvedených v tabulce. Pokud se daný spotřebič ve vaší domácnosti nenachází, запиšte do tabulky hodnotu 0 kW. V tabulce najdete také pole "Ostatní spotřebiče", kam můžete zadat příkon libovolného dalšího spotřebiče, který má významný podíl na celkové spotřebě elektřiny, a který není v tabulce uveden.

V tabulce označte dny, kdy nejčastěji používáte daný spotřebič. Nejde o přesný den, kdy je spotřebič v provozu, ale spíše o počet dní v týdnu, kdy je spotřebič nejčastěji využíván. Pro označení příslušného dne provedete dvojklik levým tlačítkem myši. Vybrané pole by mělo mít tmavě zelenou barvu a být označeno symbolem fajfky (viz Obr. 4.1).

Spotřebič	Příkon [kW]	Obvyklá hodnota příkonu [kW]	Označte, které dny daný spotřebič nejčastěji využíváte						
			Pondělí	Úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek	Sobota	Neděle
Pračka	0,0	2,2 - 2,4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sušička	0,0	2,2 - 2,4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Myčka nádobí	0,0	1,3 - 1,6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Televizor	0,0	0,05 - 0,2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Trouba	0,0	2,5 - 3,5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sklokeramická varná deska	0,0	2 - 8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Indukční varná deska	0,0	6 - 8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Počítač	0,0	0,05 - 0,2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ostatní spotřebiče	0,0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektrické podlahové topení	0,0	0,8 - 3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Osvětlení	0,0	0,5 - 1							
Chladnička	0,0	0,1							
Mrazák	0,0	0,1							
Kombinovaná chladnička	0,0	0,1 - 0,3							

Obr. 4.3 – Volba příkonu spotřebičů v domácnosti a jejich využívání v průběhu týdne

V poslední tabulce označte hodiny, kdy je spotřebič nejčastěji v provozu během dne. Jsou k dispozici dvě tabulky pro běžné dny v týdnu a víkend, neboť se v těchto obdobích často výrazně liší způsob využívání domácích spotřebičů. Tyto tabulky jsou hlavním zdrojem pro tvorbu hodinového profilu spotřeby elektrické energie v domácnosti.

## 5 Vstupní parametry – List „3\_Ekonomické\_parametry“

**Životnost současného hlavního zdroje tepla** – Uveďte odhadovanou zůstatkovou životnost současného hlavního zdroje vytápění.

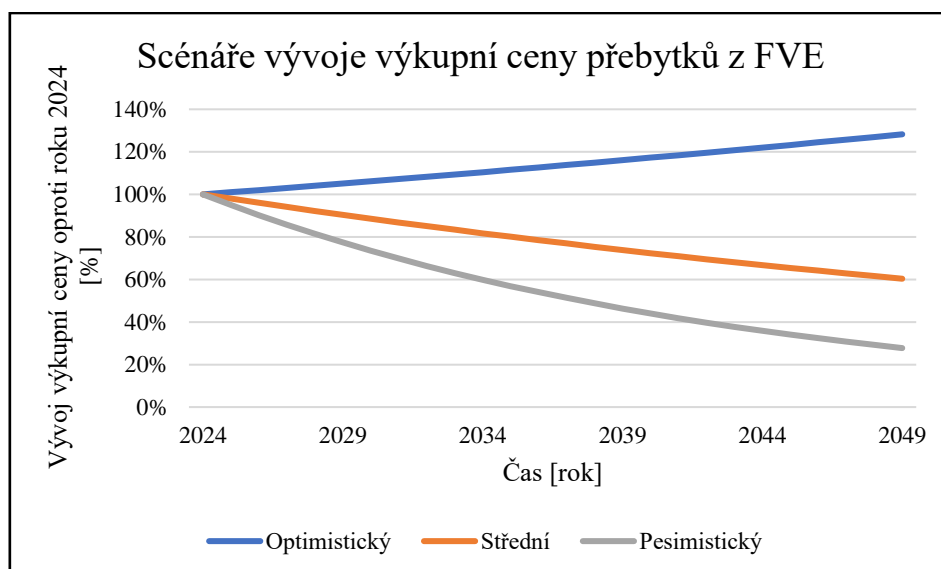
**Očekávaná výše reinvestice do současného zdroje tepla** – Uveďte částku, která by byla potřebná na pořízení nového zdroje vytápění v případě poruchy stávajícího zdroje, přičemž uvažujte náhradu stávajícího zdroje za identický typ. Pokud máte informaci o investičních výdajích vynaložených za stávající zdroj, uveďte tuto částku. V opačném případě můžete vybrat možnost "Odhad".

**Investiční výdaje spojené s natažením 3f rozvodu** – Tento parametr zadejte pouze v případě, pokud je vaše domácnost připojena k jednofázovému rozvodu elektrické energie. V takovém případě budou zapotřebí úpravy rozvodů na třífázové, aby bylo možné připojit tepelné čerpadlo. Uveďte odhadované náklady spojené s touto změnou. V opačném případě zadejte hodnotu 0 Kč.

**Prodejní ceny přebytků** – Uveďte aktuální prodejní cenu přebytků, za kterou byste byli schopni prodat přebytečnou elektrickou energii z FVE. Uvažujte fixní částku za prodanou MWh. Pokud tuto informaci neznáte uveďte průměrnou hodnotu 1 500 Kč/MWh.

**Scénář vývoje prodejní ceny přebytků** – Z nabídky zvolte scénář vývoje prodejní ceny přebytků, uvedené scénáře jsou znázorněny na následujícím grafu:





Graf 5.1 – Scénáře vývoje výkupní ceny přebytků z FVE v průběhu let

**Diskont** – Zadejte hodnotu diskontní sazby, kterou jste zvolili.

**Výpočet pro** – Z nabídky vyberte, jakou konfiguraci fotovoltaického a topného systému chcete optimalizovat pro vybraný objekt. V případě, že chcete otestovat všechny možné konfigurace, pak zvolte variantu „Všechny varianty (bez vlastní)“. Pokud chcete ověřit ekonomickou efektivitu cenové nabídky, kterou jste obdrželi, pak zvolte variantu „Vlastní výpočet“.

**Rychlost výpočtu** – Optimalizační výpočet funguje na principu „brute force“, tzn. že model testuje všechny možné konfigurace fotovoltaického a topného systému a vybere z nich tu, která je ekonomicky nejvýhodnější (dle kritéria NPV). Jde o jediný způsob, jak získat přesný výsledek, neboť například výpočetní nástroj „Solver“ nalezne pouze dílčí optimální řešení.

Z nabídky zvolte rychlost optimalizačního výpočtu. Varianta „Rychlá“ zanedbává ztráty baterie a fotovoltaického článku vlivem degradace v průběhu let a navíc iteruje pouze přes konfigurace systému, pro které je možné získat dotaci z dotačního titulu NZÚ. Varianta „Střední“ iteruje také pouze přes konfigurace, pro které je možné získat dotaci, avšak již zanedbává ztráty vlivem degradace systému. Varianta „Pomalá“ iteruje přes všechny možné kombinace zapojení systému a také zanedbává ztráty vlivem degradace. Odhadované doby trvání výpočtu pro jednotlivé varianty jsou uvedeny v následující tabulce:

	Rychlá	Střední	Pomalá
Všechny varianty (bez vlastní)	1:10 h	6:40h	až 24 h
Varianta FVE + BAT	0:04 h	0:22 h	4:20 h
Varianta FVE + BAT + TČ	1:00 h	5:40 h	20 h
Varianta TČ	40 s	0:03 h	0:36 h
Varianta TČ (vzduch – voda)	10 s	0:01 h	0:12 h
Varianta TČ (země – voda)	10 s	0:01 h	0:12 h
Varianta TČ (voda – voda)	10 s	0:01 h	0:12 h
Varianta FVE + BAT + TČ (vzduch – voda)	0:20 h	1:55 h	12 h
Varianta FVE + BAT + TČ (země – voda)	0:20 h	1:55 h	12 h
Varianta FVE + BAT + TČ (voda – voda)	0:20 h	1:55 h	12 h
Vlastní výpočet	okamžitě	okamžitě	okamžitě

Tab. 5.1 – Odhadovaná doba trvání výpočtu dle výpočetní varianty a rychlosti výpočtu

**Vlastní výpočet** – Výpočetní model umožňuje nejen hledat optimální řešení pro vybraný objekt, ale také dokáže vypočítat ekonomickou efektivitu vlastního zvoleného systému. Například pokud uživatel dostane cenovou nabídku od instalační společnosti, může jednoduše ověřit, zda je daná nabídka rentabilní či nikoliv. V sekci vlastní výpočet je potřeba zadat následující parametry: Instalovaný výkon, kapacita baterie, Investiční výdaje FVE, Investiční výdaje Baterie, Investiční výdaje střídač, Investiční výdaje Akumulace, Investiční výdaje TČ (technologie a instalace) a případný typ tepelného čerpadla. Pokud nějaká z uvedených technologií není v systému uvažována, pak stačí vyplnit hodnotu 0. Další informace o zvoleném objektu model převezme z předchozích částí.

V případě instalace tepelného čerpadla je potřeba zadat hodnoty topného výkonu a topného faktoru v závislosti na vstupní teplotě do výparníku a výstupní teplotě z kondenzátoru. Tyto parametry by měly být uvedeny v technickém listu tepelného čerpadla. Každý typ tepelného čerpadla potřebuje jiný minimální počet hodnot, aby byl výpočet přesný:

**TČ voda – voda: min. 5 hodnot**

**TČ země – voda: min. 7 hodnot**

**TČ vzduch – voda: min. 12 hodnot**

Hodnoty mohou být uvedeny pro libovolné kombinace vstupních a výstupních teplot. Důležité je však dodržet minimální stanovený počet hodnot!

**Kontrola** – Pro provedení výpočtu je potřeba nejprve ověřit, zda jsou všechny vstupní parametry uvedeny ve správném tvaru, a to pomocí tlačítka „Kontrola“, pokud je vše zadáno v pořádku, pak se změní signalizace provedení kontroly vstupních parametrů:



Obr. 5.1 – Signalizace úspěšné kontroly vstupních parametrů

V opačném případě se objeví chybová hláška, která uživatele upozorní, který vstupní parametr je zadán ve špatném tvaru. Následný výpočet se provede stisknutím tlačítka „Spustit výpočet“.

## 6 Vyhodnocení výsledků

Po provedení optimalizačního výpočtu přejděte na list "*4\_Vyhodnocení*", kde naleznete vyhodnocení výsledků optimální varianty. První tabulka obsahuje optimální konfiguraci fotovoltaického a topného systému, tj. optimální instalovaný výkon FVE, optimální kapacitu bateriového úložiště a optimální výkon a typ tepelného čerpadla. Často také nastane situace, kdy v optimální variantě není zahrnuta některá z technologií v takovém případě se objeví nápis: „Bez instalace FVE“, „Bez instalace baterie“ nebo „Bez instalace TČ“. Na vedlejším grafu je pak zobrazena energetická bilance fotovoltaického systému.

Následující tabulka poskytuje základní ekonomické ukazatele pro danou konfiguraci. Mezi tyto ukazatele patří *NPV*, *IRR*, *RCF*, *Prostá doba návratnosti* a *Diskontovaná doba návratnosti*. V další tabulce je uveden orientační cenový rozpad dané konfigurace včetně možné výše dotace z programu NZÚ, cenový rozpad je vypracován rovněž graficky.

Poslední tabulka poskytuje detailní vyhodnocení celkové roční úspory za energie. V tabulce jsou uvedeny jednotlivé složky ceny elektrické energie a zemního plynu a jejich výše ve

výchozím stavu a stavu po optimalizaci, z těchto hodnot lze jednoduše vyčíst, na jaké položce uživatel dokáže nejvíce ušetřit. V poslední tabulce jsou uvedeny také odhadované výnosy z prodeje přebytků elektrické energie v prvním roce. Výsledek je možné exportovat do formátu PDF (Soubor > Exportovat > Vytvořit soubor PDF/XPS).

## Optimální návrh systému dle zvolených vstupních parametrů

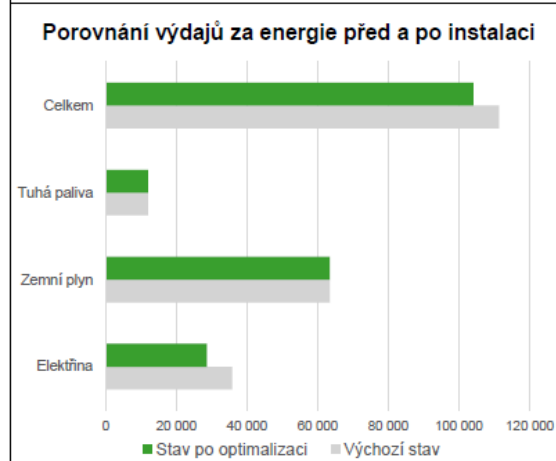
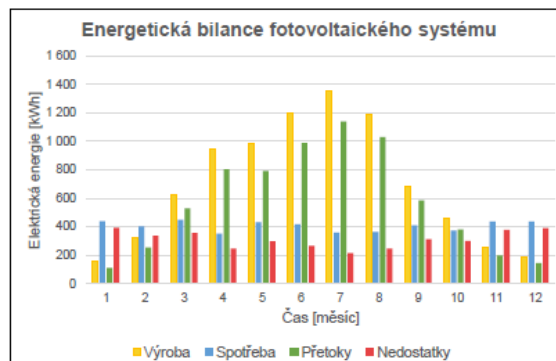
Optimální varianta		
Instalovaný výkon FVE	9,9	kWp
Kapacita bateriového úložiště	Bez instalace baterie	
Jmenovitý výkon tepelného čerpadla	Bez instalace TC	
Typ tepelného čerpadla		

Ekonomické ukazatele		
NPV	55 034	Kč
IRR	6,55%	%
RCF	3 523	Kč
Prostá doba návratnosti	10,97	let
Diskontovaná doba návratnosti	17,24	let

Orientační cenový rozklad		
Dodávka FVE 9,86 kWp včetně instalace	307 275	Kč
Dodávka asymetrického střídače včetně instalace	23 046	Kč
Dodávka bateriového úložiště včetně instalace	0	Kč
Dodávka tepelného čerpadla včetně instalace	0	Kč
Dodávka akumulací nádrže včetně instalace	0	Kč
Celková cena systému včetně DPH	330 321	Kč
Možná výše dotace z dotačního titulu NZU	125 268	Kč
Celková cena systému se zahrnutím dotace včetně DPH	205 053	Kč

Vyhodnocení roční úspory		
	Výchozí stav	Stav po optimalizaci
Spotřeba elektrické energie ve vysokém tarifu	3 770	3 008 kWh/rok
Spotřeba elektrické energie v nízkém tarifu	1 101	738 kWh/rok
Spotřeba zemního plynu	31 687	31 687 kWh/rok
Spotřeba tuhých paliv	10 512	10 512 kWh/rok
<b>Elektřina</b>		
Silová složka VT	11 562	9 224 Kč/rok
Silová složka NT	3 074	2 059 Kč/rok
Měsíční poplatek	486	486 Kč/rok
Distribuční poplatek VT	8 125	6 482 Kč/rok
Distribuční poplatek NT	482	323 Kč/rok
Platba za jistič	2 364	2 364 Kč/rok
Systémové služby	1 037	797 Kč/rok
POZE	2 411	1 854 Kč/rok
Daň z elektřiny	138	106 Kč/rok
Celkem za elektřinu (bez DPH)	29 679	23 695 Kč/rok
Celkem za elektřinu (s DPH)	35 911	28 671 Kč/rok
<b>Zemní plyn</b>		
Obchodní složka ceny	39 229	39 229 Kč/rok
Měsíční poplatek	565	565 Kč/rok
Poplatek za distribuci	8 729	8 729 Kč/rok
Měsíční poplatek za přistavenou kapacitu	3 827	3 827 Kč/rok
Poplatek ERU a OTE	90	90 Kč/rok
Celkem za zemní plyn (bez DPH)	52 439	52 439 Kč/rok
Celkem za zemní plyn (s DPH)	63 451	63 451 Kč/rok
<b>Tuhá paliva</b>		
Celkem (s DPH)	12 001	12 001 Kč/rok
<b>Celková roční platba za energii</b>		
Roční platba	111 363	104 123 Kč/rok
Celková roční úspora za platbu za energii	7 241	Kč/rok

Prodej přebytku elektrické energie do sítě	
Odhadované výnosy z prodeje přebytků v prvním roce	13 636 Kč/rok



Obr. 6.1 – Ukázka vyhodnocení výsledků optimalizačního modelu

## Optimální návrh systému dle zvolených vstupních parametrů

Optimální varianta		
Instalovaný výkon FVE	10,2	kWp
Kapacita bateriového úložiště	Bez instalace baterie	
Jmenovitý výkon tepelného čerpadla	10,36	kW
Typ tepelného čerpadla	TČ voda - voda	

Ekonomické ukazatele		
NPV	182 560	Kč
IRR	7,04%	%
RCF	11 686	Kč
Prostá doba návratnosti	9,73	let
Diskontovaná doba návratnosti	17,89	let

Orientační cenový rozklad		
Dodávka FVE 10,22 kWp včetně instalace	312 568	Kč
Dodávka asymetrického střídače včetně instalace	51 100	Kč
Dodávka bateriového úložiště včetně instalace	0	Kč
Dodávka tepelného čerpadla 10,36 kW včetně instalace	306 291	Kč
Dodávka akumulační nádrže včetně instalace	30 000	Kč
<b>Celková cena systému včetně DPH</b>	<b>699 959</b>	<b>Kč</b>
Možná výše dotace z dotačního titulu NZÚ	154 000	Kč
<b>Celková cena systému se zahrnutím dotace včetně DPH</b>	<b>545 959</b>	<b>Kč</b>

Vyhodnocení roční úspory		
	Výchozí stav	Stav po optimalizaci
Spotřeba elektrické energie ve vysokém tarifu	3 770	1 764 kWh/rok
Spotřeba elektrické energie v nízkém tarifu	1 101	8 450 kWh/rok
Spotřeba zemního plynu	31 687	448 kWh/rok
Spotřeba tuhých paliv	10 512	0 kWh/rok
<b>Elektrina</b>		
Silová složka VT	11 562	5 471 Kč/rok
Silová složka NT	3 074	25 111 Kč/rok
Měsíční poplatek	486	486 Kč/rok
Distribuční poplatek VT	8 125	1 144 Kč/rok
Distribuční poplatek NT	482	3 702 Kč/rok
Platba za iistič	2 364	11 580 Kč/rok
Systémové služby	1 037	2 174 Kč/rok
POZE	2 411	5 056 Kč/rok
Daň z elektřiny	138	289 Kč/rok
<b>Celkem za elektřinu (bez DPH)</b>	<b>29 679</b>	<b>55 011 Kč/rok</b>
<b>Celkem za elektřinu (s DPH)</b>	<b>35 911</b>	<b>66 564 Kč/rok</b>
<b>Zemní plyn</b>		
Obchodní složka ceny	39 229	555 Kč/rok
Měsíční poplatek	565	565 Kč/rok
Poplatek za distribuci	8 729	299 Kč/rok
Měsíční poplatek za přistavenou kapacitu	3 827	1 244 Kč/rok
Poplatek ERU a OTE	90	1 Kč/rok
<b>Celkem za zemní plyn (bez DPH)</b>	<b>52 439</b>	<b>2 664 Kč/rok</b>
<b>Celkem za zemní plyn (s DPH)</b>	<b>63 451</b>	<b>3 223 Kč/rok</b>
<b>Tuhá paliva</b>		
<b>Celkem (s DPH)</b>	<b>12 241</b>	<b>0 Kč/rok</b>
<b>Celková roční platba za energie</b>		
<b>Roční platba</b>	<b>111 603</b>	<b>69 787 Kč/rok</b>
<b>Celková roční úspora za platbu za energie</b>	<b>41 816</b>	<b>Kč/rok</b>

Prodej přebytků elektrické energie do sítě	
Odhadované výnosy z prodeje přebytků v prvním roce	11 902 Kč/rok

