

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2022

**MICHAEL
JAROŠ**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Jaroš** Jméno: **Michael** Osobní číslo: **475035**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Energetika a procesní technika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Energeticky nezávislá domácnost

Název bakalářské práce anglicky:

Energy independent household

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je pro vybraný objekt – rodinný dům navrhnout a vyhodnotit různé scénáře zajištění energetických potřeb v off-grid řešení, tj. bez připojení k distribučním sítím elektrické energie a zemního plynu, s důrazem na využití obnovitelných zdrojů energie. Body k zpracování:

- 1) Zpracování literární rešerše, která se bude týkat možností technického zajištění energetických potřeb domácnosti v off-grid řešení, včetně klíčových parametrů a výhod/nevýhod těchto technologií.
- 2) U zvoleného objektu sestavení jeho energetické bilance, zejména roční diagram trvání výkonu pro pokrytí tepelných ztrát, bilance spotřeby energie pro přípravu TUV a bilance spotřeby elektrické energie.
- 3) Na základě bodu 1. návrh alespoň 2 různých scénářů pokrytí všech energetických potřeb objektu včetně případné akumulace energií, volba konkrétního technického řešení.
- 4) Zpracování energetické bilance jednotlivých scénářů, ekonomické vyhodnocení z hlediska čisté současné hodnoty.

Seznam doporučené literatury:

Ibler, Z. a kol.: Energetika - technický průvodce. BEN, Praha, 2002
Další zdroje dle pokynů vedoucího práce.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

prof. Ing. Jan Hrdlička, Ph.D., ústav energetiky FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **25.10.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.01.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2022**

prof. Ing. Jan Hrdlička, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana (ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval zcela samostatně pod vedením prof. Ing. Jana Hrdličky, Ph.D. Veškeré prameny a zdroje informací, které jsem použil k sepsání této práce, byly citovány a jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Michael Jaroš

Anotační list

Jméno autora:	Michael Jaroš
Název BP:	Energetická nezávislost domácnosti
Anglický název BP:	Energy independent household
Akademický rok:	2021/2022
Ústav:	Ústav energetiky
Vedoucí BP:	prof. Ing. Jan Hrdlička, Ph.D.
Bibliografické údaje:	Počet stran: 70 Počet obrázků: 9 Počet tabulek: 14 Počet grafů: 8
Klíčová slova:	energetická nezávislost, ostrovní systém, soběstačná domácnost, fotovoltaická elektrárna
Keywords:	energy independence, off-grid system, self-sufficient household, photovoltaic power plant
Anotace:	Cílem této práce je návrh energeticky nezávislé domácnosti bez připojení na rozvod zemního plynu a elektrické energie včetně ekonomického zhodnocení. Na základě informací o spotřebě skutečného rodinného domu byla vytvořena bilance energetických nároků domácnosti – diagram trvání topného výkonu, spotřeba tepla na ohřev teplé vody a spotřeba elektrické energie v průběhu roku. Pro pokrytí těchto potřeb byly vypracovány dva návrhy energetických zdrojů. V závěru práce bylo provedeno ekonomické zhodnocení navrženého řešení metodou čisté současné hodnoty (NPV), citlivostní analýza ceny použitých paliv a rozbor dosažených výsledků.

Abstract:

The aim of this work is to design an energy independent household without connection to natural gas and electricity supplies, including an economic evaluation. Based on the consumption information of a real family house, a balance of the household's energy requirements was created – a diagram of the duration of heating capacity, the consumption of heat for heating water and the consumption of electricity throughout the year. Two energy source designs were developed to meet these needs. The work concludes with an economic evaluation of the proposed solution using the net present value (NPV) method, a sensitivity analysis of the cost of the fuels used and an analysis of the results obtained.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především své mamince za všechno, co pro mě kdy udělala. Bez její podpory a bez úsilí, které vložila do mé výchovy, bych nenapsal ani tuto práci. Dále chci poděkovat své sestře za jazykovou korekturu. V neposlední řadě děkuji i panu prof. Ing. Janu Hrdličkovi, Ph.D. za množství konstruktivních připomínek a rad.

Obsah:

1	Úvod	10
2	Teoretická část	12
2.1	Výroba elektrické energie pro potenciální off-grid použití.....	12
2.1.1	Fotovoltaické systémy	12
2.1.2	Malý větrný zdroj.....	15
2.1.3	Malá vodní elektrárna	17
2.1.4	Palivový článek.....	19
2.1.5	Stirlingův motor.....	21
2.1.6	Plynová mikroturbína	22
2.2	Výroba tepla pro potenciální off-grid použití	23
2.2.1	Biomasa	24
2.2.2	Spalování kusového dřeva	25
2.2.3	Dřevěné pelety	25
2.2.4	Brikety	25
2.2.5	Lehké topné oleje.....	26
2.2.6	Zkapalněné ropné plyny (LPG)	26
2.2.7	Tepelné čerpadlo.....	26
2.2.8	Vodíkový kotel	27
2.2.9	Solární termické systémy.....	27
2.3	Akumulace vyrobené energie.....	29
2.3.1	Elektrochemická akumulace	30
2.3.2	Chemická akumulace (Power to Gas, P2G).....	31
2.3.3	Tepelná akumulace	31
3	Praktická část.....	32
3.1	Popis modelového domu	32
3.2	Analýza spotřeby energií.....	32

3.2.1	Výpočet tepla k ohřevu teplé užitkové vody	33
3.2.2	Teplo na vytápění.....	34
3.2.3	Bilance spotřeby elektrické energie.....	39
3.3	Návrh pokrytí energetických potřeb modelového objektu.....	41
3.3.1	Varianta 1.....	42
3.3.2	Energetická bilance Varianty 1.....	48
3.3.3	Varianta 2.....	49
3.3.4	Energetická bilance Varianty 2.....	52
3.4	Ekonomické vyhodnocení navržených variant	52
3.4.1	Investiční náklady	53
3.4.2	Stávající provozní náklady.....	54
3.4.3	Provozní náklady nových řešení.....	56
3.4.4	Vyhodnocení z hlediska čisté současné hodnoty	56
3.4.5	Citlivostní analýza	58
3.4.6	Zhodnocení výsledků.....	59
4	Závěr.....	62
5	Seznam použité literatury	64
6	Seznam obrázků.....	69
7	Seznam tabulek.....	69
8	Seznam grafů	70

Seznam použitých zkratek

FVE	fotovoltaická elektrárna
RD	rodinný dům
CZT	centrální zásobování teplem
MVE	malá vodní elektrárna
OZE	obnovitelné zdroje energie
TUV	teplá užitková voda
LPG	Liquified Petroleum Gas (zkapalněný ropný plyn)
BÚ	bateriové úložiště
MPPT	Maximum Power Point Tracking (regulátor FV panelů zajišťující jejich maximální výkon)
CF	Cash Flow (tok peněz)
NPV	Net Present Value (čistá současná hodnota)
VT	vysoký tarif
NT	nízký tarif

1 Úvod

S rostoucími cenami elektrické energie a tepla a zároveň s neustále se zvyšujícím rizikem rozsáhlých výpadků elektrické sítě způsobených zvětšujícím se podílem obtížně regulovatelných obnovitelných zdrojů začíná být téma energeticky nezávislé domácnosti čím dál tím víc aktuální. Jedná se o domácnosti s tzv. ostrovním provozem (častěji se používá anglické spojení off-grid), což znamená, že daný objekt není napojený na inženýrské sítě (v této práci se budeme bavit pouze o síti elektrické, rozvodech zemního plynu a o sítích dálkového zásobování teplem, nikoliv o napojení na kanalizaci a vodovod), a proto musí být schopen zajistit si potřebné množství tepla a elektrické energie pomocí vlastních zdrojů.

Další výhodou je fakt, že není třeba pokrývat ztráty v dálkových rozvodech (platí především u dodávek tepla) a platit poplatky distributorovi. Zároveň je provozovatel off-grid domácnosti zcela nezávislý na mezinárodním obchodu s energiemi a také se nemusí bát politických krizí mezi jednotlivými státy. Posledním nejpragmatičtější důvodem může být fakt, že distribuční sítě zkrátka nejsou v dosahu.

Na druhou stranu mají ostrovní systémy i řadou nevýhod. Při výstavbě soběstačného domu je potřeba investovat peníze navíc do technologií umožňujících ostrovní provoz a současně provozování takového domu vyžaduje i určité znalosti o použitých technologiích, aby mohl být zajištěn bezproblémový, ekonomický a efektivní chod objektu. Dále je nutné počítat s akumulací získávané energie, protože se často používají technologie využívající větru nebo slunečního záření, což jsou obnovitelné zdroje silně závislé na denní a roční době a zároveň jsou obtížně předvídatelné. Běžně potom nastává situace, při které má domácnost malou spotřebu elektrické energie či tepla a přitom jsou např. solární/větrné systémy na maximálním výkonu. A naopak, když je ve večerních hodinách největší spotřeba elektřiny a tepla (sprchování, vaření, zábava), nemusí zrovna foukat vítr a dopadající sluneční záření je minimální. Z tohoto důvodu je nutné akumulovat jak teplo, tak i elektrickou energii pro chvíle nedostatku.

Správně fungující soběstačná domácnost zkrátka vyžaduje specifický přístup k omezeným zdrojům energie, který je ovšem vykoupen vysokým stupněm nezávislosti. Úplné nezávislost lze dosáhnout totiž velice obtížně, protože i ostrovní systémy jsou často alespoň

z části závislé například na každoročních dodávkách paliva ve formě dřevěných pelet, lehkých topných olejů či jinak průmyslově zpracovávaných produktů. V případě instalace technologií využívajících energie slunce či větru je objekt zase silně závislý na aktuálním počasí. Proto je dobré si uvědomit, jak dlouho je domácnost schopná provozu bez jakýchkoli dodávek zvenčí.

Cílem této práce je nejprve přehledně představit technologické prostředky umožňující uspokojování energetických potřeb domácnosti v off-grid režimu a popsání jejich hlavních výhod a nevýhod. V praktické části práce bude vytvořen modelový objekt inspirovaný skutečným rodinným domem a provedena bilance jeho spotřeby elektrické energie a tepla. Následně budou navrženy dvě odlišné varianty způsobu pokrytí energetických nároků objektu konkrétními technologiemi včetně akumulace vyrobené energie. V poslední části práce bude provedeno ekonomické zhodnocení navrhovaných řešení.

2 Teoretická část

2.1 Výroba elektrické energie pro potenciální off-grid použití

2.1.1 Fotovoltaické systémy

Sluneční energie ve formě elektromagnetického záření v širokém spektru vlnových délek je nejdostupnější a nejhojněji se vyskytující formou energie na Zemi. Téměř všechny ostatní zdroje energie jako např. vítr, biomasa, fosilní paliva a vodní toky mají svůj původ právě ve Slunci. Jiný původ má pouze geotermální energie, energie jaderná a energie mořského přílivu. [1]

Na povrch naší planety dopadá průměrně zhruba 120 petawattů energie. Kdybychom ji dokázali plně využít, tak by při jednodenní expozici planety uspokojila celosvětovou poptávku po energii na celých dvacet let. [2]

Teoretické maximální množství energie, která dopadne za jednu sekundu na jednotkovou plochu vně atmosféry, je zhruba $1\,360\text{ W/m}^2$. Tato hodnota se nazývá sluneční konstanta. Po průchodu atmosférou se kvůli pohlcení části záření dostaneme na přibližně 75 % sluneční konstanty, tzn. $1\,000\text{ W/m}^2$. Když je v zimě Slunce nízko nad obzorem a jsou zatažené mraky, dostáváme se k hodnotám menším než 200 W/m^2 . Velký vliv na výkon záření má i stupeň znečištění atmosféry. [1]

Problémem slunečního záření je ale i jeho silná závislost na zeměpisné poloze, kdy nejvíce záření dopadá na oblasti kolem rovníku, nejméně naopak na póly. Nevýhodou je také jeho silná závislost na denní i roční době. Dalším faktorem znemožňujícím využití Slunce jakožto téměř neomezeného zdroje energie je nízká účinnost současných zařízení při přeměně záření na elektrickou energii. I přes tyto nevýhody se stále jedná o způsob výroby elektřiny, který je v podmínkách České republiky smysluplný a v aplikacích usilujících o energetickou nezávislost nejčastěji používaný.



Obr. 1 Rozložení dopadajícího slunečního záření za jeden rok, převzato z [8]

Sluneční záření lze využít na výrobu elektrické energie dvěma způsoby – buď se energie obsažená ve slunečních paprscích přemění přímo na elektřinu pomocí fotovoltaických panelů, nebo se nejprve teplo ze slunečního záření přemění na mechanickou energii, která se poté použije na výrobu energie elektrické. Příkladem druhého způsobu výroby elektřiny je soustava parabolických koncentrátorů s absorberem umístěným v ohniskové přímce. V absorberu se nachází voda, která se vlivem dopadajícího záření odpařuje. Pára poté expanduje na turbíně, která roztáčí elektrický generátor. [1] Pro aplikace velikosti rodinného domu má zatím smysl pouze přímá přeměna záření na elektrickou energii pomocí solárních panelů, proto se dále budu věnovat jen této technologii.

První experimenty s fotoelektrickým jevem probíhaly již v první polovině 19. století, k většímu rozvoji této technologie dochází ale až od padesátých let 20. století, kdy byl vyroben první křemíkový fotočlánek v Bell Laboratories v USA. Zásadní vliv na rozvoj fotovoltaiky měl Albert Einstein teoretickým objasněním fotoelektrického jevu, který je při konverzi slunečního záření na elektrickou energii využíván. [3]

Výchozím materiálem pro výrobu fotovoltaických článků je křemík. Nejdéle vyráběné jsou články z monokrystalického křemíku vykazující dlouhodobou stabilitu výkonu. Dále se jedná o výrobně jednodušší a levnější články polykrystalické, které ale mají nižší proud a účinnost. Třetím nepoužívanějším druhem jsou články z amorfního křemíku, který se ve

velmi tenkých vrstvách nanáší na různé podložky. Ty mohou mít i podobu ohebné fólie. Úspora vstupního materiálu je vykoupena méně pravidelnou strukturou snižující účinnost. Ostatní typy, jako například články z organických materiálů nebo vícevrstvé profily pracující se širokým spektrem záření, se intenzivně zkoumají. [53]

Samotný proces konverze elektromagnetického záření ze slunce probíhající ve fotovoltaickém panelu, který je tvořen polovodičovým P-N přechodem, lze rozdělit do dvou základních kroků. Nejprve je dopadajícími fotony v materiálu panelu vyvolán vnitřní fotoelektrický jev, při němž se tvoří páry elektron–díra (v kovech dochází k okamžité rekombinaci, proto se využívá polovodičů, které umožňují jejich pohyb materiálem). Následně se záporný elektron přesune na polovodič typu N (katoda) a kladná díra na polovodič typu P (anoda). Tím se generuje elektrické napětí. Uzavřením obvodu lze pak získat stejnosměrný elektrický proud. Pohyb elektronů je možný pouze v propustném směru P–N přechodu. Opačnému směru toku elektronů zabraňuje potenciálová bariéra. [4]



Obr. 2 Použití solárních modulů na střeše rodinného domu, převzato z [9]

Parametry FV panelů se stanovují za přesně definovaných laboratorních podmínek tak, aby bylo možné jednotlivé výrobky mezi sebou porovnávat. Jejich maximální výkon se určuje při intenzitě ozáření 1000 W/m^2 se spektrem AM 1.5 a při teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Výkon panelů při těchto ideálních podmínkách se udává v jednotkách Watt Peak – výkon ve špičce. V reálných aplikacích jsou ale podmínky téměř vždy horší než v laboratoři, proto se tohoto výkonu

málokdy dosáhne. [3][53] Kromě výkonu je důležitým parametrem také účinnost, která určuje, jaké množství dopadajícího záření dokáže panel přeměnit na užitečnou elektřinu.

Aby fotovoltaické panely vyráběly co největší množství energie, je nutné dodržet několik zásad při jejich instalaci. Na severní polokouli je ideální orientovat panely směrem k jihu, protože se tam po většinu dne nachází Slunce (je nad rovníkem) a zisky energie jsou tedy největší. Důležitý je i sklon panelu – v ideální případě by měly sluneční paprsky dopadat kolmo na jeho povrch. Slunce ovšem během dne i během roku mění svoji výšku nad obzorem a tím se mění i úhel dopadu paprsků na solární panel. Zjednodušeně znamená vodorovnější poloha panelu vyšší výrobu v letních měsících, svislejší poloha zase vyšší výrobu v zimě. Problém s proměnlivou polohou Slunce lze vyřešit zařízením, které sluneční pohyby sleduje a podle nich patřičně natáčí panely. Toto řešení je ale nákladné a u malých aplikací se nevyplatí. Dále má na výkon solárního panelu negativní vliv i jeho rostoucí teplota. Podle [3] při nárůstu teploty o 25 °C klesne výkon krystalických článků až o 10 %. Při dlouhodobém osvitě nebo při bezvětrí mohou panely dosahovat teplot až 80 °C. Pokles výkonu (součin napětí a proudu) způsobí snížení napětí panelu způsobené vysokou teplotou. Aby k poklesům nedocházelo, musí být zajištěno dostatečné proudění vzduchu okolo panelů zajišťující dostatečný odvod tepla. V neposlední řadě je potřeba udržovat povrch panelu v čistotě, aby dovnitř prošlo co největší množství slunečního záření.

Nevýhodou fotovoltaických panelů je jejich silná závislost na intenzitě dopadajícího záření dané denní a roční dobou, malá účinnost přeměny slunečního záření na elektřinu a s ní související nutnost osazovat panely relativně velké plochy pro dosažení potřebného výkonu. Výhodou je nenáročná údržba a bezhlučný provoz s téměř nulovými náklady. Absence pohyblivých částí minimalizuje riziko poruchy, výhodou je i bezemisní provoz. Navíc podle [54] v ČR trvá panelu 1,5 roku vyrobit tolik energie, kolik bylo na jeho výrobu spotřebováno.

2.1.2 Malý větrný zdroj

Vítr vzniká vyrovnáváním tlakových rozdílů v atmosféře. Ty jsou způsobeny nerovnoměrným ohřevem naší planety Sluncem. Různě ohřátý povrch Země ohřívá nižší vrstvy atmosféry a tím vznikají místa s vyšším tlakem a místa, kde je tlak nižší. Vítr tyto tlaky vyrovnává, přičemž vane vždy z místa s vyšším tlakem k místům s tlakovou níží. Tento proces významně ovlivňuje střídání dne a noci a také rotaci Země. [5] Proudění větru je

bohužel značně nepravidelné, čímž se komplikuje jeho využívání. Zda je lokalita vhodná k osazení větrnou turbínou, řekne větrná mapa, ze které lze vyčíst potenciál větrné energie pro konkrétní místo.

Výkon větrného stroje lze podle [3] vyjádřit rovnicí:

$$P_{v\acute{e}tru} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (1)$$

kde

ρ hustota vzduchu [kg/m³]

A..... plocha, která je kolmá k proudění vzduchu [m²]

v..... rychlost proudění vzduchu [m/s]

V rovnici se vyskytují dvě proměnné veličiny – hustota vzduchu a jeho rychlost. Hustota závisí na teplotě, tlaku a s nadmořskou výškou klesá. Rychlost větru, na které je výkon závislý s třetí mocninou, je také proměnlivá. Ovlivňována je zejména členitostí povrchu a výškou nad terénem. Přitom platí, že čím výše rychlost měříme a čím hladší je povrch (například vodní hladina, louka s nízkým porostem), tím je rychlost větru větší. [5]

Větrné motory dělíme podle aerodynamického principu funkce zařízení na:

- odporové motory
- vztlakové motory

Podstatou odporových motorů je využívání aerodynamického odporu plochy zařízení. Plocha brání větru v proudění a tím se vytváří síla, která se přeměňuje na hnací krouticí moment. Příkladem takového zařízení je Savoniův motor. Výhodou je nezávislost na směru větru a jednoduchá konstrukce. Moderní elektrárny ale využívají princip vztlaku známý z letadel. Díky vhodnému profilu listů rotoru musí vzduch na horní straně listu urazit delší dráhu než proud vzduchu na spodní straně, tím na horní straně vzniká podtlak a vespod přetlak. Tento tlakový rozdíl vytváří sílu působící na list rotoru ve dvou směrech. Tlaková síla působí ve směru osy rotace a namáhá listy na ohyb bez využití síly k výrobě elektřiny. Tu vyrábí většinou menší tangenciální síla, která roztáčí hřídel s lopatkami. Hřídel je přes převodovku spojena s generátorem, který vyrábí elektrickou energii. Aby bylo využívání

větru efektivní v širokém spektru jeho rychlostí, existuje mnoho způsobů regulace větrné turbíny, které většinou spočívají v natáčení listů rotoru kolem jejich osy. Tato regulace umožňuje i bezpečné snížení výkonu při vysokých rychlostech větru. Současné větrné turbíny pracují nejčastěji v rozmezí rychlostí 3 až 25 m/s, přičemž jmenovitý výkon se pohybuje kolem 15 m/s. [3][5]

Jako příklad malého větrného zdroje lze uvést produkt tuzemské firmy AERPLAST AP400 s jmenovitým výkonem 400 W, rozběhovou rychlostí 3 m/s, jmenovitou rychlostí 11 m/s a průměrem rotoru 1,5 m. [56]



Obr. 3 AP400 [56]

Nevýhodou této technologie je nezanedbatelné množství produkovaného hluku, změna krajinného rázu a nebezpečí, které elektrárny představují pro tažné ptáky. [6] Mezi výhody využívání energie větru lze zařadit malou ekologickou zátěž životního prostředí v porovnání s klasickými fosilními zdroji, minimální údržbu a téměř nulové náklady na provoz. Podle [55] je koeficient ročního využití výkonu větrných elektráren v ČR okolo 25 %, což je v porovnání s 9 % až 13 % pro FVE [56] významně více.

2.1.3 Malá vodní elektrárna

Na Zemi je nepředstavitelné množství vody – zhruba 1,4 miliardy km³. Z toho připadá 2,6 % na celkovou sladkou vodu, která je však ze tří čtvrtin zmrzlá. Jenom 0,02 % veškeré vody se nachází v řekách a jezerech, i tak se ale pořád jedná o obrovskou masu vody, která se díky slunečním paprskům neustále přemísťuje v hydrologickém cyklu. Množství energie, kterou dokážeme vodě odebrat a přeměnit ji na užitečnou elektřinu ve vodní elektrárně, závisí

hlavně na průtoku a spádu konkrétního toku, respektive na potenciální a kinetické energii vody. Kinetická energie toku je závislá na rychlosti proudu, potenciální energie roste a klesá s výškovým rozdílem hladin mezi dvěma body na vodním toku. [3]

Mechanický výkon vodní elektrárny lze podle [7] vyjádřit rovnicí:

$$P_{mech} = g \cdot \rho \cdot Q \cdot h \cdot \eta \quad (2)$$

kde

g gravitační zrychlení [m/s²]

ρ hustota vody [kg/m³]

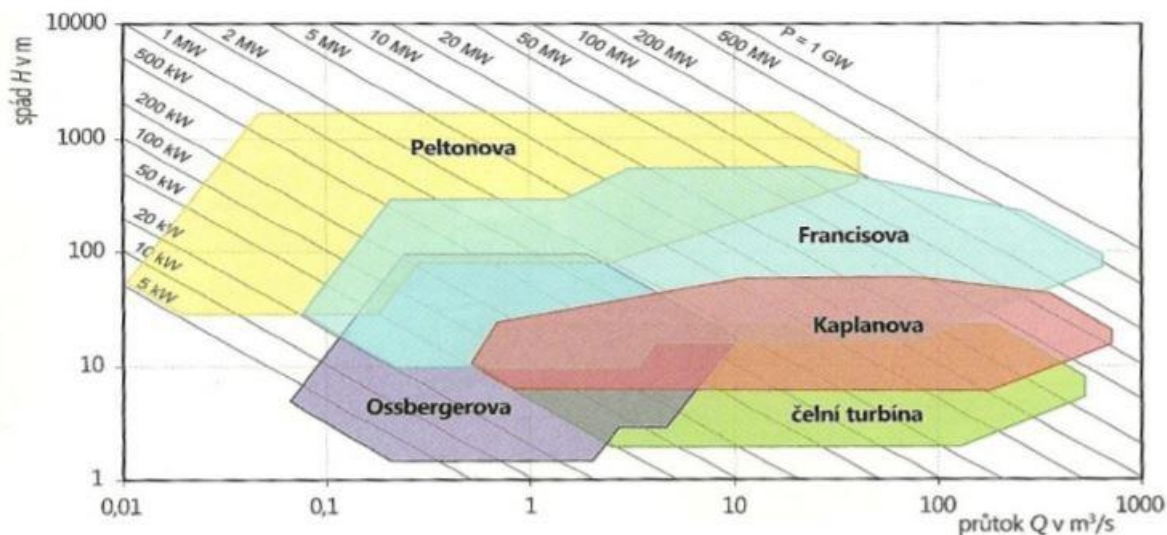
Q průtočné množství vody [kg/s]

h dostupný spád vody [m]

η mechanická účinnost turbíny [1]

Ve vodních elektrárnách se využívají převážně tři hlavní typy vodních turbín roztáčejících generátory elektrické energie. Jedná se o Kaplanovu, Francisovu a Peltonovu turbínu. První dvě se řadí mezi přetlakové turbíny, což znamená, že voda vstupuje na turbínu s přetlakem, který při průtoku turbínou klesá. Voda tedy vystupuje z elektrárny s menším tlakem, než jaký měla na vstupu. Kaplanova turbína se využívá tam, kde je k dispozici velký průtok a malý spád. Lze ji regulovat natáčením lopatek turbíny i rozvaděče, čímž se dosahuje vysokých účinností. Francisova turbína je vhodná pro střední spády a široké spektrum průtoků. Výhodou je možnost použití jako reverzibilního zařízení vhodného k čerpání vody v přečerpávacích elektrárnách. Peltonova turbína se označuje jako rovnotlaká – tlak vody je stejný před turbínou i za ní. Využívá pouze kinetickou energii vody, která se přivádí pomocí několika dýz (trysek) a dopadá na korečky připevněné na centrálním disku. Peltonova turbína je vhodná zejména pro velké spády a malé průtoky. Pro velmi malé aplikace (například RD) je vhodná svou konstrukční jednoduchostí a nízkou pořizovací cenou Bánkiho turbína.

Každá z vyjmenovaných turbín vyniká v jiných podmínkách použití. Ty jsou dány hlavně dostupným spádem a průtokem, který se v průběhu roku mění. Oblasti optimálního využití znázorňuje Obr. 4.



Obr. 4 H–Q diagram zobrazující oblasti optimálního využití turbín, převzato z [3]

V kontextu energetické nezávislosti rodinného domu připadají v úvahu především domácí vodní elektrárny s výkonem do 35 kW. [57] I tyto elektrárny vždy vyžadují příslušná povolení úřadů.

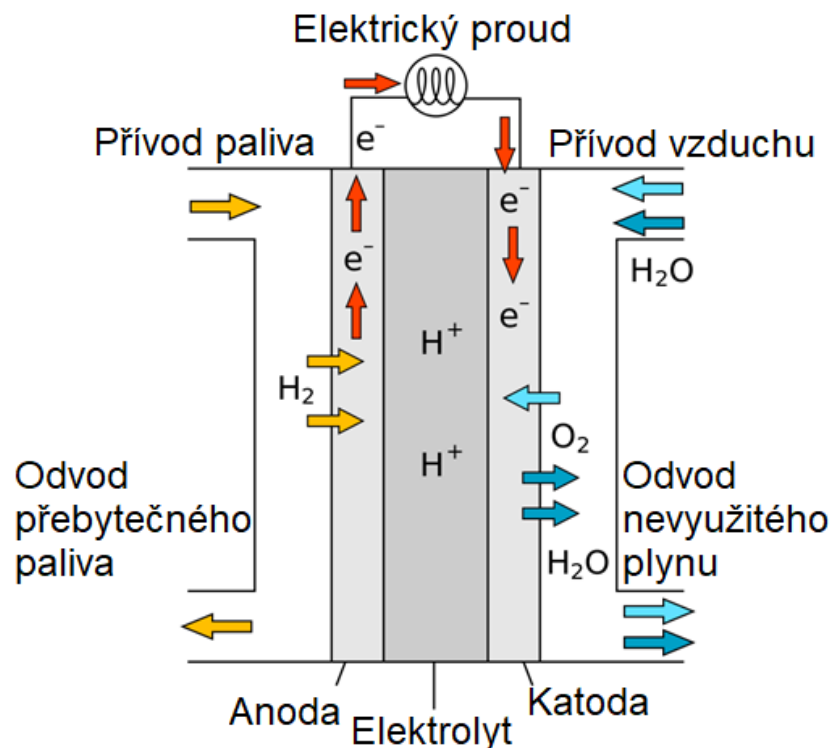
Mezi nevýhody vodních elektráren lze zařadit vysoké investiční náklady spojené s úpravou okolního terénu, případně s výstavbou vzdouvacího zařízení, zásah do krajiny či ekosystému. Naopak výhodou získávání energie pomocí malé vodní elektrárny je relativně vysoká doba využití instalovaného výkonu, možnost regulace vodního toku a nízké provozní náklady. Většina turbín je také schopna velice rychle zvýšit svůj výkon z nuly až na maximum. Pro využívání vodních turbín hovoří i fakt, že se jedná o mechanické motory s největší účinností vůbec, dosahují až 95% účinnosti. [5]

2.1.4 Palivový článek

Objevení palivového článku souvisí s objevem a výzkumem elektrolýzy. První funkční články sestavil v roce 1839 anglický fyzik William Robert Grove, který tak dokázal, že je možné vyrábět elektrickou energii pomocí chemické reakce mezi vodíkem a kyslíkem na katalyzátoru z platiny. Až v polovině 20. století dospěl vývoj palivového článku k praktickému použití. Nejprve se palivové články používaly především ve vesmírných aplikacích jako zdroje elektrického proudu a vody pro svoji malou hmotnost a také k vojenským účelům, například jako pohon ponorek (výzkum probíhal v USA a SSSR). Díky tomu se na vývoj přidělily velké finanční prostředky umožňující zdokonalení

technologie. V současné době jsou kvůli snahám o ochranu životního prostředí vkládány velké naděje do automobilů, které k pohonu svých elektromotorů budou využívat právě palivové články. Z pohledu energetiky mohou být jako malé stacionární zařízení použity i jako spolehlivý zdroj elektrické energie v odlehlých oblastech, v ostrovních systémech nebo poslouží jako záložní zdroje. [3][5]

Palivové články elektrochemickými reakcemi přímo přeměňují chemickou energii vázanou v palivu na elektrický proud. Dosahují tím teoreticky vyšší účinnosti, než jaké by bylo možno dosáhnout spálením vodíku v elektrárně. Existuje mnoho typů palivových článků, které se liší typem elektrolytu, provozními teplotami (některé lze používat i k výrobě tepla) a použitelnými spalovanými plyny (kyslík/vzduch), princip je ale u všech stejný. Článek obsahuje dvě porézní elektrody, elektrolyt, který je umístěn mezi nimi, a katalyzátor nanesený na elektrodách. Na anodu se přivádí vodík (nebo hořlavý plyn) a na katodu se vede čistý kyslík nebo vzduch jako oxidační prostředek. Vodík na anodě oxiduje za vzniku kladných iontů vodíku a elektronů. Elektrony jsou zachytávány anodou a přes připojenou zátěž v elektrickém obvodu putují ke katodě. Ionty putují od anody elektrolytem ke katodě, na kterou je přiváděn kyslík. Ten zde reaguje s ionty a elektrony za vzniku vody. Samostatný palivový článek poskytuje příliš malé napětí přibližně jednoho voltu, proto se články sériově spojují do větších celků. [3][5]



Obr. 5 Schematické zobrazení palivového článku, převzato z [11]

Samotnou výrobu vodíku je možné realizovat několika způsoby. Jednak výrobou z fosilních paliv (uhlí, zemní plyn, ropa) například parním reformingem nebo parciální oxidací. Dále elektrolýzou vody na vodík a kyslík za pomoci stejnosměrného elektrického proudu. Při tomto způsobu výroby lze efektivně využívat přebytky elektřiny z obnovitelných zdrojů. Vodík lze vyrábět i zplyňováním uhlí, odpadů nebo biomasy a také vysokoteplotním rozkladem vody. Existuje i několik experimentálních technologií založených na biologických procesech. [12]

Důležité je podotknout, že v závislosti na použitém typu palivového článku lze využívat i jiná paliva než jen čistý vodík. U některých typů je nutné nejprve v tzv. reformeru chemicky rozložit použité palivo (zemní plyn, metanol) na reformingový plyn bohatý na vodík, který poté vstupuje na elektrody článku. U typů pracujících s vysokými teplotami lze zpracovávat uhlovodíkové plyny (zemní plyn, bioplyn) přímo. [3]

Problémem palivových článků je jejich vysoká cena, nízká životnost a obtíže spojené s vodíkovým hospodářstvím. Protože má vodík velice malé a lehké atomy, je extrémně těkavý a dokáže se časem prodírat kovovou stěnou zásobníku. Tak vznikají velké ztráty. Navíc je ve směsi se vzduchem výbušný. Výhodou je bezemisní provoz (při bezemisní výrobě vodíku) a v porovnání s ostatními palivy bezkonkurenční množství energie obsažené v jednotce hmoty. [3][12]

2.1.5 Stirlingův motor

Stirlingův motor se řadí mezi tepelné motory s vnějším zdrojem tepla. Teplo může získávat ze spalovacích procesů, z odpadního tepla nebo koncentrací slunečních paprsků. Motor dokáže měnit tepelnou energii na mechanickou díky roztažnosti plynů v jeho pracovním válci s pístem. Ohříváný plyn (vzduch, hélium, vodík) se rozpíná a chlazený naopak smršťuje. Rozlišují se tři základní typy Stirlingova motoru – alfa, beta a gama, které se liší konstrukcí válce (alfa využívá válce dva), který se zvnějšku na jednom místě ohřívá a na druhém ochlazuje. Ve válci jsou dva písty. Jeden jen vůči válci utěsněný, kolem druhého se může plyn přesouvat z jednoho konce válce na druhý. Písty jsou spojeny s klikovým mechanismem se setrvačником umožňujícím překonávání úvratí. Celé zařízení musí být důkladně utěsněno, aby pracovní médium neunikalo do okolí. [13]

Pro ostrovní provoz může být výhodné využití Stirlingova motoru jako generátoru elektrické energie v kombinaci s kotlem v podobě kogeneračního zařízení produkujícího teplo i elektřinu. Současnou výrobou elektřiny a tepla lze dosáhnout větší celkové účinnosti. Zařízení je nenáročné na údržbu, je tiché a spolehlivé. Problém může nastat s využitím tepla v létě, kdy je potřeba tepla minimální. Výhodná tak může být kombinace s fotovoltaickými panely, které v tomto období zajistí výrobu elektřiny, a kogenerační jednotka může být mimo provoz.

2.1.6 Plynová mikroturbína

Jedná se o točivý stroj podobný klasickým plynovým turbínám sloužící k výrobě elektrické energie, případně k pohonu nejrůznějších zařízení. Oproti velkým plynovým turbínám jsou mnohem menší, nicméně pracují na stejném principu Braytonova cyklu. Jejich hlavními součástmi jsou kompresor, spalovací komora, turbína a v řadě případů i rekuperátor využívající teplotu spalin k předehřevu spalovacího vzduchu. Odpadní teplo lze využívat na vytápění. V takovém případě se jedná o kogeneraci – společnou výrobu elektrické energie a tepla, která je charakteristická velkým využitím paliva. Mikroturbíny mohou spalovat zemní plyn, bioplyn, kerosen nebo podobná paliva. [14]

Jejich princip fungování je stejný jako u všech ostatních plynových turbín. Nejprve se těleso turbíny roztočí startérem. Kompresor začne stlačovat vzduch, který proudí do spalovací komory, do té je současně pod velkým tlakem přiváděno palivo. Směs vzduchu a paliva je zapálena, hoří a její spaliny expandují na turbíně. Hřídel turbíny je napojena na generátor, který vyrábí elektrický proud. Otáčky lze regulovat množstvím přiváděného paliva. Ve spalinách je obsaženo ještě 60 až 80 % energie paliva, proto je vhodné horké spaliny ještě využít, například k ohřevu teplé vody. [14]

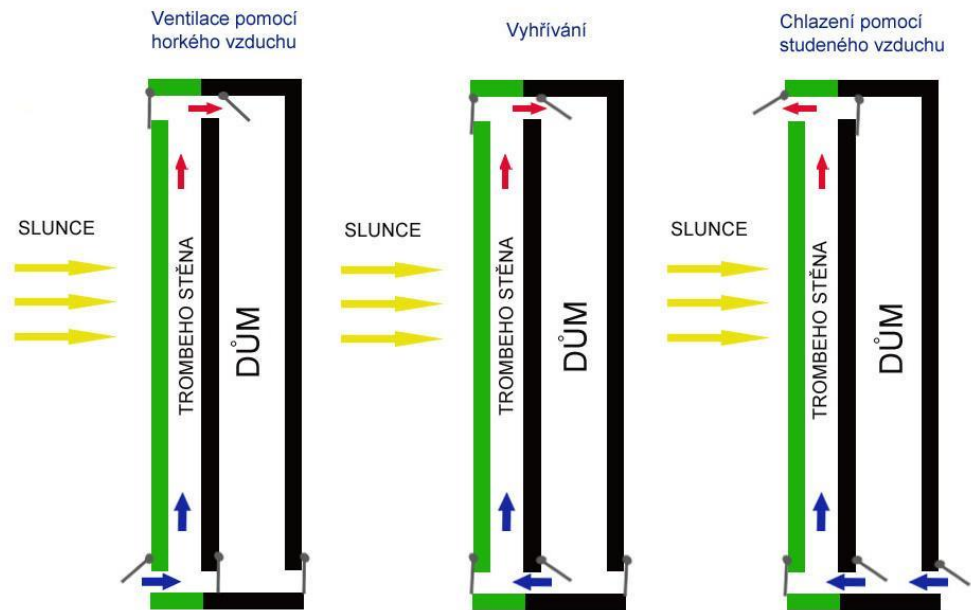
Nevýhodou mikroturbín může být vyšší hlučnost a fakt, že spaliny s vysokou teplotou opouští zařízení bez dalšího využití, což se projeví na účinnosti. Výhodou je jejich nízká hmotnost, malé vibrace, rychlý náběh na plný výkon, jednoduchá údržba a provoz. Dále je to celková jednoduchost zařízení s minimem pohyblivých dílů a nízké emise. Využití naleznou hlavně v odlehlých lokalitách (doly, vrty, horské hotely) jako záložní zdroje důležité infrastruktury, při čističkách odpadních vod s produkcí odpadního plynu s obsahem metanu, ale už se s nimi lze setkat i ve větších domácnostech. [15]

2.2 Výroba tepla pro potenciální off-grid použití

Rodinný dům nelze celoročně komfortně provozovat bez dostatečné dodávky tepla na vytápění a na ohřev teplé vody. Obecně lze říci, že aby bylo zajištění energetické nezávislosti co nejsnazší, je vhodné snížit potřeby energie v domácnosti na co nejmenší hodnoty (ideálně při zachování dostatečného komfortu). A protože v současné době bývá největší část energie spotřebována na vytápění objektu – podle [1] je to u běžného rodinného domu až 72 % celkové spotřeby energie, měl by každý, kdo chce být soběstačný v hospodaření s energiemi, přemýšlet právě nad snížením potřeby tepla na vytápění.

Již vhodný návrh stavby může tuto potřebu výrazně snížit. Jedná se především o správnou izolaci budovy (se správně navrženým větráním) nebo o využívání solárních zisků, které mohou díky vhodně navrženým oknům a orientaci budovy na jih přispět k minimalizaci potřeby tepla. Správné stavební řešení může snížením potřeby klimatizovat objekt v létě uspořit i elektřinu. Toho lze docílit opět vhodnou orientací domu, stíněním (rolety, slunolamy, zeleň) nebo například Trombeho stěnou.

Jedná se o jednoduché zařízení, které bez jakékoli dodávky energie dokáže budovu klimatizovat, vytápět nebo větrat. Svisle umístěným sklem proniká sluneční záření na černou plochu umístěnou kousek za sklem. Ta se ohřívá a tepelnou energii předává vzduchu v prostoru mezi sklem a deskou. Toho se dá využít několika způsoby, jak ukazuje Obr. 6. Použití tohoto zařízení je vhodné i pro málo navštěvované objekty, které můžeme větráním ochránit proti vlhkosti nebo takto v zimě udržujeme teplotu v objektu nad nulou.



Obr. 6 Schematické zobrazení provozování Trombeho stěny, převzato z [17]

2.2.1 Biomasa

Nejčastějším způsobem výroby tepla je spalování paliv. Ta se dají rozdělit na paliva z biomasy a paliva fosilního původu. Z pohledu energetické nezávislosti se jeví některá paliva z biomasy jako vhodnější než ta fosilní, protože jejich výroba může být poměrně jednoduchá a lze je získávat svépomocí z místních zdrojů. Jedná se především o kusové dřevo a štěpku. Brikety a pelety musí být vyráběny většinou průmyslově, přesto pro ně hovoří alespoň jejich nižší emise a jejich obnovitelnost. Na druhou stranu je většina fosilních paliv stále poměrně levná a většina má větší výhřevnost než paliva na bázi biomasy.

Biomasou se rozumí materiál biologického původu, který vznikl zpravidla pěstováním rostlin, chovem živočichů nebo pochází z organických odpadů. [5]

Charakteristickou vlastností biomasy bývá značný podíl prchavé hořlaviny (část paliva je zplyňována) a velký obsah vody. Navíc je hygroskopická, což znamená, že i po vysušení je náchylná k opětovnému vlhnutí. Spálením mokrého dřeva můžeme přijít až o polovinu tepla, které je v něm obsaženo, proto je vhodné biomasu před spalováním dostatečně usušit. [18]

2.2.2 Spalování kusového dřeva

Může se jednat o odpad lesního hospodářství nebo cíleně pěstované rostliny. Jde o tradiční palivo, které se používá již tisíce let, proto je technologie spalování dobře zvládnutá a může dosahovat vysokých účinností a komfortu obsluhy. Dřevo by se mělo těžit v zimě, kdy obsahuje nejméně vody. I tak by se mělo nechat dva roky vysychat v hranici, aby vlhkost byla pod hranicí 20 %. Výhřevnost různých druhů dřevin se příliš neliší, díky vyššímu obsahu pryskyřice je výhřevnost trochu větší u jehličnatých stromů. Tvrdé listnaté dřevo, jako je například buk, má zase větší měrnou hmotnost, takže v porovnání dvou stejně velkých polen má bukové více hmoty než například smrkové, je v něm proto obsaženo více energie. Vytápění dřevem vyžaduje velké skladovací prostory kvůli jeho malé energetické hustotě. Na druhou stranu je levné a pro někoho může být příprava dřeva k topení relaxací (ovšem pro jiného zase prací navíc). Výhřevnost suchého dřeva se pohybuje mezi 15 až 17 MJ/kg. [19]

2.2.3 Dřevěné pelety

Jedná se o ekologické ušlechtilé palivo vyráběné z dřevní biomasy (existují i rostlinné pelety např. ze slámy), které se vyrábí za tepla slisováním dřevní hmoty, nejčastěji z odpadních smrkových nebo modřínových pilin. Mají podobu malých válečků. Jejich výroba je energeticky náročná a vyžaduje drahé zařízení, což se projevuje vyšší cenou pelet. Výhodou je pak vysoká energetická hustota, čistý a jednoduchý provoz s malou produkcí popela, který lze navíc používat jako zahradní hnojivo. Výhřevnost je stejná jako u vysušeného kusového dřeva, tzn. 15 až 17 MJ/kg. Malé a pravidelné rozměry pelet dovolují použít systém automatického přikládání. Při pořízení dostatečně dimenzovaného zásobníku propojeného s kotlem lze dosáhnout podobného komfortu vytápění, jaký představuje zemní plyn nebo elektřina. [18]

2.2.4 Brikety

Princip výroby dřevěných briket je podobný jako u pelet. Brikety mají větší rozměry a mohou mít různý tvar. Na rozdíl od pelet je možné spalovat brikety v klasickém kotli na dřevo bez nutnosti investovat do automatického peletového kotle. V porovnání s kusovým dřevem zase nabízejí čistší provoz a vyloučení fyzické námahy při přípravě paliva.

2.2.5 Lehké topné oleje

Rafinací surové ropy vznikají kromě produktů jako benzín nebo petrolej i topné oleje. Dělí se na těžké (vhodné pro pohon lodí a energetiku), lehké a extra lehké. Poslední dva jmenované se používají k vytápění a ohřevu teplé vody. Používá se podobných kondenzačních kotlů s vysokou účinností jako pro vytápění zemním plynem. Liší se hlavně hořáky. Pro uskladnění zásoby topného oleje se používají plastové dvouplášťové nádrže zabezpečené proti úniku zápachu. Nízké emise, vysoká výhřevnost (42,5 GJ/t) a možnost dlouhodobého skladování činí z topných olejů perspektivní palivo. Nevýhodou topení oleji je vysoká cena paliva a jeho přímá závislost na ceně ropy. [20]

2.2.6 Zkapalněné ropné plyny (LPG)

Aby bylo možné používat plynový kotel v místech, která nejsou napojena na rozvodnou síť zemního plynu, je třeba u objektu vybudovat zásobník. Ten může stát na zemi nebo ho lze schovat pod povrch. V případě stavby zásobníku se jako palivo používá LPG, obsahující převážně propan nebo propan-butan, který na místo doveze cisterna. Plyn se spaluje v klasickém plynovém nebo kondenzačním kotli, zároveň ho lze použít i na vaření.

2.2.7 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je zařízení, které využívá nízkopotenciálové teplo odebírané z okolí. To je pomocí kompresoru v parním oběhu převáděno na vyšší teplotní hladinu a využíváno k vytápění domu nebo ohřevu vody. Teplo se může brát ze zemního kolektoru, z podzemní vody nebo z okolního vzduchu. Aby bylo použití tepelného čerpadla ekonomické, mělo by být instalováno v dobře zatepleném objektu. [3][5]

Pro posuzování efektivity tepelných čerpadel slouží tzv. topný faktor (COP – Coefficient of performance), který vyjadřuje následující vztah převzatý z [59]:

$$COP = \frac{\Phi}{P_c} \quad (3)$$

kde

Φ topný výkon zařízení [kW]

P_c celkový elektrický příkon kompresoru [kW]

Jedná se o poměr topného výkonu zařízení k celkové přivedené elektrické energii potřebné pro provoz čerpadla. Směrodatná je jeho celoroční průměrná hodnota. [3][5] Nevýhodou tepelných čerpadel mohou být vyšší investiční náklady a rozsáhlé zemní práce, které je nutno provést při čerpání tepla ze země.

2.2.8 Vodíkový kotel

Zařízení produkuje teplo slučováním vodíku a kyslíku, při kterém vzniká voda. Slučování probíhá v komorách s katalyzátorem. Teplo se odvádí přes výměník do teplonosného média, případně se jím ohřívá užitková voda. Absence uhlíku v palivu nedovoluje vznik CO_2 , nízké teploty spalování zase nedovolují vznik oxidů dusíku. Jediným vedlejším produktem je vodní pára. Teplonosné médium z kotle vychází o teplotě okolo $45\text{ }^\circ\text{C}$, což je vhodné pro napájení nízkoteplotních systémů vytápění, jako je například podlahové topení. [21]

Možnosti výroby vodíku byly popsány v pasáži o palivovém článku. Komerční nákup vodíku je zatím v České republice obtížný. Vodíkové kotle jsou zatím velice málo používanou technologií.

2.2.9 Solární termické systémy

K vytápění budov či k ohřevu teplé vody je možné použít kromě spalování nejrůznějších paliv i sluneční záření, které se sice v různých místech planety vyskytuje v různé intenzitě, přesto má jeho využívání skoro všude (alespoň v létě) veliký potenciál. Tepelné zisky ze slunečního záření lze získávat vhodně koncipovanou stavbou (velká okna na jih apod.) nebo solárními kolektory – ideální je oba způsoby zkombinovat. Často se solárních kolektorů používá jako doplňkového zdroje. [3]

Jako teplonosné médium může být v solárních kolektorech použita voda, vzduch, nemrznoucí kapalina nebo olej. Médium proudí absorberem, který je ve většině případů tvořen trubkami s tmavým povrchem, který nejlépe pohlcuje záření. Kolektory musí být dimenzovány tak, aby odolaly vysokým teplotám, které mohou v zařízení vznikat například tehdy, kdy je akumulátor již plný tepla a v důsledku toho teplonosné médium přestává kolektorem cirkulovat. [3]

Existuje mnoho nejrůznějších druhů solárních kolektorů. Nejčastěji se využívají ploché kolektory nebo vakuové trubicové kolektory. Ploché kolektory mají absorbér umístěný v rámu kolektoru, jenž je z přední strany přiklopený bezpečnostním sklem. To snižuje tepelné ztráty, ale bohužel zároveň i odráží část slunečních paprsků. Za absorbér se umísťuje izolace, která také snižuje tepelné ztráty.



Obr. 7 Schematické zobrazení plochého kolektoru, převzato z [22]

U vakuových kolektorů se dosáhlo dalšího snížení tepelných ztrát vysátím vzduchu mezi absorbérem a skleněným krytem. Vzduch totiž konvekcí neustále přenáší teplo z absorbéru na sklo, ze kterého se ztrácí do okolí. Aby v důsledku vnitřního vakua sklo namáhané vnějším atmosférickým tlakem nepraskalo, uzavírají se absorbéry do trubek, které mnohem lépe odolávají vnějšmu přetlaku. [3]

V závislosti na podnebí se používají buď gravitační systémy, nebo systémy s nuceným oběhem. Gravitační systémy jsou jednodušší a levnější, jelikož absorbérem proudí voda, toto řešení se proto hodí jen pro dostatečně teplé oblasti, protože při zmrznutí vody by mohlo dojít k poškození zařízení. Kolektor se umísťuje pod úroveň zásobníku teplé vody, aby se mohlo využít skutečnosti, že teplá voda má menší hustotu než studená – díky tomu stoupá

ohřátá voda samovolně do výše položeného zásobníku. Těžká studená voda naopak klesá ze zásobníku do kolektoru. Když slunce přestane svítit, koloběh se zastaví. Výhodou tohoto řešení je nulová spotřeba energie k provozu zařízení.

V oblastech, kde hrozí zamrznutí vody v systému, se používá zapojení s dvěma okruhy propojenými výměníkem. Primárním okruhem, který je napojen na kolektory, protéká nemrzoucí směs, tím se eliminuje riziko zamrznutí a poškození systému. Ohřátá nemrzoucí směs předává teplo přes tepelný výměník sekundárnímu okruhu, kterým proudí voda určená k vytápění. Díky použití oběhového čerpadla se mohou kolektory umisťovat na střechu objektu a akumulátor vody, kde většinou dochází k výměně tepla mezi okruhy, může být například ve sklepě. [3]

2.3 Akumulace vyrobené energie

Aby bylo možno efektivně provozovat objekt, který si dodávku tepla i elektřiny zajišťuje sám, je nezbytné do systému hospodaření s energiemi začlenit akumulaci (skladování energie). Díky ní je možné provozovat zdroje energií v optimálnějších provozních podmínkách bez častého vypínání a zapínání v závislosti na okamžité poptávce po teple a elektřině. Akumulace je také nutná při využívání obnovitelných zdrojů, které většinou vyrábějí, když zrovna není poptávka, a naopak, když je energie potřeba, slunce nesvítlí a vítr nefouká.

Pro možnost snížení celkové akumulační kapacity systému je ideální použít princip demand side response (řízení na straně poptávky). Jedná se takové chování spotřebitele energií, které umožňuje spotřebovávat vyrobenou energii okamžitě bez nutnosti její akumulace. V praxi to může například znamenat odložení startu pračky na poledne, kdy se předpokládají největší zisky solárních panelů.

Důležitými parametry akumulačních systémů podle [5] jsou:

- akumulační kapacita
 - schopnost uchovávat určité množství energie
 - pro akumulaci elektrické energie se udává v ampérhodinách, nebo po vynásobení jmenovitým napětím ve watthodinách

- výkon systému
 - jak velký výkon je akumulátor schopný dodat
- počet cyklů
 - určuje, zda je systém vhodný pro každodenní nabíjení a vybíjení
- rychlosti nabíjení a vybíjení
 - schopnost akumulátoru dosáhnout plného nabití za určený čas

Možností akumulace existuje celá řada, avšak pro použití v objektech velikosti rodinného domu je vhodná pouze malá část dostupných technologií. V úvahu nepřipadají setrvačníky, přečerpávací elektrárny a skladování energie pomocí stlačeného plynu, protože se jedná o příliš složité a nákladné technologie.

Vhodné způsoby akumulace pro rodinný dům:

- elektrochemická akumulace
- chemická akumulace
- tepelná akumulace

2.3.1 Elektrochemická akumulace

Olověné akumulátory jsou stále vhodnou volbou pro skladování elektrické energie. Jedná se o zdroje stejnosměrného napětí, obvykle 12 nebo 24 V, které je možné pomocí měniče transformovat na střídavých 230 V používaných v domácnostech. Akumulátor se skládá z nádoby, dvou olověných deskových elektrod a vodného roztoku kyseliny sírové. Obě elektrody mají tvar mříže. Jedna je vyplněna oxidem olovnatým, druhá obsahuje houbovité olovo. Tyto dvě elektrody tvoří jeden článek, kterých je v akumulátoru sériově spojených vždy více – šest ve dvanáctivoltových akumulátorech. Chemický proces je při vybíjení a nabíjení vratný za předpokladu, že napětí neklesne pod spodní mez. Při nabíjení hustota elektrolytu roste. Díky tomu můžeme změřením hustoty zjistit stupeň nabití akumulátoru, jelikož obě veličiny váže přímá úměrnost. [5][16]

Mezi výhody olověných akumulátorů patří nízké pořizovací náklady, spolehlivost a u moderních variant i minimální údržba. Nevýhodou je vysoká hmotnost (kapacita je přímo úměrná ploše elektrod), malá hustota energie a dlouhá doba nabíjení. Pro časté vybíjení a

nabíjení jsou vhodné takzvané trakční akumulátory. Naopak nevhodné jsou autobaterie konstruované pro dodávání velkých proudů po omezený čas. [5]

Další možností je využití lithiových akumulátorů. U nich je jedna elektroda tvořena uhlíkem, druhá je vyrobena z oxidu kovů. Elektrolytem je lithiová sůl v organickém rozpouštědle. Existuje několik konstrukčních provedení jako například Li-ion, Li-pol či Li-Fe-Po. Jejich společným rysem je nízká hmotnost na instalovanou kWh, bezúdržbový provoz a vysoká životnost. Nevýhodou je energeticky náročné získávání lithia a jeho náchylnost ke vzplanutí. [5] [60]

Poslední běžnou variantou jsou akumulátory na bázi niklu jako Ni-Cd nebo Ni-MH. Problémem tohoto typu akumulátorů je zdravotní závadnost niklu a kadmia a v porovnání s olovenými akumulátory násobně vyšší cena. Výhodu představuje vysoká spolehlivost, mechanická odolnost a pracovní teploty v širokém rozsahu.

2.3.2 Chemická akumulace (Power to Gas, P2G)

Nadvýrobu elektrické energie lze využít na výrobu vodíku, nejčastěji elektrolýzou vody. Tato reakce je ovšem energeticky náročná a vyžaduje vysokou čistotu vody. Podle [5] má zpětná konverze na elektrinu pouze 30% účinnost v závislosti na použité technologii. Další nevýhodou tohoto typu akumulace je složité skladování vyrobeného vodíku, který je ve spojení se vzduchem výbušný a snadno uniká ze skladovacích nádob. Pro používání vodíku hovoří bezemisní provoz palivových článků, které jsou navíc tiché a spolehlivé. Další možností je výroba syntézních plynů a kapalin.

2.3.3 Tepelná akumulace

Přebytečnou elektrickou energii, kterou nelze spotřebovat v rámci okamžité spotřeby domácnosti, lze využít k ohřevu teplé vody například pomocí topných patron. Takto vyrobenou tepelnou energii je možno skladovat v rovnotlakých zásobnících vody. Ty je možno používat přímo jako zdroj teplé vody pro přímou spotřebu nebo vodu využívat k vytápění.

Tepelnou energii lze zase akumulovat do konstrukce objektu. Moderním způsobem je akumulace pomocí latentního tepla potřebného ke změně fáze látky. Používají se k tomu různé parafíny a vosky s nízkou teplotou tání. Látky jsou většinou zapouzdřeny v obalu, aby nedocházelo k únikům. [5]

3 Praktická část

3.1 Popis modelového domu

Aby bylo možné demonstrovat možnosti popsaných technologií, byl pro potřeby této práce vytvořen modelový objekt inspirovaný existujícím rodinným domem, který je napojený na inženýrské sítě. Tento dům poslouží především jako zdroj dat o spotřebě energií běžné domácnosti a jako podklad pro vytvoření energetických bilancí.

Modelovým objektem je rodinný dům postavený v roce 2010 v jihovýchodní části Prahy, který je užíván celoročně čtyřčlennou rodinou. Budova není podsklepena, má přízemí, první patro, které je obývané, a půdu, která slouží jako sklad. Půdorysem objektu je obdélník o obsahu 108 m² se stranami 12 a 9 metrů. Střecha je sedlová se sklonem 40 ° od vodorovné plochy, orientovaná je východo-západním směrem. Její celková plocha činí 187,2 m². Vytápění je řešeno plynovým kotlem Panther Protherm o výkonu 24 kW, který ohřívá vodu v akumulární nádrži na 700 litrů. Nádrž je součástí teplovodní otopné soustavy s deskovými otopnými tělesy. Jídlo se připravuje na elektrickém sporáku, veškerá elektrická energie se odebírá ze sítě přes třífázový jistič 32 A. Ohřev teplé vody je realizován fototermickými kolektory umístěnými na střeše garáže, v případě nedostatku slunečního záření se ohřívá v kotli zemním plynem.

3.2 Analýza spotřeby energií

Jako podklady pro rozbor spotřeby energií jsou k dispozici pouze údaje o celkové spotřebě elektrické energie za roky 2017, 2018 a 2019. Dále jsou dostupné údaje o spotřebě zemního plynu za rok 2019 vztažené ke spalnému teplu. Plyn se využívá k vytápění objektu a zároveň slouží k ohřevu teplé užitkové vody (TUV) v době, kdy solární kolektory nestačí uspokojovat poptávku po teplé vodě.

rok	spotřeba elektrické energie [kWh]	spotřeba zemního plynu [kWh]
2017	3 634	není k dispozici
2018	3 418	není k dispozici
2019	3 674	15 660

Tab. 1 Spotřeba energií modelového domu

3.2.1 Výpočet tepla k ohřevu teplé užitkové vody

Teplu je v objektu využíváno k vytápění místností a k ohřevu TUV. Teplá užitková voda se používá například na mytí nádobí, praní či sprchování. Její spotřeba během roku je přibližně konstantní. Množství spotřebované teplé vody je silně individuální v závislosti na zvycích konkrétní osoby. Podle [61] se spotřeba pohybuje mezi 36 až 67 litry na osobu a den. Volím hodnotu 50 litrů na osobu a den. Celkové teplo potřebné pro ohřev teplé vody spočítáme podle vztahu převzatého z [24]:

$$Q_{TUV_celk} = (1 + z) \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \quad (4)$$

kde

z koeficient tepelných ztrát systému pro přípravu TUV, podle [24] je jeho hodnota pro nové stavby maximálně 0,5, proto volím $z = 0,4$

V objem spotřebované vody [m^3]

ρ hustota vody [kg/m^3]

c měrná tepelná kapacita vody [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]

t_1 počáteční teplota studené vody [$^{\circ}C$]

t_2 výstupní teplota teplé vody [$^{\circ}C$]

V domě bydlí 4 osoby, tzn. 200 litrů na den. Voda se ohřívá z 13 stupňů na hodnotu 60 stupňů Celsia. [61] Po dosazení do rovnice (4) vyjde hodnota 54,84 MJ/den.

Po přepočtu na kWh:

- $Q_{TUV_den} = 15,23 \text{ kWh}$
- $Q_{TUV_rok} = 5\,560,55 \text{ kWh} = 5,56 \text{ MWh}$

Abychom mohli určit potřebný výkon budoucího zdroje tepla, je potřeba spočítat výkon nezbytný k ohřevu TUV. Jelikož je systém dodávky teplé vody vybavený akumulací nádobou, je možné vodu ohřívát během delšího časového úseku, a proto nepotřebujeme tak veliký výkon. Jako dostatečná doba k ohřátí 200 litrů vody byla zvolena hodnota 6 hodin. V tom případě je potřebný výkon pro ohřev vody $Q_{TUV} = 2,5 \text{ kW}$.

V současné době jsou na střeše instalovány solární kolektory používající jako pracovní médium vodu. Aby v nich voda přes zimu nezamrzla a nepoškodila zařízení, používají se

vždy od půlky dubna do půlky září (5 měsíců). Ve zbytku roku je jejich výkon minimální, proto se nevyplatí riskovat noční teploty pod nulou a zničení zařízení.

Jelikož jsou kolektory připojené k akumulární nádrži, dokážou během období, kdy jsou využívány, pokrýt celou potřebu tepla pro ohřev TUV. Plynovým kotlem se tedy ohřívá 7/12 roční spotřeby teplé vody, tomu odpovídá přibližně 3 300 kWh přivedeného tepla. Při účinnosti plynového kotle 90,7 % převzaté z návodu k obsluze [62] vychází spotřeba plynu na ohřev TUV zaokrouhleně $Q_{TUV,plyn,rok} = 3\,650\text{ kWh}$.

3.2.2 Teplo na vytápění

Každá budova přichází skrze konstrukci o určité množství tepla určeného k vytopení svého vnitřního prostoru. Jedná se o tzv. tepelnou ztrátu objektu. Její velikost se mění s venkovní teplotou – čím je venku větší zima, tím je větší tepelná ztráta. Aby bylo možné určit tepelný výkon potřebný ke kompenzování této tepelné ztráty v jednotlivých dnech roku s rozdílnou venkovní teplotou, je nutné sestavit roční diagram trvání výkonu. Ten zobrazuje vztah mezi výkonem a počtem dnů v roce, při kterých je tento výkon potřeba zajistit. Plocha pod křivkou zobrazuje potřebné množství tepla.

K sestavení diagramu je nutné nejprve stanovit počet tzv. denostupňů. Ten lze vyjádřit jako rozdíl průměrné vnitřní a venkovní teploty znásobený celkovým počtem dnů příslušného otopného období. [24]

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad (5)$$

kde

D počet denostupňů

d počet dnů, během kterých se topí

t_{is} průměrná teplota interiéru [°C]

t_{es} průměrná venkovní teplota během otopného období [°C]

Otopné období je podle vyhlášky č. 194/2007 zahájeno, pokud venkovní teplota klesne pod mezní teplotu $t_{em} = 13 \text{ °C}$ ve 2 po sobě jdoucích dnech bez výhledu na zlepšení v následujícím dni. Na základě meteorologických dat pro Prahu dostupných na portálu tzb-info.cz [25] v topné sezóně 2018/2019 bylo určeno:

- průměrná venkovní teplota během otopného období $t_{es} = 7,7 \text{ °C}$
- počet otopných dnů $d = 229$.
- průměrná vnitřní teplota byla zvolena $t_{is} = 20 \text{ °C}$
- venkovní výpočtová teplota $t_{ev} = -12 \text{ °C}$

Po dosazení do rovnice (5) vychází počet denostupňů $D = 2\,816,7$

Poté je třeba sestrojít tzv. diagram trvání venkovních teplot otopného období. K tomu je nutné znát hodnoty τ a θ . Hodnota τ vyjadřuje poměr mezi počtem dnů a počtem otopných dnů topné sezóny, proto musí nabývat hodnot 0 až 1. [26]

$$\tau = \frac{n}{d} \quad (6)$$

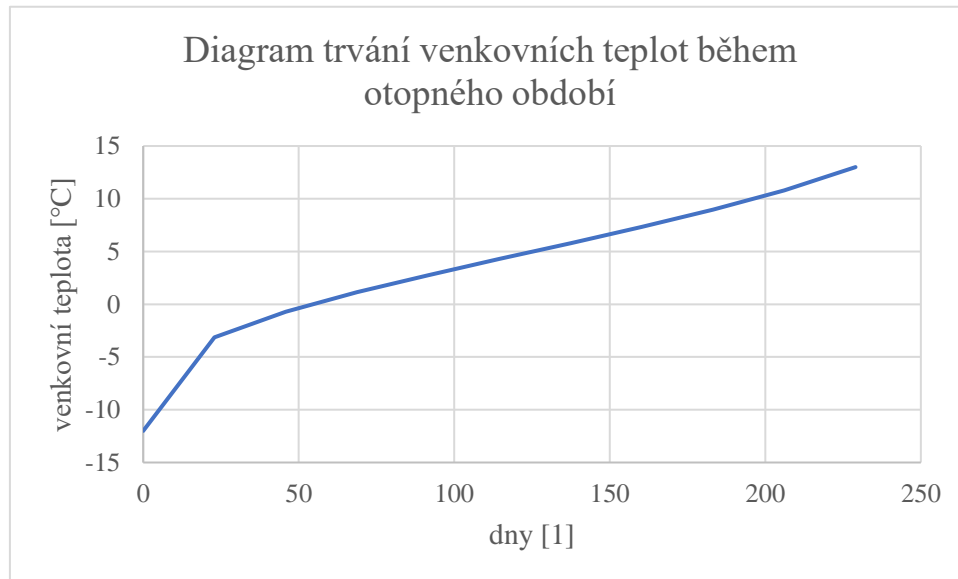
Hodnota θ je definována jako poměr rozdílu mezní teploty a střední denní venkovní teploty k rozdílu mezní teploty a výpočtové venkovní teploty. [26]

$$\theta = \frac{t_{em} - t_e}{t_{em} - t_{ev}} \quad (7)$$

Pro sestrojení diagramu trvání venkovních teplot byla zvolena hodnota τ s krokem 0,1. Hodnota θ byla odhadnuta dle vztahu podle [27]:

$$\theta = (1 - \tau)^{0,985 \cdot \tau^{-0,626}} \quad (8)$$

Z výše uvedených vztahů byly dopočítány hodnoty n a t_e . Z nich by vytvořen diagram trvání venkovních teplot znázorněný na grafu č. 1. Pro přehlednost uvádím níže všechny hodnoty v tabulce 2.



Graf 1 Diagram trvání teplot exteriéru v otopném období

τ [1]	θ [1]	n [1]	t_e [°C]
0	1	0	-12
0,1	0,6	22,9	-3,1
0,2	0,5	45,8	-0,7
0,3	0,5	68,7	1,1
0,4	0,4	91,6	2,8
0,5	0,3	114,5	4,3
0,6	0,3	137,4	5,8
0,7	0,2	160,3	7,3
0,8	0,2	183,2	9,0
0,9	0,1	206,1	10,8
1,0	0,0	229,0	13,0

Tab. 2 Přehled hodnot diagramu trvání venkovních teplot

Následně se vypočítá potřebný topný výkon Q_{t-z} (tepelná ztráta) podle vztahu z [24]:

$$Q_{t-z} = \frac{\eta_0 \cdot \eta_r}{\varepsilon} \cdot \frac{(t_{is} - t_e) \cdot Q_{vyt_rok}}{24 \cdot D} \quad (9)$$

kde

ε opravný součinitel, pro rodinný dům s prostorovým termostatem $\varepsilon = 0,71$

η_r účinnost rozvodu vytápění, podle [24] se volí v rozmezí 0,95 až 0,98,
volím $\eta_r = 0,95$

η_o účinnost obsluhy, zahrnuta již v opravném součiniteli ε , proto $\eta_o = 1$

t_{is} průměrná teplota interiéru [°C]

t_e venkovní výpočtová teplota [°C]

Q_{vyt_rok} ... potřebné teplo pro vytápění za jeden rok [kWh]

D počet denostupňů

Q_{vyt_rok} lze vypočítat odečtením tepla potřebného na ohřev TUV plynem od celkové spotřeby tepla v plynu známou z vyúčtování, která je uvedena v Tab. 1. Rozdíl je třeba ještě vynásobit účinností kotle, abychom získali pouze skutečnou potřebu tepla na vytápění, která je právě o účinnost kotle menší, než je naúčtovaný příkon v plynu.

$$Q_{vyt_rok} = (Q_{odebrané, plyn} - Q_{TUV, plyn_rok}) \cdot \text{účinnost kotle} \cong 10\,900 \text{ kWh} \quad (10)$$

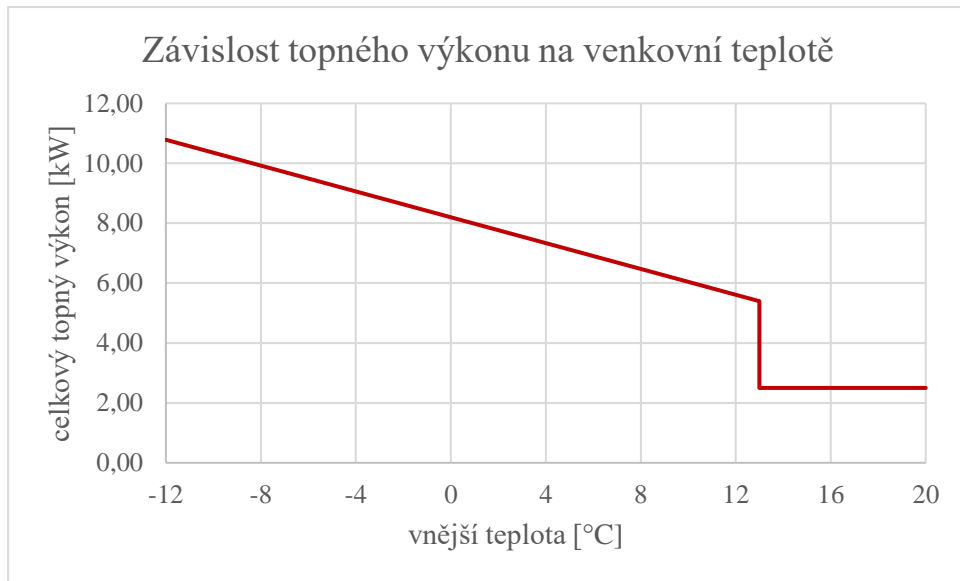
Po dosazení Q_{vyt_rok} do vztahu (9) vychází maximální topný výkon na vytápění při výpočtové teplotě 6,9 kW.

K výsledku se následně přidá výkonová rezerva pro případ, že bude venku nižší teplota, než je teplota výpočtová t_{ev} . Volím hodnotu rezervy 20 %. Výsledný topný výkon na vytápění objektu je 8,3 kW.

Celkový topný výkon Q_{celk} spočítáme jako součet topného výkonu na vytápění a na ohřev TUV:

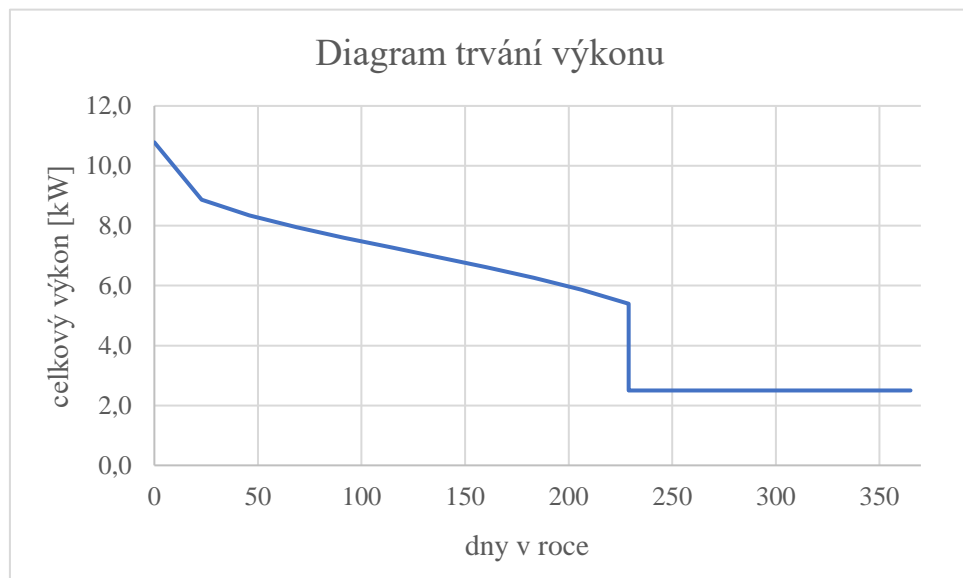
$$Q_{celk} = Q_{t_z} + Q_{TUV} = 10,8 \text{ kW} \quad (11)$$

Z těchto informací lze sestavit diagram závislosti potřebného topného výkonu na venkovní teplotě.



Graf 2 Závislost celkového topného výkonu na teplotě exteriéru

Z grafů 1 a 2 již lze vytvořit roční diagram trvání výkonu. Pro zvolený počet dnů n se z diagramu trvání venkovních teplot odečte vnější teplota t_e . Dosazením této teploty do rovnice (9) vypočítáme celkový topný výkon.



Graf 3 Diagram trvání celkového výkonu

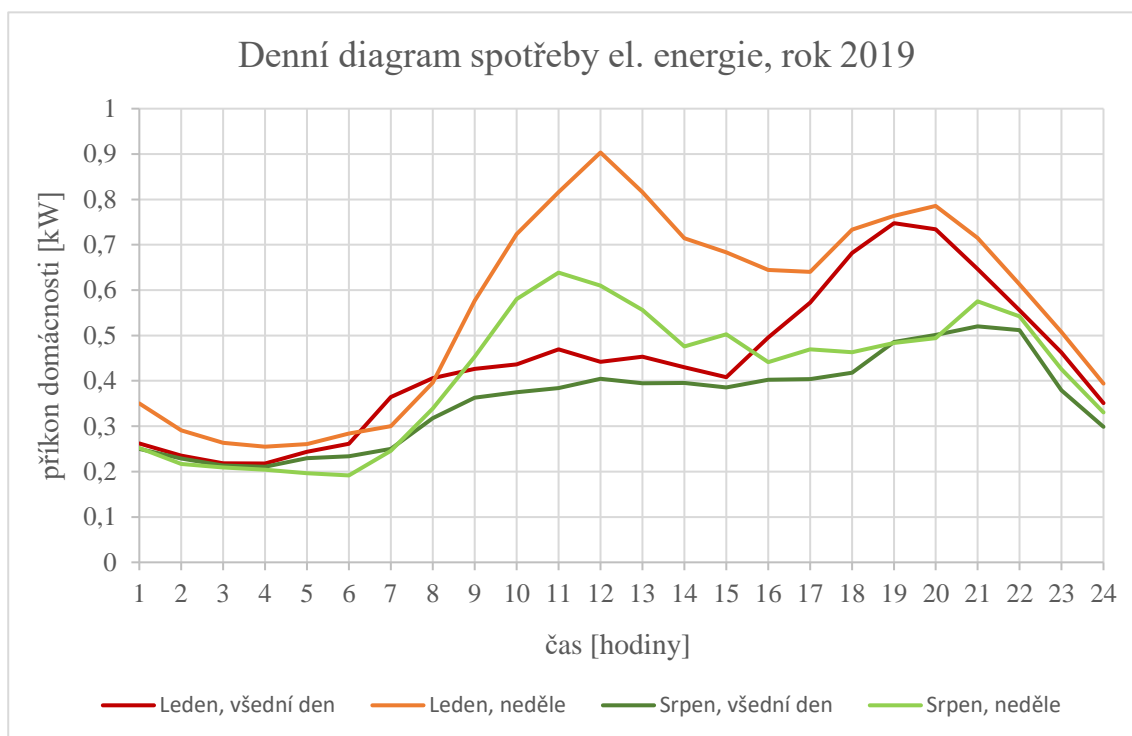
Potřebné topné výkony	
topný výkon na ohřev TUV Q_{TUV}	2,5 kW
potřebný topný výkon na vytápění $Q_{t,z}$	6,9 kW
$Q_{t,z}$ s rezervou 20 %	8,3 kW
celkový topný výkon Q_{celk}	10,8 kW

Tab. 3 Přehled vypočítaných topných výkonů

3.2.3 Bilance spotřeby elektrické energie

Z účtů za elektrickou energii známe pouze průměrnou celkovou roční spotřebu 3 575 kWh. Aby bylo možné v další části práce navrhnout zdroj elektrické energie, je nutné znát průběh její spotřeby v čase. Ten lze stanovit pomocí typového diagramu dodávky (TDD) pro běžnou domácnost bez tepelného využití elektřiny (TDD třídy 4), který rozděluje spotřebovanou energii na jednotlivé hodiny roku a nahrazuje tak průběžné měření. Přepočítané TDD potom zohledňují svátky a víkendy během celého roku. [23]

Obecně průběh spotřeby elektrické energie závisí na tom, zda se jedná o běžný pracovní den, či víkend nebo svátek, kdy je odběr během dne zpravidla větší, protože se více vaří a používá se více spotřebičů po delší dobu. Velký vliv na spotřebu domácnosti má i roční období. Ačkoli se elektřina nepoužívá k vytápění, bude odběr většinou větší v zimě, protože se více svítí, častěji se vaří teplé nápoje, lidé tráví více času uvnitř objektu. Naopak během letního víkendu může okamžitou vyšší spotřebu elektřiny způsobit používání elektrického nářadí na zahradě, ventilátory apod. Rozdíl mezi jednotlivými případy je patrný na následujícím grafu. Ten je sestrojený na základě přepočítaného TDD staženého z webových stránek Operátora trhu s elektřinou [63] aplikovaného na spotřebu elektřiny z roku 2019 z Tab. 1.



Graf 4 Průběh spotřeby elektrické energie

Plocha pod křivkou potom odpovídá celkové spotřebě pro daný den.

- leden, všední den: 10,5 kWh
- leden, neděle: 13,4 kWh
- srpen, všední den: 8,6 kWh
- srpen, neděle: 9,9 kWh

Je nutné mít na paměti, že TDD neodpovídá skutečné spotřebě modelového domu, ale průměruje naměřená data spotřeby velké skupiny podobných odběratelů. Reálnou spotřebu by bylo možné získat pouze kontinuálním měřením, pro dimenzování zdroje ovšem metoda TDD postačuje.

Na výkyvy odběru elektřiny v denním diagramu nemusí zdroj v reálném čase přesně reagovat, jelikož odchylky částečně pokrývá dostatečně dimenzované úložiště energie. Maximální výkon úložiště by měl s rezervou pokrýt předpokládaný maximální odběr spotřebičů v domácnosti zapnutých v jeden okamžik. V tabulce 4 je soupis běžných domácích spotřebičů s jejich příkony, kterými by mohla být vybavena modelová domácnost.

Spotřebič	Příkon [W]
Elektrická trouba	3 000
Varná konvice	1 500
Toustovač	800
Pračka	780
Chladnička	90
Žehlička	1 800
Stolní počítač	150
Zahradní sekačka	1 200
Nabíječka na mobil	4
CELKEM	9 324

Tab. 4 Přístroje v domácnosti a jejich příkon [28]

3.3 Návrh pokrytí energetických potřeb modelového objektu

V této části práce budou navrženy dvě odlišné kombinace technologií z úvodní rešerše, které zajistí provoz modelového domu v ostrovním režimu. Z výše uvedené bilance energetických potřeb můžeme stanovit předpokládané nároky domácnosti, které můžeme použít jako orientační hodnoty při návrhu nových technologií. Přirozeně je nutné počítat s výkonovou rezervou pro situace, kdy se krátkodobě zvýší poptávka po energii.

Celoročně je třeba dodávat každý den přibližně 15,2 kWh tepelné energie na ohřev teplé vody (hodnota zahrnuje i ztráty systému). Díky akumulární nádrži je postačující výkon zdroje necelé 3 kW. V otopném období je třeba navíc zajistit během několika nejmrazivějších dní tepelný výkon přibližně 11 kW na vytopení objektu. Celkem domácnost spotřebuje během otopného období téměř 11 MWh tepla. Potřebný elektrický příkon se běžně pohybuje od 0,2 kW v noci až po necelý 1 kW. Při současném zapojení velkého počtu energeticky náročných zařízení může být odběr domácnosti až 10 kW, proto je třeba buď zvolit patřičně výkonný zdroj či akumulátor, nebo dbát na to, aby spotřebiče nebyly využívány současně. V lednu, kdy je spotřeba elektřiny nejvyšší, je nutné podle TDD pro domácnost vyrobit 358,4 kWh elektřiny. Během lednové neděle, kdy dosahuje spotřeba svého celkového maxima, až 13,5 kWh za den. Podle Tab. 1 je třeba ročně dodat zhruba 3,6 MWh elektrické energie.

Pro provoz ostrovního objektu je důležité efektivně využívat veškerou vyrobenou energii, což může být především u obnovitelných zdrojů problém, jelikož se zpravidla neshoduje křivka výroby s křivkou spotřeby. Proto je nutné správně dimenzovat akumulátory energie.

Tepelná energie se bude uchovávat v rovnotlakém stratifikovaném akumulátoru teplé vody, který je již v objektu nainstalován. Instalovaná kapacita 700 litrů je zcela dostačující jak na akumulaci TUV, tak i na krátkodobé akumulování teplé vody určené k vytápění objektu.

Úložiště elektrické energie v objektu zatím není, proto je potřeba stanovit jeho kapacitu. Nejprve je potřeba určit dobu, po kterou bude domácnost schopna neomezeného provozu bez fungujících zdrojů elektrické energie v zimním období, kdy je spotřeba nejvyšší. Volím hodnotu 3 dny. Do 3 dnů se s největší pravděpodobností podaří odstranit závadu na zdroji nebo se změní počasí, které by při použití obnovitelných zdrojů energie jako fotovoltaická elektrárna nebo větrná turbína ovlivňovalo množství vyrobené elektřiny. Navíc je pravděpodobné, že by domácnost při poruše zdroje přešla do úspornějšího režimu, a proto by zásoba elektrické energie vydržela déle než 3 dny. Aby se dosáhlo vysoké životnosti zařízení, není vhodné akumulátor vybíjet k nízkým hodnotám, proto je třeba počítat pouze s tzv. využitelnou kapacitou úložiště. Celková kapacita bateriového úložiště se stanoví ze vztahu podle [33]:

$$Q_{bat} = \frac{E_{el_den} \cdot n}{\eta_s \cdot \eta_{rozvody} \cdot T} = 51,18 \text{ kWh} \quad (12)$$

kde

Q_{bat} potřebná kapacita akumulátoru [kWh]

n počet dnů bez dobíjení

E_{el_den} maximální denní spotřeba el. energie [kWh]

η_s účinnost střídače, volím $\eta_s = 0,95$

$\eta_{rozvody}$ účinnost rozvodů, volím $\eta_{rozvody} = 0,98$

T využitelná kapacita akumulátoru, volím $T = 0,85$

3.3.1 Varianta 1

První varianta je koncipována tak, aby byly při uspokojování energetických potřeb domácnosti využity pouze obnovitelné zdroje. V okolí objektu se nenachází využitelný

vodní tok ani les, který by mohl poskytovat zásobu lokálního palivového dříví. Navíc obyvatelé objektu chtějí mít s obsluhou zdrojů co nejméně práce, proto se chtějí vyhnout častému přikládání a přípravě dřeva. Na Obr. 8 jsou data z větrné mapy z webu Akademie věd České republiky pro oblast Prahy [36]. Z obrázku je patrné, že průměrná rychlost větru nedosahuje ani 3 m/s, což je pro většinu domácích větrných elektráren minimální pracovní rychlost. Na výrobu elektrické energie tak z dostupných obnovitelných zdrojů energie zbývá pouze využití fotovoltaické elektrárny (FVE). Výroba tepla pro vytápění bude zajištěna kotlem na pelety. Ohřev TUV zajistí již nainstalované solární kolektory nebo kotel na pelety v závislosti na tom, zda jsou kolektory v provozu a zda dokážou zajistit dostatek teplé vody.

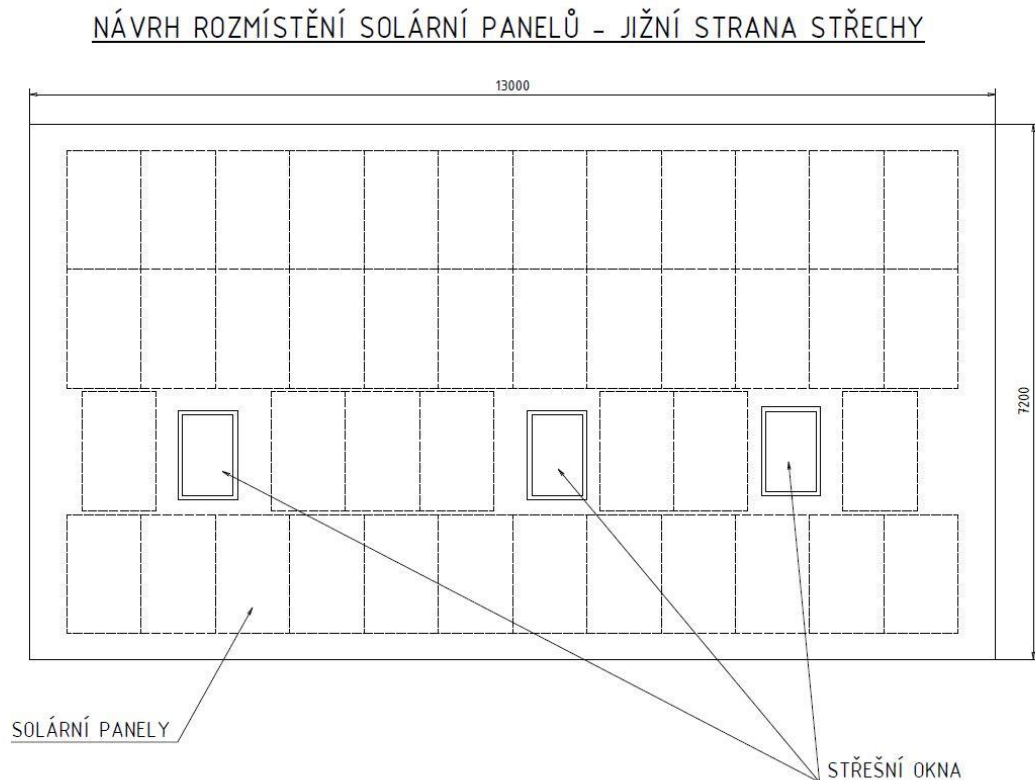
směr větru [°]	relativní četnost				prům. rychlost [m/s]
	vše	0-4 m/s	4-8 m/s	> 8 m/s	
0	6.3%	4.97%	1.33%	0.00%	2.90
30	3.6%	3.48%	0.12%	0.00%	1.51
60	6.6%	5.97%	0.61%	0.01%	1.99
90	9.4%	8.87%	0.53%	0.00%	2.40
120	9.1%	8.25%	0.85%	0.00%	2.37
150	8.8%	8.24%	0.56%	0.00%	1.91
180	10.0%	9.40%	0.60%	0.01%	1.77
210	11.8%	10.67%	1.13%	0.00%	2.40
240	13.6%	8.38%	5.12%	0.10%	3.61
270	7.6%	5.03%	2.38%	0.19%	3.40
300	6.1%	4.74%	1.29%	0.06%	2.78
330	7.1%	6.45%	0.65%	0.00%	2.38
celkem	100%	84.45%	15.18%	0.37%	2.52

Obr. 8 Rychlosti větru ve výšce 10 m nad zemí pro oblast Prahy [36]

Zdroj elektrické energie – fotovoltaické panely

V našem případě je při použití FVE limitující velikost střechy, jelikož k objektu náleží relativně malý pozemek, který je z velké části zastíněn okolní zástavbou a stromy, proto nemá smysl uvažovat o panelech na samostatně stojící konstrukci.

Střecha je orientována směrem západ-východ. Plocha střechy s vhodnou jižní orientací má velikost 93,6 m². Na Obr. 9 je orientační plánec střechy s rozmístěním solárních panelů se standardními rozměry 1 x 1,6 m. Podle tohoto obrázku se na střechu vejde 43 panelů zabírajících plochu 68,8 m². Sklon střechy je 40 ° od vodorovné plochy, což je více než doporučených 35°, proto nebude množství vyrobené elektřiny maximální možné. Na druhou stranu větší sklon zajistí vyšší zisky v zimním období, kdy je Slunce nízko nad obzorem.

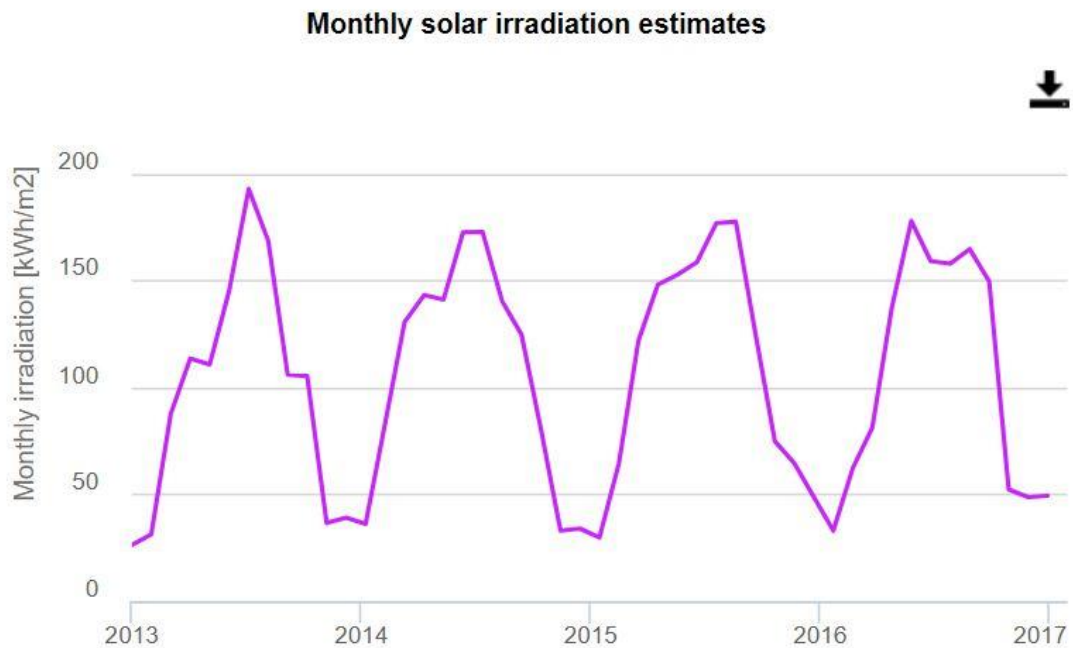


Obr. 9 Orientační rozmístění panelů na jižní straně střechy modelového domu

Byl zvolen solární panel JA Solar 325Wp full black [29] s účinností 19,3 % o standardních rozměrech 1 x 1,6 m s výkonem 325 Wp (watt peak).

Aby bylo možné spočítat množství vyrobené energie a výkon, je nutné znát data o intenzitě dopadajícího záření v čase pro naši lokalitu. Ta byla stažena z webu [30] pro sklon panelu 40° od vodorovné plochy. Jedná se o data z let 2013 až 2016. Graf 5 ukazuje průběh dopadajícího slunečního záření po jednotlivých měsících na plochu jednoho metru čtverečního. Tabulka 5 potom ukazuje průměrnou měsíční hodnotu dopadajícího záření a

průměrnou výrobu elektrárny při instalaci 43 panelů, což je maximální počet panelů, který se na střechu vejde.



Graf 5 Průběh celkového dopadajícího slunečního záření

Výrobu FVE v jednotlivých měsících spočítáme podle vzorce:

$$E_{FVE_měsíční} = n \cdot A \cdot I_{měsíční} \cdot \eta \quad (13)$$

kde

E_{FVE} množství vyrobené elektrické energie za měsíc [kWh]

n počet solárních panelů

η účinnost solárního panelu

A plocha jednoho panelu [m^2]

$I_{měsíční}$ úhrn dopadnuvšího záření za jeden měsíc [kWh/m^2]

měsíc	dopadající záření [kWh/m ²]	výroba FVE, 43 panelů [kWh]
leden	31	416
únor	60	801
březen	105	1 397
duben	135	1 797
květen	145	1 931
červen	159	2 107
červenec	175	2 322
srpen	163	2 159
září	126	1 676
říjen	78	1 037
listopad	46	606
prosinec	43	568
CELKEM	1 267	16 817

Tab. 5 Průměrné dopadající záření a výroba FVE

Ročně by tato FVE se 43 panely vyrobila přibližně 16,8 MWh elektrické energie, což několikanásobně převyšuje požadavek na 3,6 MWh. Navrhnutá FVE zároveň splňuje požadavek, že elektrárna musí být schopná dodat v nejnepříznivějším měsíci lednu největší požadované množství elektrické energie – 358 kWh (dodá 416 kWh).

Z výše uvedeného je zřejmé, že navržená elektrárna je předimenzovaná, a tudíž i zbytečně drahá. Nejmenší počet solárních panelů splňující oba požadavky je 37. Protože panelům v čase klesá účinnost, která se navíc mění s okolní teplotou, a zároveň čistota jejich povrchu v reálném světě neodpovídá laboratorním podmínkám, při kterých jsou měřeny vlastnosti panelů, je vhodné zajistit výkonovou rezervu. Jako konečný počet panelů volím proto hodnotu 40. Taková elektrárna s výkonem 13 kWp vyrobí ročně 15,6 MWh, v lednu potom 387 kWh.

Systém solární elektrárny musí být vybaven střídačem, který přemění stejnosměrný proud solárních panelů na střídavý, který využívá domácnost. Byl zvolen typ GoodWe 17KN-DT 17kW s integrovaným MPPT (Maximum Power Point Tracking) regulátorem, zajišťujícím provoz solárních panelů v oblasti jejich maximálního výkonu [48].

Akumulace elektrické energie

Ačkoliv je FVE teoreticky navržena tak, aby i v měsíci s největší spotřebou elektrické energie, ve kterém je zároveň nejmenší celkové množství vyrobené energie, dokázala s rezervou uspokojovat veškeré požadavky domácnosti, je nutné instalovat bateriové úložiště (BÚ). To primárně umožňuje využívat přebytky elektrické energie z doby kolem poledne, kdy bývá malá spotřeba zpravidla opuštěné domácnosti a zároveň je díky Slunci v optimální poloze největší výroba elektřiny. Druhou funkcí BÚ je krátkodobé vykrytí nedostatku elektřiny při poruše FVE nebo při dlouhodobě zatažené obloze. Případně je možné z BÚ nouzově napájet nezbytné technologie v domácnosti (zabezpečovací systémy, nouzové osvětlení, čerpadlo vody atd.) po delší dobu.

Ve variantě 1 je třeba instalovat BÚ v plné výši navržené kapacity 51,2 kWh, protože tato varianta nepočítá se zdrojem, který by umožnil rychlé dobití akumulátoru v kterýkoli čas.

Byl zvolen akumulátor LiFePO₄ Sunstone Power SLPO48-200 [34] s kapacitou 10 kWh na jeden modul. Celkem bude instalováno 6 modulů, které poskytnou dostatečnou kapacitní a výkonovou rezervu. Větší kapacita zároveň umožní nevybíjet akumulátor na příliš nízké hodnoty, což zvýší celkovou životnost zařízení.

Zdroj tepelné energie – automatický kotel na pelety, solární kolektory

Pro vytápění objektu a ohřev vody v otopném období, kdy nebudou v provozu již nainstalované kolektory, byl zvolen kotel na dřevěné pelety. Jedná se o automatický kotel na pelety Benekov K14 [31] s jmenovitým výkonem 15 kW a s účinností 90 %. Jde o téměř bezobslužné moderní zařízení s regulací výkonu v rozmezí 30 až 100 %. Výkon plně postačuje pro pokrytí tepelných ztrát i pro ohřev teplé vody. Přebytky tepla se budou akumulovat do stávajícího teplovodního akumulátoru.

Z požadavku na potřebné teplo lze stanovit roční spotřebu pelet. Celkové požadované teplo je součtem tepla na vytápění $Q_{vyt,rok}$ a tepla na ohřev TUV v době, kdy jsou solární kolektory mimo provoz. Výsledná hodnota celkového požadovaného tepla odpovídá spotřebě plynu známé z vyúčtování ponížene o účinnost původního plynového kotle, tzn. $Q_{pelety} = 14\ 200\ kWh$.

Je tedy nutné zajistit odpovídající množství energie vázané v peletách včetně rezervy 15 % (zvoleno) pro případ chladnější zimy, než pro jakou jsou dostupná data. Při výhřevnosti pelet 16,5 MJ/kg [32] a účinnosti kotle 90 % to znamená potřebu zajistit 3 959 kg paliva, tzn. koupí se 4 tuny. Takové množství je nejjednodušší dovézt cisternou a hadicí pneumaticky dopravit do zásobníku pelet. Abychom mohli určit jeho rozměry, je třeba znát sypnou hmotnost pelet. Ta je podle [37] 650 kg/m³.

$$V = \frac{\text{hmotnost pelet}}{\text{měrná hmotnost pelet}} = 6,15 \text{ m}^3 \quad (14)$$

Vypočítanou roční zásobu můžeme uskladnit v kompatibilním textilním zásobníku ATZ 6 o objemu 5,3 až 6,5 m³ od firmy Atmos [44], který pojme až 4,2 tuny pelet. Zásobník má přírubu umožňující nabírání ze dna vaku pomocí šnekového dopravníku, zároveň je možné ho nouzově doplňovat ručně.

3.3.2 Energetická bilance Varianty 1

V této variantě byl ohřev TUV realizován buď solárními kolektory (od půlky dubna do půlky září), nebo kotlem na pelety. Teplo na vytápění zajišťoval kotel na pelety. Veškerá elektrická energie pocházela z fotovoltaické elektrárny. Vyrobena elektřina se buď rovnou spotřebovávala, nebo se ukládala v bateriovém úložišti v závislosti na tom, jaký byl aktuální příkon domácnosti a jaký byl výkon solárních panelů. Předpokládaná výroba všech instalovaných zdrojů je uvedena v Tabulce 6.

	zdroj energie	celková roční výroba [kWh]	spotřeba domácnosti [kWh]	podíl na pokrytí potřeb
vytápění	kotel na pelety	10 900	10 900	100 %
ohřev TUV	solární kolektory	2 300	2 300	41 %
	kotel na pelety	3 300	3 300	59 %
elektrická energie	FVE	15 600	3 600	100 %

Tab. 6 Výroba jednotlivých zdrojů Varianty 1

3.3.3 Varianta 2

Druhá varianta neklade důraz na využívání obnovitelných zdrojů, ale na bezpečnost dodávek energie v každém počasí a v každém ročním období, proto bude výrobu elektrické energie zajišťovat kombinace plynového motoru a fotovoltaické elektrárny. FVE bude dimenzována na pokrytí energetických potřeb domácnosti v období od dubna do září, kdy jsou podle Tabulky 4 hodnoty dopadajícího slunečního záření znatelně vyšší oproti ostatním měsícům. Po zbytek roku bude FVE doplňovat plynový motor pohánějící elektrický generátor. Systém bude propojený s bateriovým úložištěm. Protože bude kvůli plynovému motoru nainstalovaný zásobník LPG (zkapalněný ropný plyn, ang. Liquefied Petroleum Gas), bude k vytápění a ohřevu TUV využíván i stávající plynový kotel. Pokud nebudou z bezpečnostních důvodů odstaveny kolektory, zajistí část ohřevu TUV i ony.

Zdroj elektrické energie – fotovoltaické panely a plynový motor

Typ solárních panelů a veškeré místní podmínky pro instalaci FVE jsou stejné jako ve Variantě 1. Panely budou ovšem nyní v roli samostatného zdroje elektřiny pouze v období od dubna do září. Podle [30] je kritickým měsícem duben, kdy na povrch Země dopadá nejméně slunečního záření ve zvoleném období, proto je třeba FVE dimenzovat na tento měsíc. Předpokládaná spotřeba domácnosti v dubnu podle TDD je 292 kWh. Minimální počet panelů postačující k teoretickému zajištění tohoto množství energie je 7 kusů. Z důvodů popsaných v kapitole Varianta 1 volím 10 panelů (v dubnu vyrobí teoreticky 418 kWh elektrické energie). Po zbytek období duben–září by měla být dodávka elektřiny bezproblémová. Samozřejmě za předpokladu, že bude instalováno BÚ umožňující provoz domácnosti i po západu slunce. BÚ může mít v porovnání s Variantou 1 menší kapacitu, jelikož denní spotřeba elektřiny bude ve zvoleném období menší než v zimě. Po dosazení dat z TDD pro dubnové období do rovnice (12) pro kapacitu BÚ vychází, že je potřeba zajistit kapacitu 38 kWh. Takovou kapacitu s rezervou zajistí 4 moduly LiFePO₄ Sunstone Power SLPO48-200 s kapacitou 10 kWh na jeden modul [34]. Pro výkon FVE 3,25 kWp byl zvolen střídač GoodWe 6K DT G2 6000 W se zabudovaným MPPT regulátorem [49].

Ve zbylé části roku se bude domácnost spoléhat na elektrocentrálu GA 8000 od firmy Pramac [35]. Tu pohání plynový motor Generac G-Force s výkonem 8 kW při spalování LPG a 7 kW při pohonu na zemní plyn. Zemní plyn se uchovává stlačený v tlakových nádobách, LPG se skladuje v nádržích v kapalně formě. Byl zvolen provoz na LPG. Jedná

se o směs propanu a butanu, podíl propanu v LPG roste s klesající teplotou v roce, jelikož se odpařuje, narozdíl od butanu, při teplotách až -45 °C [38]. Po výměně trysek bude možné spalovat LPG i ve stávajícím plynovém kotli. Elektrocentrála má možnost vzdáleného startu nebo automatického spuštění v případě vybití bateriového úložiště na kritickou hodnotu, při které hrozí zničení akumulátoru.

Spotřeba LPG je podle výrobce při 100% výkonu $5,7\text{ m}^3$ za hodinu. S touto hodnotou můžeme dále počítat, jelikož motor bude po většinu času pracovat na maximální výkon, při kterém dosahuje maximální účinnosti. Elektrocentrála bude po spuštění dobíjet akumulátory elektrické energie, případně současně dodávat elektřinu přímo do domácnosti. Po dobití BÚ se motor zastaví a domácnost bude využívat energii z akumulátoru, případně FVE.

Spotřeba elektrické energie podle TDD v období od října do března je uvedena v Tabulce 7. V ní je rovněž uvedeno vypočítané množství vyrobené elektřiny z 10 fotovoltaických panelů na základě dat z Tabulky 5. Rozdíl těchto dvou hodnot je chybějící elektrická energie, která se musí vyrobit pomocí elektrocentrály.

měsíc	spotřeba domácnosti [kWh]	výroba FVE [kWh]	chybějící elektrická energie [kWh]
říjen	314	241	73
listopad	321	141	180
prosinec	360	132	228
leden	358	97	261
únor	307	186	121
březen	321	325	0
CELKEM	1 981	1 122	863

Tab. 7 Bilance výroby a spotřeby elektřiny v období od října do března

Při výkonu 8 kW vyrobí elektrocentrála za hodinu 8 kWh elektrické energie. Vydělením celkové chybějící elektrické energie z Tab. 7 hodinovou produkcí elektrocentrály lze vypočítat množství tzv. motohodin, při kterých je stroj v chodu. Toto množství musíme ještě navýšit o ztráty při nabíjení akumulátoru, protože téměř veškerá výroba elektrocentrály se

bude uchovávat v BÚ. Zprůměrováním reálných ztrát akumulátorů různých výrobců (pro použitý model není údaj k dispozici) stažených z [64] získáváme hodnotu ztráty 15 %. Tímto výpočtem získáme hodnotu 124 motohodin. Se spotřebou elektrocentrály 5,7 m³ LPG za hodinu je pro bezproblémový provoz domácnosti v zimním období nutné zajistit 707 m³ plynu.

Podle [38] zaujímá kapalný LPG 1/260 objemu plynné fáze, tzn. z jednoho litru kapalného LPG se za normálního tlaku a teplotě -5,3 °C (pro letní směs, 60 % butanu a 40 % propanu) [65] odpaří 260 litrů plynného LPG. Vypočítanou zásobu 707 000 litrů plynné fáze lze tedy uchovávat ve formě 2 720 litrů kapalného LPG.

Zdroj tepelné energie – plynový kotel, solární kolektory

Ohřev TUV budou opět zajišťovat solární kolektory, které jsou v objektu již nainstalované. V době, kdy už budou kolektory mimo provoz, zajistí ohřev TUV a vody na vytápění stávající plynový kotel. Aby bylo možné odpojit se od přívodu zemního plynu a používat pro provoz domácnosti pouze jedno palivo (LPG), je nutné vyměnit v kotli trysky [39].

Výpočet tepla, které musí kotel zajistit, je stejný jako ve Variantě 1. Jedná se o součet tepla na vytápění a tepla na ohřev TUV, tzn. 14 200 kWh. Při účinnosti původního kotle 90,7 % tak musíme v palivu zajistit přibližně 15 660 kWh. Po přičtení 15% rezervy pro případ tuhé zimy dostáváme výslednou hodnotu spotřeby kotle $Q_{LPG} = 18\,009\text{ kWh}$.

Výhřevnost LPG je podle [38] 46 MJ/kg. Podělením spotřeby výhřevností získáme hmotnost paliva 1 409 kg LPG. Abychom mohli nadimenzovat zásobník LPG pro společnou zásobu plynu na provoz elektrocentrály a plynového kotle, musíme vypočítanou hmotnost paliva převést na litry. Měrný objem kapalné fáze při 15 °C při zastoupení propanu a butanu v poměru 1:1 je dle [40] 1,841 l/kg. Vynásobením hmotnosti potřebného paliva měrným objemem tak získáme hodnotu 2 595 l.

Venkovní zásobník LPG musí tedy pojmout 2 595 litrů LPG pro kotel a 2 720 litrů pro elektrocentrálu. V součtu se jedná o 5 314 litrů kapalného LPG. Zásobníky kapalného LPG se běžně vyrábějí v objemech 2 700, 4 850 a 17 000 litrů [41]. Přestože objem 4 850 l není dostatečný, volím zásobník s touto velikostí, protože větší zásobník z výrobní řady by zabíral

příliš místa na pozemku a byl by zbytečně drahý, raději tedy volím závoz LPG s vyšší frekvencí.

3.3.4 Energetická bilance Varianty 2

Ve Variantě 2 je ohřev TUV zajišťován v období od půlky dubna do půlky září solárními kolektory, po zbytek roku plynovým kotlem spalujícím LPG. Stejný plynový kotel dodává i teplo na vytápění. Elektrickou energii dodává primárně FVE. V případě, že výroba elektřiny ze solárních panelů nestačí k pokrývání potřeb domácnosti nebo k dobíjení bateriového úložiště, je automaticky aktivována elektrocentrála s plynovým motorem. Předpokládaná výroba všech instalovaných zdrojů je uvedena v Tabulce 8.

	zdroj energie	celková roční výroba [kWh]	spotřeba domácnosti [kWh]	podíl na pokrytí potřeb
vytápění	plynový kotel	10 900	10 900	100 %
ohřev TUV	solární kolektory	2 300	2 300	41 %
	plynový kotel	3 300	3 300	59 %
elektrická energie	FVE	3 911	2 737	76 %
	elektrocentrála	992	863	24 %

Tab. 8 Výroba jednotlivých zdrojů Varianty 2

3.4 Ekonomické vyhodnocení navržených variant

Aby bylo možné oba návrhy porovnat se současným stavem využívajícím připojení na inženýrské sítě, je nutné znát přibližné investiční náklady navržených řešení, spočítat provozní náklady současného stavu a stanovit náklady na provoz nově navržených zdrojů.

3.4.1 Investiční náklady

V Tabulce 9 jsou uvedeny ceny nově nakoupených komponent převzaté ze stránek prodejců.
[29, 34, 44, 45, 46, 47, 48, 49]

Varianta 1			
položka	množství	cena za kus [Kč]	celková cena [Kč]
solární panel JA Solar 325 Wp full black	40	3 980	159 200
nosná konstrukce a kabeláž (odhad)	40	1 500	60 000
montáž FVE včetně revize (odhad)	1	25 000	25 000
LiFePO4 Pack 48V/200Ah Sunstone Power SLPO48-200, 10kWh	6	93 100	558 600
střídač GoodWe 17KN-DT 17kW	1	45 474	45 474
automatický kotel na pelety Benekov K14	1	93 654	93 654
textilní zásobník na pelety ATZ 6	1	38 551	38 551
CELKOVÁ CENA			980 479
Varianta 2			
položka	množství	cena za kus [Kč]	celková cena [Kč]
solární panel JA Solar 325 Wp full black	10	3 980	39 800
nosná konstrukce a kabeláž (odhad)	10	1 500	15 000
montáž FVE včetně revize (odhad)	1	20 000	20 000
LiFePO4 Pack 48V/200Ah Sunstone Power SLPO48-200, 10kWh	4	93 100	372 400
střídač GoodWe 6K DT G2 6000 W	1	31 109	31 109
elektrocentrálu GA 8000	1	115 005	115 005
montáž elektrocentrály (odhad)	1	5 000	5 000
zásobník LPG 4 850 l	1	72 328	72 328
CELKOVÁ CENA			660 642

Tab. 9 Investiční náklady navržených řešení

3.4.2 Stávající provozní náklady

V současnosti je domácnost napojena na rozvod plynu a síť elektrické distribuční soustavy. Výpočet nákladů na roční provoz objektu včetně DPH je proveden na základě spotřeby z roku 2019, pro který jsou k dispozici jak data o spotřebě elektřiny, tak o spotřebě plynu. K výpočtu ceny plynu byl použit ceník [42] pro zákazníky v kategorii *Maloodběr a Domácnost se spotřebou 15 až 25 MWh* (spotřeba domácnosti: 15,66 MWh) za rok od společnosti Pražská plynárenská, a. s., jednotlivé složky ceny zobrazuje Tabulka 10. Šedě podbarvené řádky slouží k výpočtu cen pro velkooběratele.

		Jednotky	Cena včetně DPH [Kč]
	Pevná cena za zúčtování	Kč/MWh	2,95
Ceny služeb distribuční soustavy	Pevná cena za distribuovaný plyn	Kč/MWh	269,35
	Pevná roční cena za kapacitu	Kč/tis. m ³	–
	Stálý měsíční plat za přistavenou kapacitu	Kč/měsíc	150,67
Ceny ostatních služeb dodávky	Komoditní složka ceny	Kč/MWh	1013,01
	Kapacitní složka ceny	Kč/tis. m ³	–
	Stálý měsíční plat	Kč/měsíc	133,1
Celkové konečné ceny	Součet cen za odebrané množství ZP	Kč/MWh	1285,31
	Součet cen za kapacitu	Kč/tis. m ³	–
	Součet cen za stálý měsíční plat	Kč/měsíc	283,77

Tab. 10 Ceník Pražské plynárenské pro spotřebu od 15 do 25 MWh pro rok 2021 [42]

Na základě cen z Tabulky 10 a roční spotřeby z Tabulky 1 byla vypočítána výsledná cena spotřebovaného plynu jako 23 533 Kč.

Cena elektrické energie byla stanovena podle ceníku [43] společnosti PREdistribuce, a.s., do jejíž oblasti pokrytí náleží modelový objekt. V současnosti objekt spadá do distribuční sazby D25d s jističem 3x25 A. Z vyúčtování z roku 2019 známe spotřebu elektrické energie

v nízkém (NT) a vysokém tarifu (VT): VT= 2688 kWh, NT = 986 kWh. Ceny jednotlivých částí celkové ceny elektřiny jsou zobrazeny v Tabulce 11.

		Jednotky	Cena včetně DPH [Kč]
Cena za dodávku elektřiny	Cena za spotřebovanou elektřinu – VT	Kč/MWh	4 783,13
	Cena za spotřebovanou elektřinu – NT	Kč/MWh	2 993,54
	Stálý měsíční plat za odběrné místo	Kč/měsíc	107,69
Cena za související služby	Cena za distribuované množství elektřiny – VT	Kč/MWh	1 814,13
	Cena za distribuované množství elektřiny – NT	Kč/MWh	179,61
	Cena za příkon podle velikosti jističe	Kč/měsíc	151,25
	Cena za podporu elektřiny z podporovaných zdrojů	Kč/MWh	598,95
	Cena za systémové služby	Kč/MWh	112,89
	Cena za činnost operátora trhu	Kč/měsíc	4,73
	Daň z elektřiny	Kč/MWh	34,24

Tab. 11 Ceník PRE pro sazbu D25d pro rok 2021 [43]

Podle údajů z Tabulky 11 a spotřeby v nízkém a vysokém tarifu byla vypočítána výsledná cena spotřebované elektřiny jako 26 767 Kč.

Tabulka 12 ukazuje celkové roční náklady na provoz domu. Jedná se o cenu elektrické energie a cenu nakupovaného plynu na vytápění a ohřev TUV. Vzhledem k tomu, že se jedná o rodinný dům, nemusíme k provozním nákladům připočítávat náklady na obsluhu.

celkové náklady na provoz domu		
cena elektřiny za rok	26 767	Kč/rok
cena plynu za rok	23 533	Kč/rok
CELKEM	50 300	Kč/rok

Tab. 12 Přehled celkových ročních nákladů

3.4.3 Provozní náklady nových řešení

Varianta 1

Provozní náklady prvního návrhu zahrnují hlavně nákup pelet do kotle. Údržba solárních kolektorů a FVE, zejména jejich čištění, bude prováděna svépomocí, cena preventivních každoročních revizí byla odhadnuta na 1 500 Kč.

Výpočtem byla stanovena roční spotřeba pelet 4 tuny. Cena za jeden kilogram certifikovaných pelet ENplus A1 je 6,1 Kč/kg [50]. Roční zásoba paliva s touto cenou stojí 24 400 Kč.

Varianta 2

Do provozních nákladů druhé varianty opět započítáme odhadnutou cenu revizních kontrol FVE 1 500 Kč ročně. Hlavní část nákladů připadne na nákup LPG na provoz elektrocentrály a plynového kotle, kterého je podle výpočtů potřeba nakoupit 5 227 litrů (2 839 kg). Při ceně 25 Kč/kg [51] činí celková částka za palivo 70 976 Kč. Tabulka 13 ukazuje celkové provozní náklady navržených variant.

roční náklady na provoz domu [Kč/rok]		
Varianta 1	revizní prohlídka FVE	1 500
	pelety	24 400
CELKOVÉ NÁKLADY		25 900
Varianta 2	revizní prohlídka FVE	1 500
	LPG	72 167
CELKOVÉ NÁKLADY		73 667

Tab. 13 Provozní náklady

3.4.4 Vyhodnocení z hlediska čisté současné hodnoty

Na hodnocení finanční výhodnosti investic byla zvolena metoda čisté současné hodnoty, anglicky Net Present Value (NPV). Tato metoda počítá se zvolenou dobou životnosti projektu a zohledňuje ztrátu hodnoty peněz v čase danou převážně inflací. Pro výpočet NPV je nutné pro jednotlivé roky stanovit příjmy a výdaje projektu, tzv. peněžní toky (anglicky Cash Flow, CF). V této práci se CF rozumí úspora (pokud nastane) provozních nákladů

oproti současnému stavu. Výsledná hodnota NPV říká, kolik peněz v budoucnu přinese plánovaná investice. Pokud je výsledek záporný, znamená to, že je investice ztrátová. [52]

$$NPV = \sum_{n=0}^T \frac{CF_n}{(1+r)^n} \quad (15)$$

kde

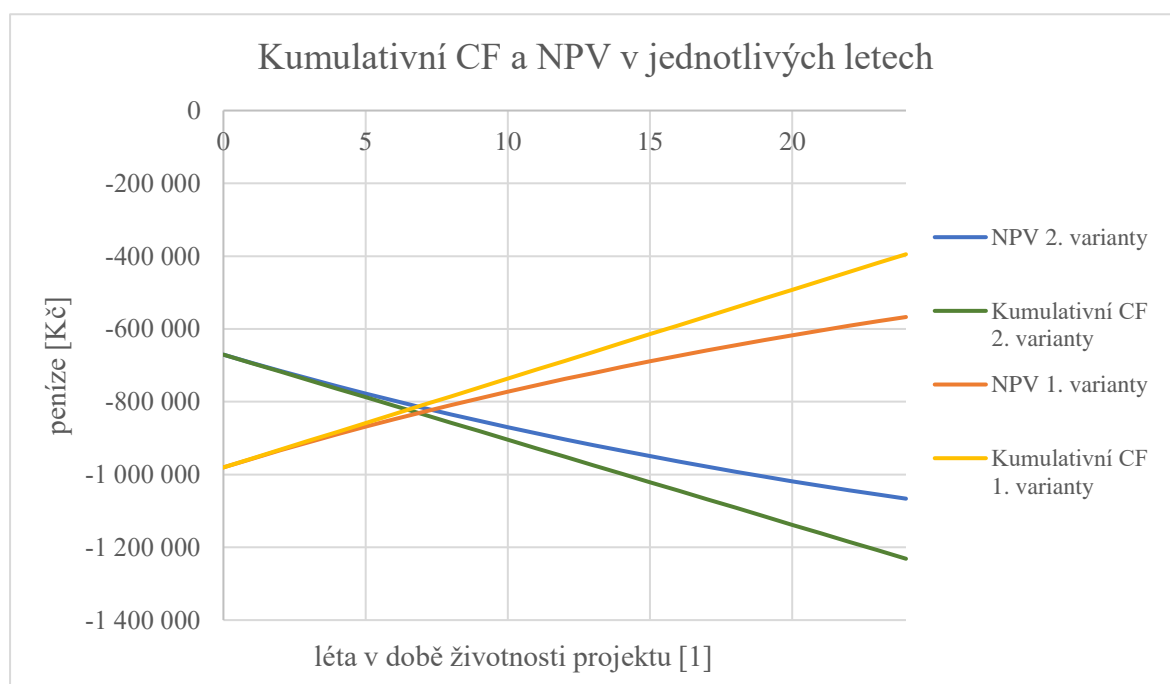
CF_n cash flow pro konkrétní rok (úspora provozních nákladů)

T doba životnosti

n konkrétní rok v době životnosti

r úroková míra (diskont)

Doba životnosti byla stanovena na 25 let. Úroková míra neboli diskont kromě inflace zohledňuje i míru rizika, které z investice pro investora vyplývá. Byla stanovena na 3 %, protože riziko je pro domácnost v tomto případě nízké. Ve výpočtu se předpokládá, že v prvním roce budou do peněžních toků zahrnuty pouze investiční výdaje. V každém dalším roce se změní CF o úsporu provozních nákladů (pokud k ní dojde). Ve výpočtu je zanedbán růst cen komodit v čase. Na grafu níže jsou znázorněny kumulativní peněžní toky a NPV v jednotlivých letech. Po 25 letech je NPV pro první variantu –567 252 Kč, pro Variantu 2 je to –1 066 375 Kč.



Graf 6 Vývoj NPV a peněžních toků v čase

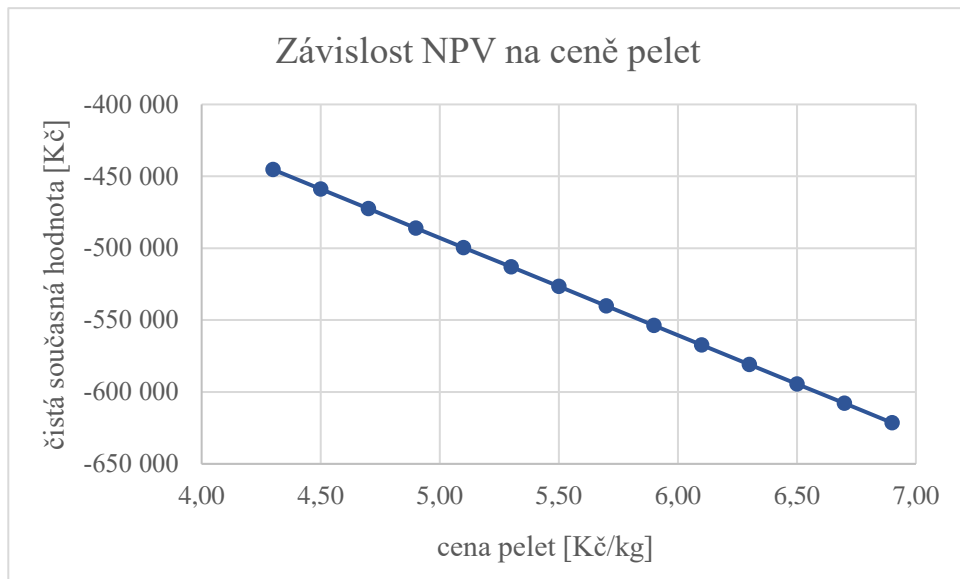
3.4.5 Citlivostní analýza

Citlivostní analýza zkoumá vliv změn jednotlivých vstupů výpočtu na jeho výstupy. V našem případě byly jako proměnlivé vstupy zvoleny ceny pelet a LPG, které největší měrou ovlivňují provozní náklady obou variant a tím i peněžní toky dané úsporou provozních nákladů oproti současnému stavu. Ceny se měnily oběma směry, do budoucnosti se však dá očekávat spíše zdražování paliva. Velmi nízké ceny paliv byly do výpočtu zahrnuty, aby se ukázalo, zda bude investice při nízkých cenách paliva návratná. Jako výstup byl zvolen ekonomický ukazatel NPV, který vypovídá o finanční výhodnosti daného řešení.

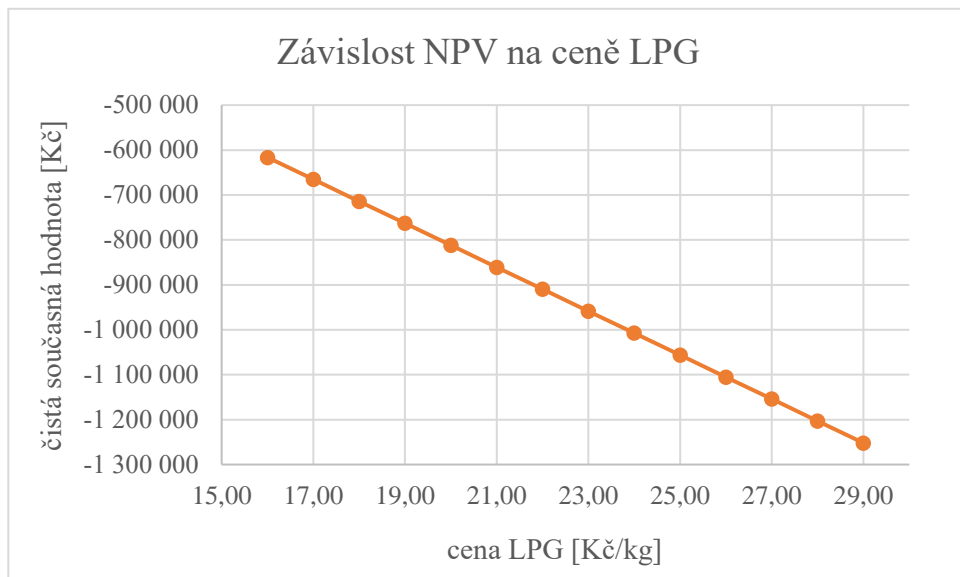
Měnicí se ceny paliv a výsledná hodnota NPV je zobrazena v tabulce 14. Tučně je označena cena paliva, která byla uvažována při původním ekonomickém zhodnocení. Na grafech 7 a 8 jsou výsledky této tabulky zobrazeny graficky.

Varianta 1		Varianta 2	
cena pelet [Kč/kg]	NPV [Kč]	cena LPG [Kč/kg]	NPV [Kč]
6,90	-621 446	29,00	-1 251 930
6,70	-607 897	28,00	-1 203 042
6,50	-594 349	27,00	-1 154 154
6,30	-580 800	26,00	-1 105 267
6,10	-567 252	25,00	-1 056 379
5,90	-553 703	24,00	-1 007 491
5,70	-540 155	23,00	-958 604
5,50	-526 606	22,00	-909 716
5,30	-513 058	21,00	-860 828
5,10	-499 510	20,00	-811 941
4,90	-485 961	19,00	-763 053
4,70	-472 413	18,00	-714 165
4,50	-458 864	17,00	-665 278
4,30	-445 316	16,00	-616 390
4,10	-431 767	15,00	-567 502

Tab. 14 Citlivostní analýza paliv



Graf 7 Závislost NPV na ceně dřevěných pelet pro Variantu 1



Graf 8 Závislost NPV na ceně LPG pro Variantu 2

3.4.6 Zhodnocení výsledků

NPV u obou variant vyšla záporně, což značí, že investice se ani v jednom případě ekonomicky nevyplatí. Varianta 1 vychází z porovnání o něco lépe, jelikož vykazuje i přes vyšší počáteční investici značné úspory provozních nákladů. Je třeba poznamenat, že zvolená metoda finančního hodnocení nepočítá s investičními náklady, které bylo třeba vynaložit na vybudování původní infrastruktury (přípojky, plynový kotel atd.). Pokud by se tyto náklady do hodnocení započítaly, vycházely by nově navržené varianty o něco lépe.

Ve Variantě 1 je nejvýznamnější investicí bateriové úložiště, které tvoří z celkové částky 980 500 Kč za veškeré komponenty téměř 60 %. Pro představu – kdyby BÚ nebylo instalováno, vrátila by se investice podle NPV za 26 let. Provoz domácnosti by však bez BÚ nebyl možný, mohlo by se ale snížit množství modulů z navržených 6 například na 2 za cenu rizika občasného nedostatku elektrické energie. Přebytky z FVE, které by se nemohly ukládat do BÚ, by mohly prostřednictvím topných patron ohřívat vodu v teplovodním akumulátoru a tím šetřit alespoň část nákladů na výrobu tepla spalováním pelet.

Z grafu 6 lze vyčíst lineární závislost NPV na aktuální ceně pelet, které tvoří naprostou většinu provozních výdajů této varianty. I při výrazném snížení jejich ceny však podle výpočtu metodou NPV není v horizontu zvolených 25 let investice návratná.

Ačkoli je Varianta 2 v porovnání s Variantou 1 investičně o třetinu levnější, vychází z ekonomického porovnání mnohem hůře kvůli velikým provozním nákladům převyšujícím současné provozní výdaje. I ve Variantě 2 tvoří největší část investičních nákladů BÚ, přibližně 55 % z ceny investice. Úspora peněz snižováním počtu modulů v tomto případě, kdy se ceně jednoho modulu blíží roční provozní náklady, nemá smysl. Citlivostní analýza ukázala podobnou lineární závislost NPV na ceně paliva (LPG) jako u první varianty. Aby měla Varianta 2 stejné NPV jako Varianta 1, musela by cena LPG klesnout na hodnotu 15 Kč za kilogram, avšak ani v tomto případě se investice během 25 let nenavratí.

Podle tabulky 8 se provozně drahá centrála podílí na pokrytí potřeby elektrické energie pouze z 24 %, proto je v tabulce níže proveden pokus o optimalizaci zdrojů elektrické energie na základě ceny jedné vyrobené kWh elektřiny. Výpočet je proveden pro první a desátý rok provozu.

		náklady na pořízení technologie [Kč] (bez montáže)	roční provozní náklady [Kč]	celková roční produkce elektriny [kWh]	cena 1 kWh v prvním roce [Kč]	cena 1 kWh v 10. roce [Kč]
5 panelů FVE	FVE	58 509	1 500	1 955	31	4
	CENTRÁLA	187 333	60 807	1 633	152	49
10 panelů FVE (navrženo)	FVE	85 909	1 500	3 911	22	3
	CENTRÁLA	187 333	36 955	992	226	56
20 panelů FVE	FVE	140 709	1 500	7 822	18	2
	CENTRÁLA	187 333	12 841	345	580	92
30 panelů FVE	FVE	195 509	1 500	11 733	17	2
	CENTRÁLA	187 333	2 911	78	2 439	277

Tab. 15 Optimalizace velikosti FVE pro Variantu 2

Z tabulky 15 je zřejmé, že cena elektrické energie vyrobené centrálou s klesajícím objemem výroby strmě roste. Naproti tomu snaha o její maximální využití silně zvedá náklady na nákup LPG. Za předpokladu, že je centrála instalována jako zdroj spolehlivé dodávky elektriny bez ohledu na počasí a roční dobu, jeví se jako optimum dané kombinací provozních nákladů a cenou elektrické energie velikost elektrárny přibližně 15 panelů. Také je třeba podotknout, že ačkoli FVE s velkým počtem panelů produkuje značné množství levné elektriny, spotřeba domácnosti je podle Tab. 1 jen zhruba 3 600 kWh. Proto by se musely přebytky využívat například k odporovému ohřevu vody, čímž by se ušetřila část nákladů na ohřev TUV, případně na vytápění.

Zhodnocení ukazuje, že se přechod na ostrovní provoz v tomto případě v porovnání s domácností připojenou k inženýrským sítím finančně nevyplatí a investované peníze se během zvolených 25 let nevrátí. Je ovšem nutné zdůraznit, že ostrovní provoz přináší řadu výhod, které nelze běžným ekonomickým porovnáním zachytit. Hodnota ostrovních systémů spočívá především v nezávislosti a jistotě dodávky elektrické energie a tepla téměř v jakékoli situaci. Zároveň v případě odlehlých oblastí často není jiná možnost, jak zajistit komfortní fungování domácnosti, než se vydat cestou off-grid systémů. Proto v případě

ostrovních domů často nemusí být finanční hledisko projektu rozhodující a slouží pouze jako jedno z hodnocených kritérií.

4 Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval ostrovními systémy, jež mohou plnohodnotně fungovat bez připojení na inženýrské sítě, kterými jsou například centrální zásobování teplem nebo elektrická distribuční soustava. V teoretické části byly na základě literární rešerše dostupných zdrojů shrnuty možnosti výroby tepla, elektrické energie a jejich akumulace v kontextu rodinných domů, včetně jejich hlavních výhod a nevýhod. Tato část posloužila jako podklad pro část praktickou, ve které byl nejprve na základě existujícího RD vytvořen modelový objekt a bilance jeho energetických potřeb – tepla na vytápění a ohřev TUV a elektrické energie. Následně byl proveden návrh dvou variant pokrytí těchto potřeb. První varianta měla využívat pouze obnovitelné zdroje energie, proto byla navržena fotovoltaická elektrárna, dodávku tepla měl zajišťovat kotel spalující dřevěné pelety v kombinaci se solárními kolektory. Druhá varianta – za cenu vyšších provozních nákladů – preferovala jistotu stabilní dodávky elektřiny v jakékoli denní a roční době. Z tohoto důvodu elektrickou energii dodávala malá FVE doplněná elektrocentrálou spalující LPG. Jelikož návrh počítal s vybudováním velkokapacitního zásobníku LPG, byl k výrobě tepla pro zjednodušení logistiky zvolen původní plynový kotel, jenž se v objektu již nacházel. Přejít ze zemního plynu, který se v kotli spaloval dřívě, na LPG byl umožněn výměnou trysek v kotli. V závěru práce byla posouzena ekonomická výhodnost obou řešení pomocí metody čisté současné hodnoty při době životnosti 25 let a úrokové míře 3 %. Citlivostní analýzou byl vypočítán vliv ceny pelet a LPG na hodnotu NPV. Pro druhou variantu byl proveden pokus o optimalizaci velikosti FVE na základě ceny za vyrobenou kilowatthodinu elektrické energie z obou navržených zdrojů.

Ekonomické zhodnocení ukázalo, že se přechod z domu již napojeného na inženýrské sítě na dům zcela energeticky nezávislý v tomto případě finančně nevyplatí. Při návrhu zcela nového objektu budovaného jako ostrovní dům od samého počátku může ovšem hodnocení dopadnout výrazně lépe. Navíc modelový objekt byl v mnoha ohledech limitovaný svou polohou uprostřed velkého města.

Jak již však bylo řečeno výše, vybudování energeticky nezávislé domácnosti nesmí být hodnoceno pouze z hlediska finanční výhodnosti, protože přináší mnoho výhod, které se obtížně vyčíslují penězi. Pro někoho může být jistota dodávky energií, kontrola nad systémem a nezávislost na distributorech důležitější než výše investovaných nákladů na pořízení domácích zdrojů energie. V kontextu neustále se zvyšujících cen elektřiny, zemního plynu a dálkového tepla se může téma ostrovních domů v budoucnu rozšířit mezi širokou veřejnost.

5 Seznam použité literatury

- [1] MURTINGER, Karel a Jan TRUXA. *Solární energie pro váš dům*. Brno: Computer Press, 2010. Stavíme. ISBN 978-80-251-3241-8.
- [2] JIBRAN, Khan a Mudassar H. ARSALAN. Solar power technologies for sustainable electricity generation – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. [online]. Vol. 55, 2016, Pages 414-425. [vid. 7. 2. 2021]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115012149>
- [3] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [4] MARKVART, Tom a Luis CASTANER. *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications* [online]. Oxford: Elsevier, 2003. [vid. 7. 2. 2021]. ISBN 1-85617-390-9. Dostupné z: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.techlib.cz/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=196376&lang=cs&site=ehost-live>
- [5] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [6] BALÁK, Rudolf a Karel PROKEŠ. *Nové zdroje energie*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984. Polytechnická knihnice (SNTL).
- [7] MISHRA, Sachin, S. K. SINGAL a D. K. KHATOD. Optimal installation of small hydropower plant—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. [online]. Vol. 15, 2011, Pages 3862-3869. [vid. 8. 2. 2021]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111002425>
- [8] Mapa slunečního svitu v ČR. In: *MojeElektrarna* [online]. JML..., © 2013. [vid. 7. 2. 2021]. Dostupné z: <http://www.mojeelektrarna.cz/energie-ze-slunce.html#prettyPhoto>
- [9] Solární energie. In: *Pixabay* [online]. [vid. 7. 2. 2021]. Dostupné z: <https://pixabay.com/cs/photos/sluneční-soustava-střešní-energie-2939560/>
- [10] Beaufortova stupnice účinků větru. In: *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [vid. 8. 2. 2021]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/aktualni-situace/aktualni-stav-pocasi/ceska-republika/stanice/profesionalni-stanice/mapy/vitr/vysvetlivky>
- [11] Schematické zobrazení palivového článku. In: *ČekujVědu.cz* [online]. Výzkumný ústav pro podnikání a inovace, z.ú. při Hospodářské komoře ČR, © 2019. [vid. 9. 2. 2021]. Dostupné z: <http://cekujvedu.cz/nove-objevy/palivovy-clanek-alternativa-pro-spalovaci-motor/>

- [12] GODULA-JOPEK, Agata. *Hydrogen Production : By Electrolysis* [online]. John Wiley & Sons, Incorporated, 2015. [vid. 9. 2. 2021]. ISBN 9783527676521. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/techlib-ebooks/detail.action?docID=1956440>.
- [13] ABUELYAMEN, Ahmed a Rached BEN-MANSOUR. Energy efficiency comparison of Stirling engine types (α , β , and γ) using detailed CFD modeling. *International Journal of Thermal Sciences* [online]. Vol. 132, 2018, Pages 411-423. [vid. 9. 2. 2021]. ISSN 1290-0729. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1290072917314734>
- [14] BUŘIL, Lukáš. *Experimentální ověření kogeneračního systému na bázi plynové mikroturbíny*. Brno, 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství.
- [15] TEDOM [online]. Tedom a.s. [vid. 9. 2. 2021]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/kogeneracni-jednotky/micro/>
- [16] BENADA, Tomáš. *Ověřovací série rychlonabíječů pro olovené akumulátory 12V a 6V*. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [17] Schematické zobrazení provozování Trombeho stěny. In: *Dům a zahrada* [online]. VLTAVA LABE MEDIA a.s., © 2021 [vid. 10. 2. 2021]. Dostupné z: <https://www.dumazahrada.cz/stavba-rekonstrukce/rekonstrukce/23448-trombeho-stena/>
- [18] MURTINGER, Karel a Jiří BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. Brno: Computer Press, 2011. Stavíme. ISBN 978-80-251-2916-6.
- [19] SRDEČNÝ, Karel. *Energeticky soběstačný dům - realita, či fikce?*. Brno: ERA, 2006. 21. století. ISBN 80-7366-052-0.
- [20] TZB info [online]. Topinfo s. r. o., © 2001-2021. [vid. 10. 2. 2021]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/6831-vytapani-rodinnych-domu-topnym-olejem-i>
- [21] TZB info [online]. Topinfo s. r. o., © 2001-2021. [vid. 10. 2. 2021]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/6280-vodikovy-kotel-jediny-kotel-na-svete-s-nulovymi-emisemi>
- [22] Ploché solární kolektory. In: *Junkersplus* [online]. [vid. 11. 2. 2021]. Dostupné z: <http://www.junkersplus.cz/junkersplus/eshop/19-1-Ploche-solarni-kolektory>
- [23] MMEE cv.5 In: *Západočeská univerzita v Plzni* [online]. [vid. 8. 11. 2021]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~benesj/MMEE/CV5_obchod2.pdf
- [24] TZB info [online]. Topinfo s. r. o., © 2001-2021. [vid. 14. 11. 2021]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-vetrani-a-pripravu-teple-vody>

- [25] *TZB info* [online]. Topinfo s. r. o., © 2001-2021. [vid. 15. 11. 2021].
Dostupné z: https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/103-vypocet-denostupnu?stanice=28&action=1&otopne_obdobi=2018_2019&start_year=2018&end_day=31&end_year=2019&ti=20&tem=13.0&checkbox_sumtbl=1&checkbox_deg=1&checkbox_dnu=1&checkbox_prumerne_teploty=1&checkbox_teploty=1°_x=740°_y=270&otop_dny_x=740&otop_dny_y=270&prum_teploty_x=740&prum_teploty_y=270
- [26] ŠKLÁR, Martin. *Optimalizace otopného systému rodinného domu*. Praha, 2016. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav energetiky.
- [27] HRUŠKA, Matyáš. *Energeticky soběstačný dům*. Praha, 2021. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav energetiky.
- [28] *Kalkulačka energie* [online]. Kalkulačka energie, © 2021. [vid. 4. 12. 2021].
Dostupné z: <https://kalkulackaenergie.com/jak-na-vypocet-spotreby-elektriny/>
- [29] *Eshop.neosolar* [online]. Neosolar, spol. s. r. o., 2021. [vid. 4. 12. 2021].
Dostupné z: <https://eshop.neosolar.cz/solarni-panel-ja-solar-325wp-full-black>
- [30] *Photovoltaic geographical information system* [online]. EU Science Hub, 2021. [vid. 4. 12. 2021]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR
- [31] *Benekov* [online]. © BENEKOV.COM, 2021. [vid. 14. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.benekov.com/produkt/benekov-k-14>
- [32] *TZB info* [online]. Topinfo s. r. o., © 2001-2021. [vid. 14. 12. 2021].
Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/biomasa/6263-naklady-na-vytapani-drevnimi-peletami>
- [33] *BATTERY CHARGER CZ* [online]. Battery Charger cz, 2000-2021. [vid. 17. 12. 2021]. Dostupné z: https://www.bch-battery.cz/Informace-a-vypocty-baterii-FV-c2_359_2.htm
- [34] *VS ELEKTRO* [online]. VS ELEKTRO PLUS s.r.o., 2021. [vid. 18. 12. 2021]. Dostupné z: https://www.vselektro.eu/lifepo4-pack-48v-200ah-sunstone-power-slpo48-200-10kwh/?gclid=EAIaIQobChMI34j3geHr9AIVXxkGAB2UOAO1EAQYAiABEGlCT_D_BwE
- [35] *SOLFOREN* [online]. SOLFOREN PLUS s.r.o., 2021. [vid. 20. 12. 2021].
Dostupné z: <https://www.solforen.cz/wp-content/uploads/2021/08/gas-generators-hsb-brochure-cz.pdf>
- [36] *Interaktivní mapa větru* [online]. © Ústav fyziky atmosféry AV ČR. [vid. 20. 12. 2021]. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/>
- [37] *TZB info* [online]. Topinfo s. r. o., © 2001-2021. [vid. 20. 12. 2021].
Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/117-objemove-hmotnosti-paliv-ze-dreva>

- [38] *PRIMAGAS* [online]. Primagas, © 2020. [vid. 22. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.primagas.cz/co-je-lpg>
- [39] *TOMEGAS* [online]. TOMEGAS s.r.o., © 2021. [vid. 22. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.tomegas.cz/blog/pro-koho-je-vhodne-vytapeni-zkapalnenym-propanem/>
- [40] *STAVEBNÍ KLUB* [online]. Dashöfer Holding, Ltd., © 1997-2021. [vid. 22. 12. 2021]. Dostupné z: https://www.stavebniklub.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrOJ0sxwBR3d1X0Tec_PEncvno z27aFII0BA
- [41] *PRIMAGAS* [online]. Primagas, © 2020. [vid. 22. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.primagas.cz/pro-domacnosti/propanove-vytapeni/zatim-propanem-netopim>
- [42] *PRAŽSKÁ PLYNÁRENSKÁ, archiv ceníků* [online]. Pražská plynárenská, a.s., ©2002-2017. [vid. 23. 12. 2021]. Dostupné z: https://www.ppas.cz/sites/default/files/ceniky/2020/01w_2020_01_Cen%C3%ADk_PPd_Standard.pdf
- [43] *PRE* [online]. Pražská energetika, a. s., ©2014-2021. [vid. 23. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.pre.cz/cs/domacnosti/elektrina/archiv-produktu/>
- [44] *TOPENILEVNE.CZ* [online]. PROFI-UNION, spol. s.r.o., © 2007-2021. [vid. 23. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/atmos-textilni-zasobnik-pelet-atz-6-p43772/>
- [45] *TOPENILEVNE.CZ* [online]. PROFI-UNION, spol. s.r.o., © 2007-2021. [vid. 23. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/benekov-k-14-standard-ekodesign-automaticke-spalovani-drevnich-pelet-pravy-p82649/>
- [46] *STAVBA-STROJE.CZ* [online]. Stavba-Stroje.cz - stavební stroje a bazar stavebních strojů, © 2021. [vid. 23. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.stavba-stroje.cz/elektrocentraly-2/pramac-ga-8000/>
- [47] *ESHOP VPS* [online]. Východočeské plynárenské strojírny, a.s., © 2021. [vid. 23. 12. 2021]. Dostupné z: <https://eshop.vpsr.cz/nadzemni-zasobnik-objem-4850l-barva-bila-ral9010>
- [48] *ECOPRODUKT.CZ* [online]. ECO PRODUKT s. r. o., © 2021. [vid. 25. 12. 2021]. Dostupné z: <https://ecoprodukt.cz/p/81376-trifazovy-menic-goodwe-17kn-dt-17kw-2x-mppt-a-wifi-21343>
- [49] *ECOPRODUKT.CZ* [online]. ECO PRODUKT s. r. o., © 2021. [vid. 25. 12. 2021]. Dostupné z: <https://ecoprodukt.cz/p/85645-trifazovy-menic-goodwe-6k-dt-g2-6000-w-2x-mppt-a-wifi-30839>
- [50] *ZDENĚK KULDA ekopaliva* [online]. Ekopelety.cz, © 2014 - 2021. [vid. 26. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.ekopelety.cz/pelety/enplus-a1-6mm-cz009-volne-lozene-1/>

- [51] *TZB info* [online]. Topinfo s. r. o., © 2001-2021. [vid. 26. 12. 2021].
Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/18-ceny-zkapalnenych-plynu>
- [52] *MONETA* [online]. MONETA Money Bank, a.s., © 2021. [vid. 26. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.moneta.cz/slovník-pojmu/detail/cista-soucasna-hodnota>
- [53] CHMEL, Ladislav a Ivo HAMERNÍK. *Fotovoltaika, fototermika* [online] publi.cz, 2015. [vid. 29. 12. 2021] ISBN 978-80-88058-02-1. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/Cover.html>
- [54] *TZB info* [online]. Topinfo s. r. o., © 2001-2021. [vid. 29. 12. 2021].
Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22067-stresni-fotovoltaika-jak-funguje-a-co-od-ni-ocekavat>
- [55] *TZB info* [online]. Topinfo s. r. o., © 2001-2021. [vid. 29. 12. 2021].
Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/11077-rocni-vyuziti-vykonu-vetrnych-elektren-v-ceske-republice>
- [56] *O ENERGETICE* [online]. oEnergetice.cz, © 2021. [vid. 29. 12. 2021].
Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/potencial-vyuziti-fotovoltaickych-zdroju-cr-ve-svete-dil-2>
- [57] *Malé větrné elektrárny AERPLAST* [online]. AERPLAST s.r.o., © 2021. [vid. 29. 12. 2021]. Dostupné z: <http://www.vetrne-elektreny.eu/ap400/>
- [58] *TZB info* [online]. Topinfo s. r. o., © 2001-2021. [vid. 29. 12. 2021].
Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3645-vodni-energie-i-zdroje-vodni-energie>
- [59] *TZB info* [online]. Topinfo s. r. o., © 2001-2021. [vid. 2. 12. 2022].
Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teplna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivitu-teplnych-cerpadel-cop-a-scop>
- [60] *Akumulátory: trocha teorie nikoho nezabije* [online]. Droneweb.cz, © 2015-2021. [vid. 2. 12. 2022]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/akumulatory/item/107-akumulatory-lithium-lipol>
- [61] *TZB info* [online]. Topinfo s. r. o., © 2001-2021. [vid. 3. 12. 2022].
Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/8850-stanoveni-potreby-teple-vody-a-tepla-pro-jeji-pripravu-a-rozvod-podle-nove-csn-en-15316-3>
- [62] *Protherm, návody* [online]. Protherm, © 2020. [vid. 3. 12. 2022]. Dostupné z: <https://www.protherm.cz/files/downloads/archiv/z-v-sn-kotle/panther-v17-navod-kxv-1491916.pdf>
- [63] *OTE, Statistika* [online]. OTE, a.s., © 2018. [vid. 3. 12. 2022]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektřiny/prepocteneddd?date=2019-01-01>

- [64] *fDrive, Jaké jsou podle ADAC ztráty z nabíjení u jednotlivých modelů?* [online]. 24net s.r.o., © 2021. [vid. 5. 12. 2022]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/jake-jsou-podle-adac-ztraty-z-nabijeni-u-jednotlivych-modelu-6387>
- [65] *LPG–OBCHOD, Letní a zimní směs LPG* [online]. LPG Obchod, © 2022. [vid. 7. 12. 2022]. Dostupné z: <https://www.lpg-obchod.cz/co-je-lpg/>

6 Seznam obrázků

Obr. 1 Rozložení dopadajícího slunečního záření za jeden rok, převzato z [8]	13
Obr. 2 Použití solárních modulů na střeše rodinného domu, převzato z [9].....	14
Obr. 3 AP400 [56]	17
Obr. 4 H–Q diagram zobrazující oblasti optimálního využití turbín, převzato z [3].....	19
Obr. 5 Schematické zobrazení palivového článku, převzato z [11].....	20
Obr. 6 Schematické zobrazení provozování Trombeho stěny, převzato z [17].....	24
Obr. 7 Schematické zobrazení plochého kolektoru, převzato z [22]	28
Obr. 8 Rychlosti větru ve výšce 10 m nad zemí pro oblast Prahy [36]	43
Obr. 9 Orientační rozmístění panelů na jižní straně střechy modelového domu	44

7 Seznam tabulek

Tab. 1 Spotřeba energií modelového domu	32
Tab. 2 Přehled hodnot diagramu trvání venkovních teplot.....	36
Tab. 3 Přehled vypočítaných topných výkonů.....	39
Tab. 4 Přístroje v domácnosti a jejich příkon [28]	41
Tab. 5 Průměrné dopadající záření a výroba FVE.....	46
Tab. 6 Výroba jednotlivých zdrojů Varianty 1	48
Tab. 7 Bilance výroby a spotřeby elektřiny v období od října do března.....	50
Tab. 8 Výroba jednotlivých zdrojů Varianty 2	52
Tab. 9 Investiční náklady navržených řešení.....	53
Tab. 10 Ceník Pražské plynárenské pro spotřebu od 15 do 25 MWh pro rok 2021 [42]	54
Tab. 11 Ceník PRE pro sazbu D25d pro rok 2021 [43].....	55
Tab. 12 Přehled celkových ročních nákladů	55
Tab. 13 Provozní náklady	56
Tab. 14 Citlivostní analýza paliv	58

8 Seznam grafů

Graf 1 Diagram trvání teplot exteriéru v otopném období	36
Graf 2 Závislost celkového topného výkonu na teplotě exteriéru	38
Graf 3 Diagram trvání celkového výkonu	38
Graf 4 Průběh spotřeby elektrické energie	40
Graf 5 Průběh celkového dopadajícího slunečního záření.....	45
Graf 6 Vývoj NPV a peněžních toků v čase	57
Graf 7 Závislost NPV na ceně dřevěných pelet pro Varantu 1	59
Graf 8 Závislost NPV na ceně LPG pro Varantu 2.....	59