

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra mechaniky a strojnictví



Diplomová práce

Problematika výroby a využití energie z obnovitelných zdrojů v podmínkách ostrovního provozu

Bc. Josef Vítů

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Josef Vítů

Technologická zařízení staveb
Zařízení v agropotravinářském komplexu

Název práce

Problematika výroby a využití energie z obnovitelných zdrojů v podmínkách ostrovního provozu.

Název anglicky

Issues of generation and use of energy from renewable sources in island operation

Cíle práce

Na základě literární rešerše popsat možnosti a způsoby výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů – solární, větrné a vodní energie. Na vybraném objektu obytného domu popsat možnosti využití vyrobené energie v tzv. ostrovním provozu. Provést technicko-ekonomický rozbor použitého řešení.

Metodika

Zpracovat literární rešerši. Navrhnout řešení výroby a akumulace energie pro obytný dům. Provést technicko-ekonomický rozbor použitého řešení.

Pozn.:

- struktura práce: Úvod, Materiál a metody, Výsledky, Diskuse, Závěr. V pracích rešeršního charakteru lze sloučit Materiál a metody s Výsledky a stejně tak Diskusi se Závěrem.
- jednotlivé kapitoly a podkapitoly práce, rovnice, tabulky a obrázky je nutno číselně označovat a na toto značení se v textu odkazovat. Nedílnou součástí práce je Obsah, Abstrakt, Seznam použitých zkratk a symbolů, obrázků, tabulek a Seznam použité literatury.
- je nezbytné respektovat citační pravidla dle ČSN ISO 690:2011
- vedoucího práce je nutno čtvrtletně seznamovat s postupem zpracování zadaného tématu

Doporučený rozsah práce

40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

obnovitelné zdroje energie, ostrovní provoz, akumulace energie

Doporučené zdroje informací

BENDA, V. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.
Libra, M., Poulek, V.: *Solární energie*. ČZU v Praze, 2005.
Melichar, J., Vojtek, J., Bláha, J.: *Malé vodní turbíny, konstrukce a provoz*. ČVUT 1998.
QUASCHNING, V. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3250-3.
Rychetník, V., Janoušek, J., Pavelka, J.: *Větrné motory a elektrárny*, ČVUT 1997.

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 21. 2. 2023

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 2. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "*Problematika výroby a využití energie z obnovitelných zdrojů v podmínkách ostrovního provozu*" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 30.3.2023

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Martinu Polákovi, Ph.D. za odborné připomínky, rady, ochotu a mnoho trpělivosti při vedení diplomové práce.

Problematika výroby a využití energie z obnovitelných zdrojů v podmínkách ostrovního provozu

Abstrakt:

Hlavním cílem diplomové práce bylo navrhnout vhodné řešení zdroje energie pro ostrovní dům, který se nachází v jižních Čechách nedaleko města Tábor.

V rámci teoretické části je charakterizován systém ostrovních domů. Dále jsou vysvětleny jednotlivé alternativy získávání obnovitelné energie, jako je fotovoltaická elektrárna, vodní elektrárna, větrná elektrárna, solární kolektory, geotermální energie a biomasa. Následně se práce zabývá problematikou ukládání energie. V praktické části diplomové práce je na základě parametrů objektu a celkové spotřeby energie vybrána pro její pokrytí kombinace fotovoltaické elektrárny a spalování biomasy. Navržená fotovoltaická elektrárna se skládá ze 74 solárních panelů s celkovým výkonem 36 630 Wp a akumulátoru. V zimě je elektrárna doplněna spalováním biomasy pro ohřev vody a vytápění. V další části jsou prezentovány výsledky. Byly stanoveny náklady na vyrobenou kWh jak v ostrovním systému, tak elektřiny ze sítě. Tyto náklady byly porovnány. V případě využití navrhovaného systému ušetří spotřebitel za elektřinu 31 815 Kč ročně. V závěru práce je zhodnocena návratnost investice.

Klíčová slova: ostrovní dům, obnovitelné zdroje, akumulátor, fotovoltaická elektrárna, spalování biomasy, akumulace, vodní elektrárna, větrná elektrárna, dřevo, energie

Issues of generation and use of energy from renewable sources in island operation

Summary:

The main goal of the diploma thesis was to propose a suitable solution for obtaining energy for a self-sustainable house located in South Bohemia near Tábor.

Firstly, in the theoretical part, the system of self-sustainable house is characterized. Further, individual alternatives for obtaining energy such as photovoltaic power plant, hydroelectric power plant, wind power plant, solar collectors, geothermal energy plant and biomass are explained. Subsequently, the work deals with the issue of energy storage. In the practical part of the diploma thesis, an appropriate solution is selected based on the parameters and the total energy consumption of the building. A combination of photovoltaic power plant and biomass burning was chosen. The photovoltaic power plant consists of 74 solar panels with a total output of 36,630 Wp and a suitable battery. In winter, the photovoltaic power plant is supplemented by burning biomass for water heating and heating. In the next section, the results are presented. The costs per kWh was calculated for proposed system and electricity from the grid. These costs have been compared. If the proposed system is used, the consumer will save 31,815 CZK per year on electricity. At the end of the thesis, the return on investment is evaluated.

Key words: self-sustainable house, renewable resources, battery, photovoltaic power plant, biomass burning, energy storage, hydroelectric power station, wind power plant, wood, energy

Obsah

1	Úvod	1
2	Provoz ostrovních systémů.....	2
2.1	Měnič	3
2.2	Regulátor dobíjení	3
2.3	Fotovoltaická elektrárna.....	5
2.4	Malá vodní elektrárna.....	7
2.5	Větrná elektrárna	9
2.6	Solární kolektory	13
2.7	Ukládání energie.....	14
2.7.1	Olověné akumulátory	14
2.7.2	Lithiové akumulátory	15
3	Biomasa.....	16
3.1	Dřevní biomasa.....	16
3.1.1	Peletování	17
3.1.2	Briketování	17
4	Zařízení využívající spalování biomasy	18
5	Geotermální energie	21
6	Tepelná čerpadla.....	24
7	Rekuperace z šedé vody	26
8	Energetická náročnost staveb	27
9	Praktická část.....	29
9.1	Výpočet spotřeby tepla pro jednu topnou sezónu	29
9.2	Výpočet spotřeby elektrické energie	32
9.3	Výpočet spotřeby biomasy	35

9.4	Návrh fotovoltaické sestavy	41
9.5	Investiční náklady.....	45
9.6	Ekonomické zhodnocení	49
10	Závěr	53
11	Seznam použitých zdrojů	55
12	Seznam obrázků	62
13	Seznam tabulek.....	63
14	Seznam grafů.....	64
15	Seznam příloh.....	65
16	Seznam použitých symbolů.....	66

1 Úvod

Lidstvo je v dnešní době závislé na energii, kterou potřebuje k uspokojování svých potřeb. Většina této energie pochází z neobnovitelných zdrojů, především fosilních paliv. Těchto zdrojů, jak už z názvu vyplývá, je na Zemi omezené množství. Dnes nedokážeme určit, kdy budou tyto zásoby vyčerpány, ale jednoho dne se tak stane. Využívání fosilních paliv vytváří skleníkové plyny a jiné emise, které vedou ke globálnímu oteplování. V Evropské unii bylo v roce 2007 stanoveno několik cílů pro energetiku a ochranu klimatu, díky kterým by se oteplování zpomalilo. Je důležité hledat nové způsoby získávání energie.

Obnovitelná energie je vyrobená z obnovitelných zdrojů, jako je sluneční záření, vítr, geotermální teplo, biomasa. Tyto přírodní procesy se neustále doplňují, ale mají některá omezení, která jsou závislá na klimatických a geografických podmínkách. Definice obnovitelného zdroje podle českého zákona č. 17/1992 Sb. o životním prostředí je: *„Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně, nebo úplně obnovovat, a to samy, nebo za přispění člověka.“*

V první části se diplomová práce věnuje obecné charakteristice ostrovních a poloostrovních systémů. Následně jsou popsány jednotlivé způsoby výroby energie pomocí obnovitelných zdrojů – fotovoltaická elektrárna, vodní elektrárna, větrná elektrárna, solární kolektory, geotermální energie a biomasa. Dále jsou popsány způsoby ukládání energie – olověné a lithiové akumulátory.

Ve druhé části je na základě odhadu spotřeby energie rodinného domu v jižních Čechách vypracován návrh vhodné kombinace obnovitelných zdrojů. V závěru se diplomová práce věnuje návratnosti investice a celkové ekonomické výhodnosti tohoto projektu.

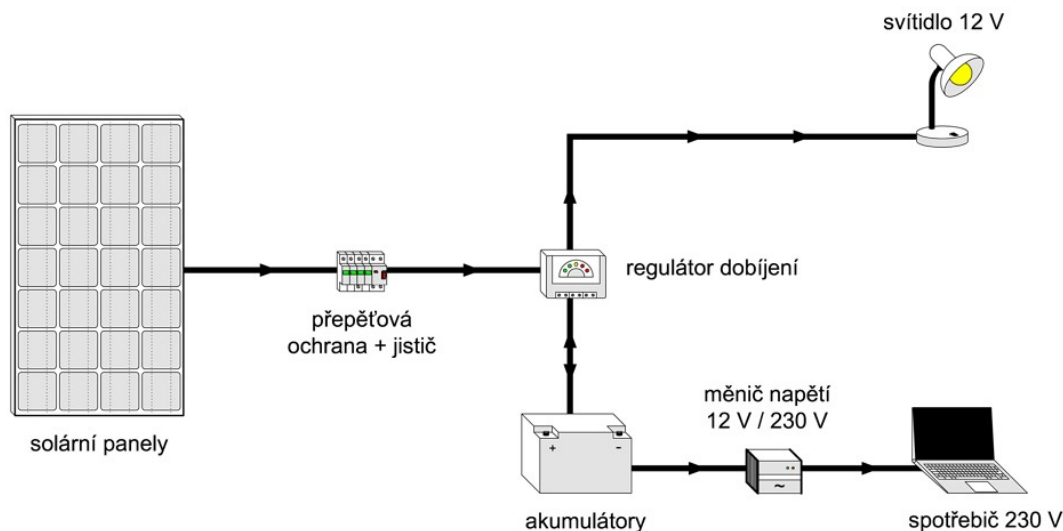
2 Provoz ostrovních systémů

Ostrovní a poloostrovní systémy jsou zařízení, která jsou nezávislá na inženýrských sítích a jsou tedy energeticky soběstačná. Systémy ostrovních domů tedy nejsou součástí veřejné elektrické sítě. Poloostrovní systémy naopak umožňují z části využívat elektřinu z veřejné sítě, a to pouze při svém vlastním nedostatku. Výrobu energie, která je následně přeměněna na elektrickou, si ostrovní systém zajišťuje několika způsoby. Elektřinu je možné získávat pomocí různých přírodních zdrojů, jako jsou vítr, voda či sluneční energie. Všechny uvedené možnosti mají v České republice hojné zastoupení, avšak nejčastěji využívaným systémem zdroje energie je sluneční záření, a to formou zachycení energie fotovoltaickými panely. Tato energie je po jejím získání uskladněna do akumulátorů, ze kterých je následně čerpána a využívána v době, kdy ji není možno získat. Nejčastějším typem úložiště energie je akumulátor s elektrochemickou přeměnou, ze kterého se energie čerpá například u systému fotovoltaických panelů zejména přes zimu, kdy sluneční svit nedosahuje požadovaných hodnot, a tedy přináší méně energie. V některých případech se fotovoltaické systémy doplňují jinými zdroji získávání energie. Mezi tyto zdroje lze zahrnout například benzínový, či diesellový generátor. [1] [2] [3] [4]

Ve prospěch ostrovních domů hraje modernizace technologií. Především ve stavebnictví, kde umožňují snížení požadavků na spotřeby energií. [5]

Posledním důležitým faktorem je získávání tepla. Vytápění domu mohou zajišťovat solární kolektory, kotel či kamna na pevné palivo. Zdroj tepla je napojen na okruh akumulární nádrže, ze které se rozdílnými okruhy rozvádí do systému užitkové vody, nebo do otopného okruhu (např. podlahového topení nebo otopného tělesa). [6]

Jedna z několika aplikací ostrovního systému je zobrazena na obrázku 1. Zde jsou hlavním prvkem získávání energie solární panely. Ty umístíme vždy na osluněnou plochu. Následuje jistič fungující jako přepěťová ochrana systému. Významným prvkem je regulátor dobíjení. Ten rozděluje proud buď do sítě pro napájení zařízení, fungujících na stejnosměrný proud, nebo elektřinu ukládá do akumulátorů. Z nich je dle potřeby domácnosti elektřina odebírána měničem. Jednotlivé prvky z obrázku 1 jsou detailněji popsány v následujících kapitolách. [2] [7]



Obrázek 1 – Schéma zapojení v ostrovním systému [8]

2.1 Měnič

V podmínkách České republiky většina spotřebičů potřebuje k provozu střídavé napětí. Proto se mezi akumulátor a spotřebiče musí umístit střídač neboli měnič. Měnič je zařízení, jehož úkolem je přeměnit stejnosměrný proud na proud střídavý, který lze dále využívat v domácnostech. Výstup měniče je 230 V (jednofázový) nebo 400 V (třífázový), a to s frekvencí 50 Hz. Tyto hodnoty jsou odpovídající českým distribučním podmínkám. Maximální účinnost měničů, které se dají na českém trhu sehnat, je v rozmezí 90-96 %. [9]

2.2 Regulátor dobíjení

Jedná se o nezbytný prvek v systému, který udržuje na výstupu konstantní napětí, i když napětí na vstupu kolísá. Výstup nesmí být ovlivněn ani výkyvy teplot. V sestavě umístíme regulátor mezi akumulátor a zdroj energie, čímž je v ostrovním systému například solární panel. Při nadbytečném přísunu energie do akumulátorů, během kterého by mohlo dojít k poškození, regulátor přeruší spojení mezi zdrojem a akumulátorem, a tím zajistí optimální provoz a nesnižuje se životnost zařízení. Na samotný regulátor kromě akumulátorů mohou být napojeny i některé spotřebiče pracující v režimu stejnosměrného proudu. [10] [11]

Regulátor plní funkci automatické nabíječky a ochrany akumulátoru. Dále regulátor zajišťuje ochranu proti přetížení, zkratu na výstupu akumulátoru, převrácení polarity, přebití akumulátoru, či hlubokému vybití. Je důležité zdůraznit, že hluboké vybití, nebo naopak přepětí akumulátorů způsobuje rapidní snižování jejich životnosti. Více o fungování akumulátorů v kapitole 2.7. [10] [11]

V posledních letech se technologický vývoj regulátoru posunul k vyšší dokonalosti. Díky tomuto faktu nabízí moderní regulátory řadu ovládacích prvků a rozšířené nastavení, která optimalizují tok energie v systému. Například umožňují řízený přesun energie do veřejné sítě. Díky této funkci lze elektřinu vytěženou z čistého zdroje využívat i v jiných provozech, a na jiném místě. Tedy za předpokladu, že přesun do veřejné sítě poskytovatel služeb povoluje. [12]

Na základě online přenosů dat z regulátorů do mobilních zařízení je možné sledovat aktuální stav výroby elektřiny. Při vysokém výkonu elektrárny lze na dálku spustit náročné spotřebiče, jako je například pračka nebo myčka. Tímto způsobem lze uspořit náklady na provoz. [12]

Dimenzování regulátoru závisí na několika aspektech, jako jsou typ akumulátorů, pracovní napětí v systému (12 V, 24 V, 36 V, 48 V), nároky na pracovní a teplotní podmínky, proudový výkon fotovoltaických panelů a celkový příkon elektrospotřebičů. Ale hlavním aspektem je maximální pracovní napětí. Pokud dojde k překročení této hodnoty, nastane nezvratné poškození regulátoru. Maximální pracovní napětí lze spočítat pomocí jednoduché rovnice 2.1. [10] [11] [13]

$$U = \frac{P}{I} [V] \quad (2.1)$$

U – Napětí akumulátoru [V]

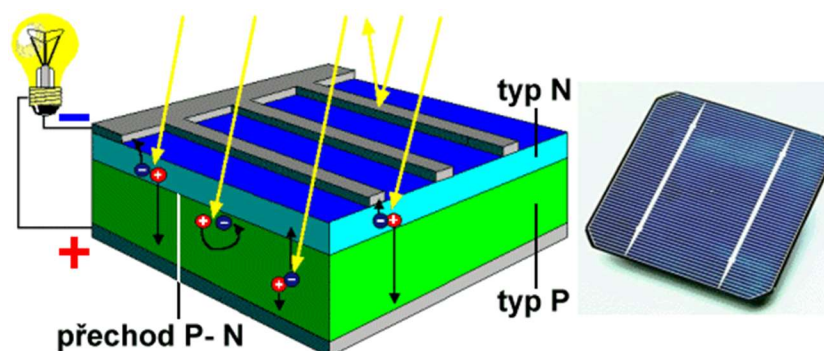
P – Výkon panelů [W]

I – Proud do baterie [A]

Vysokou účinnost a bezpečný provoz ostrovního systému zajistíme použitím vhodného regulátoru. Je možné vybírat ze dvou variant. První je regulátor pracující v režimu PWM (Pulse Width Modulation). Funguje na principu omezení napětí na danou hodnotu. To znamená, že regulátor propouští napětí do systému v maximální nastavené hodnotě. Vyšší napětí regulátor dále nepropouští. Lze tedy tvrdit, že čím větší je rozdíl mezi vstupujícím napětím a napětím nastaveným, tím se snižuje účinnost regulátoru. Výhoda regulátoru PWM je v pasivní spotřebě (blíží se nule) a nižší ceně. Druhý je regulátor pracující v režimu MPPT (Maximum Power Point Tracking). Tento regulátor zajistí maximalizaci využití získané energie. Pracuje na principu, který reguluje nadměrně vysoký proud na proud optimální pro potřebu využití. Nevýhodou MPPT regulátoru je vysoká pořizovací cena. Tento regulátor k provozu potřebuje zdroj energie. Výhodou je dosažení účinnosti regulátoru až 95 %. [11]

2.3 Fotovoltaická elektrárna

Jedním ze základních prvků fotovoltaické elektrárny je fotovoltaický článek, který je elementární stavební jednotkou pro samotný fotovoltaický panel. Na obrázku 2 je znázorněn fotovoltaický článek. Je to v podstatě polovodičová dioda. Typ P označen zelenou barvou znázorňuje křemíkovou destičku. Typ N označen tyrkysovou barvou je tenká polovodičová destička. Obě vrstvy jsou odděleny přechodem P-N. Při osvětlení polovodičové destičky vzniká fotoelektrický jev a začnou se z ní uvolňovat záporné elektrony. Následně na přechodu P-N vzniká elektrické napětí v důsledku rozdílné koncentrace volných elektronů a děr na obou stranách přechodu, což vytváří elektrické pole. Pokud na článek připojíme spotřebič, například jako na obrázku 2 žárovku, začne obvodem procházet elektrický proud. Tímto způsobem se mění energie dopadajícího světla na energii elektrickou. Pro dosažení vyššího napětí, nebo proudu se články zapojí sériově nebo paralelně. Výstupem z fotovoltaických panelů je stejnosměrný proud. [4] [9] [14] [15] [16] [17]



Obrázek 2 – Fotovoltaický článek [16]

Pro maximalizaci využití vytěžené energie je důležitým aspektem sklon panelu a světová strana. Panely lze umístit do prostor, kde budou vystaveny nejdéle a nejvíce slunečnímu záření, jako jsou například fasády a střechy domů, střechy garáží, nebo plochy pozemků. V minulosti bylo trendem umístit panely na jih, kde byla energie těžena po většinu dne. Ovšem aktuálním trendem se stalo směřování panelů na jihovýchod a jihozápad. Je tomu proto, aby byly co nejvíce vyplněny energeticky náročné denní doby: ráno, kdy se spotřebitel chystá do práce, do školy, či odjíždí z domu, a následně večer, kdy je opět odběr energie vyšší než v průběhu dne. V případě, že chceme využívat sluneční energii i pokud zrovna slunce nesvítí, je potřeba ji ukládat do zásoby. To lze provést několika způsoby. Nejčastěji se využívají lithiové elektrochemické akumulátory, nebo přeměna energie elektrické na energii tepelnou, a ta je ukládána v akumulační nádrži. Vhodné řešení nabízí tepelné čerpadlo. Pokud bude mít

čerpadlo možnost ohřevu i chlazení. Lze s ním řešit kromě vytápění i klimatizování. [1] [4] [9] [15] [18] [19]

Štítkový výkon udává maximální výkon panelu v laboratorních podmínkách při teplotě 25 °C a osvětlení na 1000 W/m². Instalovaný výkon se udává v jednotkách Wp (Watt-peak). Nejčastěji používané fotovoltaické panely jsou monokrystalické, polykrystalické a amorfni o rozměrech 1,7x1m s hmotností 20-25 kg a výkonem generujícím 430-470 Wp. Povrch panelu pokrývá odolné sklo vložené do hliníkového rámu, které má funkci ochrany fotovoltaického článku před poškozením. Zadní strana panelu je tvořena plastem, z něhož jsou vyvedeny dva vodiče zakončeny konektorem pro následné zapojení panelu do měniče (zapojení na obrázku 1). Zvýšený zájem o získávání čisté energie umožnil výrobcům investovat do vývoje nových typů panelů, které mohou být funkčně i designově rozdílné. Jedná se například o rozdílné atributy panelů, jako je provedení konstrukce (bezrámové, oboustranné (bifaciální), celoskleněné, průhledné, ohebné či lehčené panely). Nebo o širší škálu barevného provedení. Pokud je uživatel ochoten připlatit za solární panely, vyrábí se i jako střešní tašky. [8] [9] [15] [20]

Monokrystalické solární panely: Výroba probíhá řezáním jednotlivých plátů (waferů) z jednoho monolitického bloku křemíku. Jejich výroba je i přes velký technologický pokrok náročná a nákladná. Účinnost je až kolem 20 %, což je nejvíce ze všech tří uvedených typů. Monokrystalické panely jsou nejlepší volbou tam, kde je malá plocha pro položení a je potřeba vysoká výkonnost. Zároveň ale musí mít dobrou orientaci vůči slunci. [11] [19] [21]

Polykrystalické (multikrystalické) panely: Výroba probíhá také řezáním jednotlivých plátů, ale už z menších bloků. Struktura křemíku ve waferu tvoří větší množství menších krystalických celků. To umožní větší variabilitu při pohlcování záření. Lze tedy nastavit panely tak, aby světlo přicházelo z ostřejších úhlů. Používání polykrystalických panelů je vhodné pro oblasti větší zástavby, nebo pro získávání energie v průběhu celého dne. Na druhou stranu větší množství krystalů snižuje účinnost, a to na 15 až 17 %. [11] [19] [21]

Amorfni fotovoltaické panely: Způsob výroby je odlišný od předešlých dvou. Vyrábí se nanášením několika vrstev sloučenin na pevný povrch (sklo, kov, plast). Prvek se nazývá amorfni křemík a skládá se ze slitiny mědi-india-galia-selenu, nebo slitiny kadmium-telur. Účinnost je nízká, okolo 11 %. V porovnání s výše uvedenými mají panely podstatně menší hmotnost. Instalace je vhodná pro velké haly, kde se konstrukce nesmí příliš zatěžovat. [11] [21]

Z ekologického hlediska je výroba elektřiny za pomoci fotovoltaických panelů čistá. Ovšem výroba, doprava, montáž a likvidace fotovoltaické elektrárny už má dopad na životní prostředí. Velkou otázkou je tak životnost jednotlivých prvků, například u fotovoltaických článků se životnost odhaduje na 35 let, akumulátor na 15 let a střídače na 12 let. Výtěžnost také není po celou dobu 100 % a se stárnutím komponent se snižuje. Nicméně používání fotovoltaické elektrárny umožní nezávislost na centrálních rozvodech elektrické sítě a s tím spojené finanční ztráty na trhu s elektřinou. Tímto způsobem lze řešit i výpadky elektrické energie, úplné odpojení od sítě nebo nemožnosti zavedení elektrických sítí. [9] [15] [22]

2.4 Malá vodní elektrárna

Vodní elektrárny mají výhodu oproti fotovoltaickým elektrárnám ve způsobu získávání energie, a to tím, že nejsou v takové míře ovlivňovány krátkodobě měnícím se počasím. Další výhodou je rychlé najetí na nominální výkon. Tato možnost má výhodu například při výpadku dodávky elektřiny tzv. „blackoutu“. Získávání energie probíhá za přeměny potenciální energie vody (závislá na spádu nebo výškovém rozdílu hladin) na elektrickou energii. Nebo kinetické energie (rychlosti proudění) na elektrickou energii. Získávání elektřiny je naprosto bezemisní. [4] [23]

Přesto je nelze brát jako úplně šetrné k životnímu prostředí. Zejména při výstavbě elektrárny dochází k zásahu do vodního toku. Tím může docházet k poškozování lokální flory a fauny. Pokud jsou dodrženy určité kroky, negativní dopad na životní prostředí se tím minimalizuje. [24] [25]

Vodní elektrárny se dělí do kategorií dle normy „ČSN 73 0404 – Vodní elektrárny – klasifikace a značení elektráren“ a normy „ISO 11 806-1:2003 – Vodní turbíny Část 1: Klasifikace a charakteristika“:

Instalovaného výkonu:

- Domácí vodní elektrárny – 35 kW
- Vodní mikroelektrárny – 35-75 kW
- Vodní minielektrárny – 100-1000 kW
- Průmyslové vodní elektrárny 1–10 MW

Přeměny energie:

- Rovnotlaké: Neboli akční turbíny. Tlak vody v oběžném kole je konstantní, využívá se kinetická energie. [23]
- Přetlakové: Neboli reakční turbíny. Tlak vody se při průchodu oběžným kolem zmenšuje, využívá se kinetická a tlaková energie. [23]

Využití vodního toku:

- Průtočné: Nelze nebo velice omezeně regulovat průtok. Využívá přirozeného průtoku řeky.
- Akumulační: Využívá přehrazení vodního toku pro akumulování vody. Umožňuje regulaci provozu. Vhodné pro pokrytí potřeby špičkového a pološpičkového zatížení sítě.
- Přečerpávací: Využívá se při přebytku elektrické energie v síti. Voda je přečerpávána mezi nádržemi. Při čerpání nahoru se energie spotřebovává, a při gravitačním spádu se energie generuje. Slouží jako akumulace elektrické energie a využití je vhodné pro pokrytí při špičkovém zatížení sítě.
- Slapové (přílivové): Využívá kinetickou energii při přílivu a odlivu. Technologicky a výrobně velice náročné. V České republice pro tento typ není využití.

Typu vodních turbín:

- Francisova: Vhodná pro aplikace s výškovým rozdílem hladin 100-500 m. Využívá se pro velké průtoky a spády (spády vody), u nás například přečerpávací elektrárna Dlouhé stráně. Vhodné použití pro přečerpávací elektrárny. V reverzním chodu může fungovat jako čerpadlo. Reguluje se natáčením rozváděcích lopatek. [23]
- Kaplanova: Vhodná pro spády 1-100 m. Má velký regulační rozsah výkonu. Soustrojí umožňuje naklápění jak lopatek rozváděcích, tak lopatek oběžného kola. Oblast použití pro velké průtoky a malé spády. Podle průtoku vody turbínou je instalace se svislou nebo vodorovnou osou otáčení. [23]
- Peltonova: Využívá se pro menší průtoky, ale velké spády nad 30 m. Proudící voda ostříkuje obvod rotoru pomocí dýz. Podle výkonu jich může být umístěno až 6. Mají v sobě umístěné regulační jehly. V případě rychlé odstávky se použijí deflektory. Voda může ostříkovat až dvě lopatky naráz. Specifický je vysoký tlak přívodní vody. [23]

- Bánkiho: Využívá se pro malé a střední spády. Vhodné použít pro výškové aplikace 2-30 m. Konstrukce turbíny umožňuje dvojnásobné protékání vodním proudem. První kontakt s kolem je dostředivý přetlakový průtok a druhý odstředivě rovnotlaký. Jednoduchá konstrukce umožňuje realizace v amatérských podmínkách. Druhou zvláštností turbíny je, že délka turbíny může být větší, než je průměr kola. To umožňuje regulaci výkonu postupným omezováním nátoku na oběžné kolo. [24] [25]
- Archimédův šroub: Turbína je složena ze dvou až tří šroubovic ve sklonu 22 – 35° a je uložena ve dvou ložiskách. Jedno je ponořené u dna ve vodě. Druhé je u výstupní hřídele nad hladinou. Turbína je uložena v betonovém, nebo plastovém žlabu. Voda vtékající do žlabu uvádí šnekovici do pohybu. Točivý moment vystupující z hřídele je napojen na generátor, generující elektrickou energii. [24] [25] [26]

Výkon vodní elektrárny je dán rovnicí 2.2. V rovnici jsou hustota vody (ρ) a gravitační zrychlení (g). Účinnost η závisí na vybraném typu turbíny. Zbývají dvě veličiny: průtok (Q) a spád (H). Spád je rozdíl výšek mezi horní hladinou před nátokem do turbíny a odtokem z turbíny. Odtok může být podle potřeby nastaven sací troubou. To umožní větší využití toku. Poslední veličina je průtok, který vyjadřujeme rovnicí 2.3. Průtok závisí na průřezu koryta vodního toku a rychlosti proudění vody. [23]

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta [W] \quad (2.2)$$

P – Výkon vodní elektrárny [W]

ρ – Hustota vody [$\frac{kg}{m^3}$]

Q – Průtok [$\frac{m^3}{s}$]

H – Spád [m]

η – Účinnost [–]

2.5 Větrná elektrárna

Tento způsob získávání energie je založen na principu přeměny kinetické energie větru na rotační energii, která je následně transformována na energii elektrickou. Jedním z hlavních výhod větrné elektrárny je šetrnost k životnímu prostředí. Dále nezanechává žádnou uhlíkovou stopu, ani nenarušuje ozonovou vrstvu a nepřispívá k tvorbě skleníkových plynů. Jedná se

v podstatě o nevyčerpatelný zdroj energie. Negativní stránkou výroby energie je závislost elektrárny na povětrnostních podmínkách. Rychlost větru se musí pohybovat v určitém rozsahu tzn. při malé rychlosti není turbína v provozu, a naopak při vysokých rychlostech může dojít k poškození zařízení a dochází k odstávce. Konstrukce větrné turbíny bývá 30 m a vyšší. Tyto výšky jsou potřebné z důvodu větší rychlosti větru a menšího ovlivňování překážkami. Takové rozměry tedy znatelně zasahují do vizuální stránky krajinného celku. [3] [27] [28]

Větrné elektrárny můžeme dělit dle:

Druhu větrných turbín:

- Odporové turbíny (drag turbine): Dosahují nižší účinnosti. Dnes se moc nevyužívají, fungují na principu rozdílu tlaku před a za lopatkou. Toho lze dosáhnout dvěma způsoby. [29]
 - Tvarem lopatek – miskový tvar lopatek
 - Natočením lopatek – lopatka se natáčí vůči pozici rotoru a působení směru větru, tím zvyšuje nebo snižuje aerodynamický odpor listu
- Vztlakové turbíny (lift turbine): Dosahují vyšší účinnosti. V dnešní době nejrozšířenější provedení. Proudící vítr protéká kolem listu rotoru turbíny a tím vzniká vztlaková síla, která roztáčí rotor. [27] [29] [28]

Podle osy otáčení rotoru:

- Horizontální turbíny: Pomaloběžné otáčky rotoru se převádí převodovým ústrojím na požadovanou rychlost generátoru, pro dosažení maximální účinnosti musí lopatky směřovat proti směru proudění větru. Všechny komponenty jsou umístěny v těle elektrárny, proto jsou tyto turbíny náročnější na obsluhu. [29]
- Vertikální turbíny: Všechny obslužné komponenty lze umístit do paty elektrárny, proto jsou jednodušší pro obsluhu. Rozměry elektrárny jsou znatelně menší než u horizontálních turbín. V případě větrných farem lze elektrárny umístit do větší vzájemné blízkosti, protože se vzájemně neovlivňují. [29]

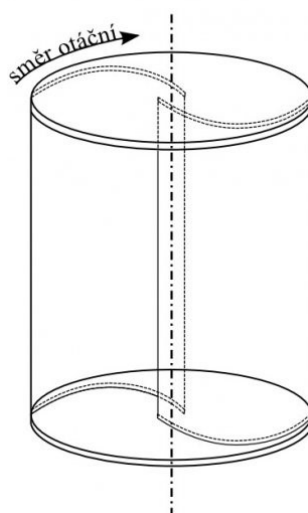
Podle instalovaného výkonu:

- Mikro elektrárny – výkon do 1 kW, napájí jednotlivá zařízení, nejsou napojeny na síť
- Malé elektrárny – výkon 1-15 kW, napájení pro rodinný dům, nejsou napojeny na síť
- Středně velké elektrárny – 15-100 kW, napájení pro více objektů, napojeny do sítě

- Velké elektrárny – 100 kW až jednotky MW, napájení vesnic a měst, napojení do sítě

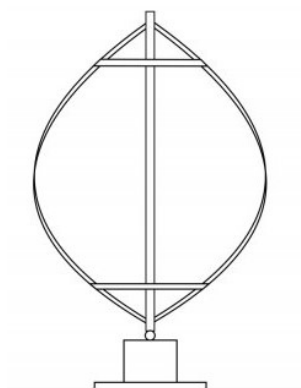
Základní konstrukční typy:

Savonius: Jedná se o typ se svislou osou rotace a odporovými lopatkami. Jedná se o jednoduchou konstrukci. Rotor je vyroben z jednoho kusu válce, který je rozříznut na dva kusy, připevněn ke svislé ose a tvoří tak pomyslné písmeno S sloužící jako hlavní část rotoru (viz obrázek 3). Provedení a design není nijak technicky složitý, proto tento model můžeme vidět i v rozvojových zemích. Sofistikovanější tvary rotoru zapříčiní zvýšení účinnosti elektrárny. Tento typ rotoru je ovšem náchylnější na vysoké rychlosti větru a vichřice. [27] [29]



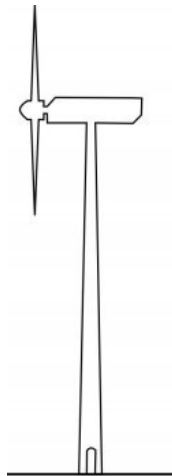
Obrázek 3 – Savoniův rotor [30]

- Darrieus: Jedná se také o typ se svislou osou rotace, který ale více využívá vztlakové síly. Lopatky jsou rozmístěny kolem osy otáčení, jsou tvarovány do štíhlých lišt a stočeny do spirály, viz obrázek 4. [27] [29]



Obrázek 4 – Darrieův rotor [30]

- Vztlakové jednolisté, dvoulisté, třílisté: Vztlaková turbína je vyobrazena na obrázku 5. Jedná se o turbínu vertikální. Listy jsou poháněny vztlakovou silou proudícího větru. Tento typ je nejvíce rozšířen pro svojí vysokou účinnost. Nevýhodou je vyšší ekonomická náročnost.



Obrázek 5 – Vztlaková turbína [30]

Výkon větrné elektrárny je dán rovnicí 2.3. Z rovnice je patrné, že největší vliv na výkon elektrárny má rychlost větru (v). Průměrné rychlosti větru na území České republiky jsou graficky znázorněny na obrázku 6. Červeně označená jsou místa s rychlostmi dosahující $10 \frac{m}{s}$ ve výšce 10 m nad zemí. Z mapy je patrné že největší možnost využití je v kraji Vysočina, kraji Jihomoravském, Moravskoslezském kraji a Ústeckém kraji. [28] [31]

$$P = \frac{1}{2} \cdot c_p \cdot S \cdot \rho \cdot v^3 [W] \quad (2.3)$$

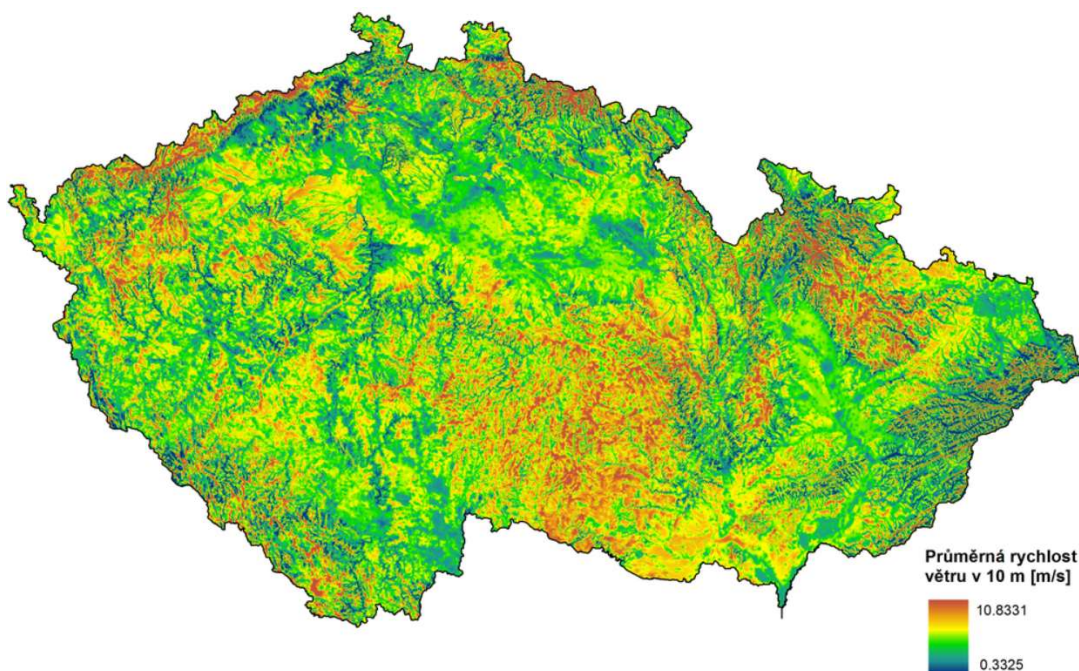
P – Výkon větrné elektrárny [W]

c_p – Součinitel výkonu [-]

S – Plocha opisovaná rotorem [m^2]

ρ – Hustota vzduchu [$\frac{kg}{m^3}$]

v – Rychlost větru [$\frac{m}{s}$]



Obrázek 6 – Mapa průměrné rychlosti větru ČR [31]

2.6 Solární kolektory

Solární kolektor je zařízení sloužící k přeměně slunečního záření na tepelnou energii, která je předávána teplosměnné látce proudící v kolektoru. Rozdělit je můžeme do několika typů.

Plochý nekrytý kolektor: Většinou plastová rohož s vysokými ztrátami. Tento kolektor je ovlivněn především rychlostí proudění větru. Nejčastěji se tento typ používá při sezónním provozu, obvykle pro ohřev bazénů. [32]

Plochý selektivní kolektor: Deskový kolektor s ochranným sklem na povrchu a kovovým absorberem uvnitř. Absorbér je potažen spektrálně selektivním povlakem a je vsazený v tepelné izolaci s rámem. Tento typ je velice rozšířen, vzhledem ke zlepšení izolačních vlastností, díky kterým se zvyšuje efektivita kolektoru. Používá se především pro solární ohřev vody a celoroční vytápění. [32]

Plochý vakuový kolektor: Provedení podobné jako plochý selektivní kolektor, který je ale rozšířen o vakuový prostor umožňující efektivnější izolační schopnosti v okolí kolektoru a tím snížení tepelných ztrát. Tento typ se využívá po celý rok k solárnímu ohřevu vody a vytápění, popřípadě v průmyslových aplikacích, kde jsou provozní teploty okolo 100 °C. [32]

Trubkový jednostěnný vakuový kolektor: Plochý spektrálně selektivní absorber ve vakuované skleněné trubce. Efektivním přenosem tepla z absorberu do teplosměnné kapaliny získáváme vysokou účinnost. Kolektor lze využívat po celý rok díky vysokému teplotnímu rozsahu. Pro jeho vysokou cenu a vysokou provozní teplotu se využívá v průmyslových aplikacích. [32]

Důležitou částí spojenou se solárními kolektory jsou akumulční nádrže, sloužící k akumulaci tepelné energie. Akumulční nádrže pomáhají při klimatických výkyvech zachovávat rovnoměrnost dodávky teplé vody. energii ukládáme nejčastěji do zásobníků vody, rozdělujeme je na zásobníky teplé vody (bojler) a zásobníky tepla (otopné vody). Lze ji také ukládat do stavebních konstrukcí, ze kterých následně pomocí tepelného čerpadla energii odčerpává. Optimální akumulátor má malé ztráty energie, nízkou cenu a malý objem. [32]

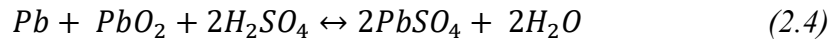
2.7 Ukládání energie

Cílem ukládání je získanou energii akumulovat a uskladnit do doby potřeby. Elektřinu zatím nelze uchovat přímo, lze ale využívat přeměnu elektřiny na jiné formy energie. Nejobvyklejší formou jsou tepelné, mechanické nebo chemické formy energie vhodné pro uložení. Neznámější a nejvíce používané technologie využívají elektrochemické akumulátory. Další druhy akumulace používají přečerpávací vodní elektrárny (u nás Dlouhé stráně), dále stlačený vzduch (CAES) a setrvačníky. Těchto metod se využívá pouze v průmyslovém rozsahu, kde je zapotřebí přeměny a uchovávání násobně větší energie než v domácích podmínkách. U těchto typů uložení je zapotřebí k transformaci např. turbíny, generátory, nádrže, setrvačnick atd. [33]

Pro ostrovní domy je optimální možností volba elektrických akumulátorů. Jejich cenu podstatně ovlivňuje počet nabíjecích cyklů, čím větší počet cyklů tím vyšší cena. Jeden nabíjecí cyklus začíná v momentě, kdy akumulátor dosáhne 100 % své nominální kapacity, následně kapacita klesne na 20 % a opětovně se nabije, a tím končí jeden nabíjecí cyklus. [34]

2.7.1 Olověné akumulátory

Jedná se o nejpoužívanější a nejrozšířenější typ akumulátorů. Akumulátor je složený z několika článků. Každý článek se skládá ze dvou elektrod na bázi olova a elektrolytu složeného z roztoku kyseliny sírové. V článku probíhá chemická reakce popsána rovnicí 2.4. [34]



Proces je vratný, oboustranná šipka uprostřed rozděluje rovnici na dvě části. Na levé straně rovnice je popsán stav vybitého akumulátoru, na pravé straně rovnice je stav nabitého akumulátoru.

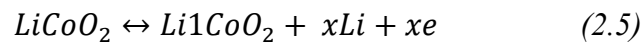
Nevýhody – zabírá velký prostor, vysoká hmotnost, nižší počet dobíjecích cyklů, samovybití, sulfatace, zkratky

Výhody – nízké pořizovací náklady, snadná dostupnost.

Pro účely ostrovního provozu je tento typ již zastaralý a postupně se dostává do pozadí. [34]

2.7.2 Lithiové akumulátory

Akumulátory na bázi lithia výborně kompenzují nedostatky olověných akumulátorů. Lithium je reaktivní kov. Katoda je vyrobena z oxidu kovů, kterými mohou být lithium-kobalt oxid ($LiCoO_2$), lithium-nikl dioxid ($LiNiO_2$), lithium-mangan oxid ($LiMgO_4$), lithium-železo-fosfátu ($LiFePO_4$). Elektrolytem je lithiová sůl v organických rozpouštědlech. Nejčastěji se používá lithium-hexafluorofosfát ($LiPF_6$) ve spojení s anodou, která je vyrobena z uhlíku. Elektrochemická reakce je popsána rovnicí 2.5. [35] [36]



V důsledku vysoké hustoty energie je možné do akumulátoru s menším objemem akumulovat větší množství energie. Problém s úplným vybitím akumulátoru je zde eliminován a dochází k minimálnímu poškození článku v porovnání s olověným článkem. Akumulátor lze také rychle vybit a nabít, což je žádoucí efekt v provozu ostrovní instalace.

Výhody – mají dlouhou životnost, pracují dobře s vysokými teplotními rozdíly, možnost více jak 12 000 cyklů nabití bez překročení hranice 80% kapacity akumulátoru. [37]

Nevýhody – sloučeniny lithia na vzduchu degradují, při porušení pláště vysoká reaktivita a možnost následného vzplanutí až výbuchu, po prvním nabití ztrácí postupně kapacitu. [36] [38]

3 Biomasa

Jedná se o nejpoužívanější a nejstarší zdroj energie jak u nás v České republice, tak na celém světě. Biomasa je ve svém významu chápána jako veškerá organická hmota, vyskytující se na planetě. Do množiny prvků, které jsou svou strukturou a vlastnostmi považovány za biomasu se počítá například dřevo, odpad z rostlinných výrobků, pevné odpady z průmyslu, sláma, biometan, bioplyn atd. [39]

Využití biomasy je udržitelný zdroj energie, s možností snadné a rychlé obnovy. Výhodou je využití odpadních látek vzniklých při zpracování některých průmyslových produktů, a tím zabránění neekonomického a neefektivního likvidování. [39]

V podmínkách, které nabízí česká příroda, je nejdostupnějším a nejsnadněji získatelným zdrojem energie dřevní biomasa. [39]

Pro výrobu biomasy se ve velké míře využívají dřevnaté rostliny, proto je třeba si uvědomit možné dopady na životní prostředí. Při jejich nadměrné těžbě může dojít k deforestaci (zničení, nebo úplné ztráty lesního porostu) a následnému zničení biotopů, narušení přirozeného životního prostředí zvířecí, nebo možnému zvýšení teploty klimatu, v extrémním případě k nedostatku obsahu kyslíku ve vzduchu. Proto se musí k těžbě a zpracování tohoto zdroje energie přistupovat zodpovědně a dosáhnout tak maximální rovnováhy mezi ekologickými a ekonomickými potřebami. [39]

3.1 Dřevní biomasa

Zdrojem dřevní biomasy jsou lesy a dřevinná biomasa získávána jako vedlejší produkt, tedy jako přebytek a odpad z dřevozpracujícího průmyslu. Takovým produktem je například štěpka, dřevní odpad nebo dřevinné piliny. Tento „odpad“ lze po jeho nezbytné úpravě používat pro výrobu elektřiny v kogeneračních jednotkách, nebo pro výrobu tepla ve spalovacích kotlích.

V kogeneračních jednotkách je kotel rozšířen o generátor pro výrobu páry. Ta následně roztáčí turbínu, která generuje elektrickou energii. Další možností užití biomasy je generování teplé vody. Tu lze používat jako otopnou, nebo jako užitkovou. Dřevní biomasa je dobrým ekonomickým zdrojem pro místní dřevozpracující průmysl a lesnictví. [17] [39]

Dřevní biomasu je ve většině případů třeba před jejím spalováním upravit a přeměnit na produkt, který má lepší spalovací vlastnosti. Tímto procesem je ve většině případů úprava metodou tzv. briketování, nebo peletování. Tyto úpravy jsou důležité nejen pro vytvoření co

nejlepších podmínek při spalování, ale také pro lepší možnost dávkování paliva do spalovací komory, či vytvoření snadnějších podmínek pro skladování a manipulaci. Kromě velikosti a tvaru je také důležitá vlhkost paliva. Lisování a tvarování se provádí za vysokých tlaků a maximální vlhkosti 15 %. Kdyby byla vlhkost větší než 15 %, docházelo by k samovolnému rozpadání výrobků. [39]

3.1.1 Peletování

Tento proces je tvořen třemi základními kroky. Nejprve je třeba zpracovat suroviny, jako jsou například již zmíněné piliny, dřevinný odpad, nebo také sláma. Na začátku celého procesu se suroviny ponoří do kapaliny. Tímto krokem se zvýší jejich vlhkost, ale zároveň změní struktura. Díky tomuto procesu je možné materiály snadněji rozmělnit na menší kousky. V druhém kroku procesu se homogenní směs protlačuje lisem za vysokého tlaku přes tvarovací formy. Tímto krokem peleta získá svůj tvar. Třetím krokem je sušení vytvořených pelet. Důležité je snížení jejich vlhkosti, a to minimálně pod 10 % celkového obsahu vody v každé z pelet. Poslední fází je balení výrobku dle potřeby koncového zákazníka a jeho následná distribuce. Využití pelet jako paliva je mezi lidmi oblíbeno především z důvodu možnosti nákupu standardizovaného balení a snadné manipulace. Popel z peletek je možné využít pro jeho vysoký obsah minerálů jako hnojivo pro květiny. Pelety jsou plně obnovitelným zdrojem. [39]

3.1.2 Briketování

Výroba a složení briket se oproti peletám liší. Brikety se nevyrábí z homogenního materiálu jako peletky, ale naopak ze směsi několika druhů biomasy. Směs surovin je stlačována do formy briket za užití vysokého tlaku a teploty. Brikety mají větší hustotu, a tím také větší výhřevnost, než pelety a dřevní štěpka. Díky tomuto faktu je užití briket nejvíce rozšířenou možností vytápění v kotlích, krbech a kamnech rodinných domů. Negativní stránkou využívání briket je větší energetická náročnost a složitější pracovní postupy při jejich výrobě. [39]

4 Zařízení využívající spalování biomasy

Pro spalování je klíčové zajistit optimální přísun atmosférického vzduchu a množství spalované látky. Spalovací prostor je konstruován tak, aby docházelo k co nejmenšímu úniku tepla přes teplosměnnou plochu do prostředí, u kterého není vytápění žádoucí, a tedy k co nejmenším ztrátám energie. Při malém přísunu vzduchu dochází ke špatnému stechiometrickému poměru, to způsobí nedokonalé spalování a nadměrné zanášení sazemi teplotosné plochy a kompletní spalinové cesty. Zanesení teplotosné plochy zapříčiní snížení účinnosti přestupu tepla do otopné soustavy. Z tohoto důvodu klesá účinnost spalování a zároveň se zvyšuje riziko vzplanutí sazí ve spalinových cestách. Naopak při velkém množství přísunu vzduchu do spalovacího prostoru dochází k nadměrnému hoření plamene a ztrátě energie přes obvodové teplosměnné plochy a ohřívání prostředí, u kterého není ohřev žádoucí. Maximálního využití energie z paliva je dosaženo při vyhoření veškerého paliva a při optimálním stechiometrickém poměru. [40]

Kotle: Zpravidla umístěn ve speciální místnosti označované jako „kotelna“, kde kromě samotného kotle bývá skladováno palivo, optimálně pro jednu topnou sezonu. Dělit kotle můžeme dle teplotosného média (teplovodní, teplovzdušné), způsobu spalování (prohřívací, zplyňovací), nároků na obsluhu (ruční obsluha, automatické) a materiálu kotle (ocelové, litinové).

Kamna: Jsou tvořena křbovou vložkou opláštěnou speciální ochrannou vrstvou. Plášť je tvořen prefabrikátem, který umožní snadnou a rychlou montáž. Kamna lze rozdělit do dvou skupin. První skupina umožňuje svojí konstrukcí akumulovat tepelnou energii. Opláštění je obvykle vyrobené z litiny, kameniva nebo keramiky, které mají vysokou tepelnou kapacitu. Do kamen se přikládá po malých dávkách několik hodin. Tímto způsobem se v plášti akumuluje velké množství tepla. Následně kamna umožňují rovnoměrné uvolňování tepla po delší dobu. Na obrázku 7 vlevo je křbová vložka s nenaakumulovaným teplem. Vpravo, schematicky znázorněna zářící vložka, jsou kamna připravená k pozvolnému uvolňování tepla.



Obrázek 7 – Akumulační krbová kamna [41]

Druhá skupina jsou kamna s teplovodním výměníkem zabudovaným uvnitř konstrukce. Na obrázku 8 je tento typ vyobrazen v řezu. Světle modře je znázorněný přívod vzduchu. Oranžová barva znázorňuje plamen a bílo-šedý je odtaž zplodin do komínu. Tmavě modrá značí ohřívanou vodu. Vodu lze využívat přímo k vytápění nebo k ohřevu akumulací nádrže. Teplovodní kamna jsou často instalována se sekundárním ohřevem teplé užitkové vody, nejčastěji s plynovým nebo elektrickým kotlem. Účinnost přenosu tepla do akumulací nádrže je mezi 60-70 % z celkového topného výkonu. Tento typ kamen má větší nároky na spalinovou cestu, protože mají nižší teplotu spalin než kamna akumulací, proto je důležité správně dimenzovat komín. Teplovodní kamna díky rozvodům umožňují rychlé a rovnoměrné ohřátí objektu. [42]



Obrázek 8 – Proudění v útrokách kamen [41]

5 Geotermální energie

Slovo „geotermální“ je odvozeno z řeckého „GEO“ a „THERME“, což v překladu znamená „země“ a „teplo“. Jedná se tedy o energii získávanou z tepelné energie Země. Na povrchu planety je průměrná teplota 15 °C a směrem do středu planety se tato teplota zvyšuje až na přibližných 5 000 °C. Nejprve je nutné provést studie a výzkumy, zda má lokalita dostatečný energetický potenciál a také zda vybudování elektrárny není příliš velkým negativním zásahem do environmentálních a sociálních sfér. Výraznou výhodou je budování elektráren v místech, ve kterých dochází k častým stykům litosférických desek, kde je zemská kůra nejtenčí. Mezi zdroje tohoto tepla se řadí geotermální proudy, gejzíry a prameny. V blízkosti těchto zdrojů je možné vybudovat geotermální elektrárny. U gejzírů vyúsťujících z povrchu planety lze využít energie páry a z té generovat elektrickou energii. Dalším způsobem těžení tepla mohou být teplovodní systémy, fungující na principu čerpání teplé vody z hlubinných vrtů. Následně se odebere teplo, které v sobě voda nese. Po odevzdání energie je voda vháněna zpět do hloubkového zásobníku. [43] [44] [45]

Využití geotermální energie má vysoký potenciál. Výhodou oproti většině obnovitelných zdrojů je spolehlivost dodávek energie a její stabilita, nízké náklady na údržbu elektrárny, nebo nízké emise skleníkových plynů. Geotermální zdroje se nachází po celém světě. V posledních letech se stala geotermální energie populární například v Německu, Itálii, nebo na Islandu. Využitím tohoto zdroje lze dosáhnout výrazného snížení nákladů na nákup energie. Výstavba je velice finančně nákladná, a proto jsou hloubkové geotermální zdroje vhodné spíše pro uživatele, kteří mají větší energetické požadavky. Mezi geotermální elektrárny patří například geotermální elektrárna se suchou párou (teplota 250 °C, tlak 3,5 MPa, účinnost 15 %), geotermální elektrárna s mokrou párou (účinnost 8-10 %), geotermální elektrárna s binárním cyklem (teplota 110-180 °C, účinnost 10-13 %). [43] [44] [45]

Využití výše uvedených elektráren je aplikováno spíše pro průmyslové využití. Pro rodinné domy a komerční stavby je možné využívat mělkou geotermální energii. Jedná se o bezemisní a obnovitelný zdroj energie. Pro menší aplikace je možné využít několik základních typů provedení: kolektory ve vodní ploše, geotermální energetické koše, energetické piloty, zemní kolektory a geotermální vrty. [45]

- Kolektory ve vodní ploše: Hlavním zdrojem energie těchto kolektorů je vodní nádrž, jezero nebo řeka. Kolektory v první fázi sbírají teplo-energii z pronikajícího světelného

záření vodní hladinou. V druhé fázi je kapalina procházející kolektory ohřívána. Tato teplotonosná látka přenáší energii do třetí fáze procesu, v níž teplotonosná látka předá energii do akumulární nádrže nebo otopného systému. Celý proces se opakuje. Tento systém je vhodný pro oblasti s dostatečnou vodní plochou a dostatečným slunečním zářením. [45] [46]

- Geotermální vrt: Vrt, který je veden pouze do hloubky několika desítek metrů, kde teplota okolního prostředí dosahuje 9-13 °C. K plnění funkce výměníku tepla je potřeba tepelné čerpadlo, které odebírá ze zemního masivu teplo a následně ho předává do otopné soustavy. Jednou z výhod systému je zpětná rekuperace, tj. možnost ukládání ochlazené vody do zemního masivu a v teplých dnech používat reverzní chod a tím klimatizovat. [45] [46]
- Geotermální energetické koše: Jsou vhodnou alternativou v místech, kde není dostatečný prostor pro realizaci dvou zmíněných dispozičně náročných řešení. Optimální použití je v blízkosti řeky nebo v místech vysoké hladiny spodní vody. Koše mají tvar obráceného kužele nebo válce, jsou zakopány do hloubky 3,5-4 metrů a nad nimi je přibližně 1,2-1,5 metrů široká vrstva zeminy. K procesu odebírání tepla dochází při slunečním záření, prosakováním spodní vody, nebo prosakováním povrchové vody. Pokud je třeba využít reverzního procesu, a to získání možnosti chlazení, je využíváno stejných zdrojů. Prostor nacházející se nad koši je po vybudování kolektoru zcela použitelný a nijak majitele neomezuje. Mohou se zde zasadit stromy, nebo pěstovat zahradní rostliny a plodiny. Při projektování systému vsakování vod je vhodné zahrnout přípravné práce pro instalaci geotermálních energetických košů. [45] [46]
- Zemní kolektor: Systém je levnější, ale méně účinnou variantou hloubkových vrtů. Hlavním zdrojem je slunce, podzemní voda a déšť. Instalace systému je poměrně jednoduchá, proto je často profesionální řešení nahrazeno domácí samovýrobou. Hlavní částí systému jsou polyethylenové trubky uložené v podloží. Náročnost a velikost stavby je určujícím faktorem dimenzování a délky potrubního systému. Rovnoměrnějšího a efektivnějšího odběru energie ze zemního podloží dosáhneme větším počtem rozvodů o menší dimenzi napojené do jedné sběrné nádrže, v níž jsou ovládací prvky (odvzdušňovače, uzavírací armatury atd.). V závislosti na nadmořské výšce a orientaci pozemku se trubky nachází v hloubce od 1,2 - 1,5 metru. Většina energie, kterou kolektor odebere, vychází z prostoru mezi potrubím a povrchem. Naopak z půdy pod kolektorem odebere jen zlomek celkově získané energie. Častou obavou ze zemních kolektorů bývá

energetické vyčerpání a namrzání rozvodného systému. Tyto obavy jsou při správném dimenzování soustavy zbytečné, protože v létě je zemní masiv slunečním zářením prohříván do hloubky několika metrů. Nabití lze také podpořit chlazením budovy v létě a přebytečné teplo odevzdávat do podloží. [45] [46]

6 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla jsou strojní zařízení využívající především druhý zákon termomechaniky: „*Teplota nemůže při styku dvou těles různých teplot samovolně přecházet z tělesa chladnějšího na těleso teplejší.*“ (Clausiova formulace) a zákon o zachování energie. Tato zařízení využívají teplo odebrané z vnějšího (okolního) prostředí a využívají ho k vytápění vnitřního prostředí. Můžeme také říct, že převádíme nízko-potenciální energii na vyšší teplotní úroveň. Funkce se dá přirovnat k systému, kterého využívá lednice, s tím rozdílem, že chceme dosáhnout opačného efektu. Teplonosná kapalina protéká v potrubním systému vně budovy v zemi odebírá tepelnou energii zemské půdy a je vedena do výparníku tepelného čerpadla uvnitř budovy. Výparník je první částí oběhového cyklu tepelného čerpadla. Ve výparníku je odebíráno teplo z teplonosné látky do chladiva vnitřního okruhu. Chladivo přijímá teplo z vody ohřáté pouze vnějším okruhem a odpařuje se díky nízkému bodu varu. Největší výhoda využití rozdílné látky pro vedení tepla ve vnitřním okruhu od vody spočívá v jejím nízkém bodu varu. Díky této schopnosti je látku nesenou ve vnějším okruhu možné ohřát pouze za využití teploty půdy a žádným způsobem vnitřní okruh nedohřívát. Odpařené chladivo nasává kompresor a jeho následným stlačením se zvedne tlak a tím i jeho teplota. Další hlavní částí je kondenzátor, v němž chladivo odevzdá své teplo do otopné soustavy vytápěného objektu. Kondenzát po odevzdání většiny tepelné energie opouští systém přes expanzní ventil zpět do výparníku. Expanzní ventil zajišťuje prudké snížení tlaku v chladivu, což způsobí úplné zkapalnění zbytku par v kondenzátu. Kondenzát poté proudí zpět do výparníku a celý proces se opakuje. [1] [45] [46]

Rozhodování, zda investor zvolí tepelné čerpadlo, nebo jiný tepelný zdroj závisí na koeficientu účinnosti. Jednoduše řečeno, čím vyšší koeficient účinnosti, tím méně energie se spotřebuje na vytápění. Účinnost je vyjádřena pomocí parametrů COP (coefficient of performance). Koeficient vyjadřuje poměr mezi energií vyrobenou a energií dodanou. Pro možné porovnání tepelných čerpadel od různých výrobců jsou standardizovány provozní parametry při konkrétních podmínkách. Tyto podmínky mají označení B0/35 a B0/55 dle normy EN 14511. Označení B0/35 udává dva parametry. „0“ znamená teplotu 0 °C. Je to teplota, která je dodávána na vstupu do čerpadla neboli teplo látky ze země. „35“ teplota, kterou použijeme do otopného systému. Tyto údaje jsou dány pro laboratorní podmínky a jsou pro všechny modely stejné. To umožňuje investorovi jejich vzájemné porovnávání v katalogu. [46]

Okruhy pro tepelná čerpadla není možné předdimenzovat. Respektive při předdimenzování se pouze prodraží instalační prvky. Krátkodobé předdimenzování okruhu může být dočasně i žádané pro případ možného rozšíření obytné jednotky v budoucnosti. [46]

7 Rekuperace z šedé vody

Pro rekuperaci se používá šedá voda tzn. voda, která je vypouštěná z vany, sprchy, myčky, sušičky a pračky. Tuto instalaci lze využívat pouze pro předehřev studené vody. Hlavní výhoda této technologie je získání tepla z ohřáté vody, za kterou investor již jednou zaplatil. S instalací tohoto zařízení je důležité počítat již v projektové fázi, kdy je třeba kanalizaci před výměníkem rozdělit na dva na sobě nezávislé okruhy – na šedou vodu a splaškovou vodu. Z tohoto faktu vyplývá, že instalace se provádí spíše pro novostavby než pro již stávající stavby. V případě instalace pro již vystavěné stavby je důležité zhodnocení, zda se volba rekuperace šedé vody vyplatí. Instalace je spjata s většími stavebními úpravami a je finančně, materiálově a projekčně náročná. [47] [48]

System funguje na velmi jednoduchých principech a nepotřebuje žádné energeticky náročné prvky. Funkčnost systému je založena na základních fyzikálních zákonech. System je absolutně nehlučný. Prvek je tvořen z vnějšího pláště, který je tvořen z polypropylenu. Uvnitř je vinutý vlnovec z nerezové oceli. Šedá voda je v prostoru mezi polypropylenovým pláštěm a nerezovým vlnovcem, ve kterém proudí čistá (pitná) voda z řádu. Takto předehřátá voda proudí dále do domu k zařízení, jako jsou například bojler, pračka apod. Standardně přiváděná voda má teplotu kolem 10 °C. Užitím výměníku lze dosáhnout ohřevu vody o 19-22 °C, tedy předehřívát na teplotu 29-32 °C. [47] [48]

8 Energetická náročnost staveb

Nejprve je důležité stanovit tepelné ztráty stavby. Tepelné ztráty jsou úniky tepla z interiéru do exteriéru, které je nutné nahradit novou dodávkou tepla. V rodinných domech jsou nadměrné úniky tepla důsledkem špatné nebo poddimenzované izolace, tj. skrze stěny, podlahy a stropy. Velké ztráty tepla se často vyskytují i v místech oken a dveří a jsou způsobené špatným těsněním nebo užitím zastaralých materiálů. Problematika zateplení je ve většině případů nejdůležitějším aspektem v teplotních ztrátách, protože má velký vliv na potřebu dodávaného tepla neboli jeho výrobu či nákup. Nejeftivnějším řešením je domy zateplovat novými materiály s nízkým prostupem tepla a zároveň vyměnit stará okna a dveře za nové. V případě výstavby nových domů se toto doporučení stává nařízením. Například, pokud by projekt stavby obsahoval okna, která nejsou alespoň třívrstvá, může být stavba zamítnuta z důvodu nedodržení stavebních norem. V případě kvalitní izolace budovy je důležité zajistit také větrání, a to především z hygienických důvodů. Špatná cirkulace vzduchu vede k výskytu plísní. K tomu dochází především u starších staveb. V projekci novostaveb je snaha o budování energeticky nenáročného domu. To znamená předejít v co největší možné míře tepelným únikům. U staveb nízkoenergetických, nebo staveb pasivních je nutné zajistit cirkulaci vzduchu pomocí nuceného větrání např. rekuperací. U staveb využívajících systém rekuperace je přísně hlídáno, aby stavby splňovaly přísné požadavky. Českými normami a vyhláškami je stanoveno základní rozčlenění staveb dle energetické náročnosti. Zjednodušenou rovnicí 8.1 lze určit orientační energetické ztráty budovy. [49]

$$Q_C = S_n \cdot q \quad (8.1)$$

Q_C – Celkové tepelné ztráty [W]

S_n – Zastavěná plocha [m^2]

q – Spotřeba tepla [$\frac{W}{m^2}$]

Rozčlenění domů dle energetické náročnosti:

- Standardní domy – spotřeba tepla 120-150 kWh/ m^2 ročně
- Nízkoenergetické – spotřeba tepla do 50 kWh/ m^2 ročně
- Pasivní domy – spotřeba tepla do 15 kWh/ m^2 ročně
- Nulové domy – spotřeba tepla do 5 kWh/ m^2 ročně

Stavby s větší energetickou náročností, než uvádějí normy pro stavbu „Standardního domu“ již v dnešní době není možné postavit.

Rozdělení domů dle specifické spotřeby tepla q (W/m^2)

- Standardní domy – 50 [W/m^2]
- Nízkoenergetické – 35-40 [W/m^2]
- Pasivní domy – <15 [W/m^2]

9 Praktická část

V praktické části této diplomové práce bude vybrána a aplikována vhodná kombinace zdrojů energie pro objekt v jižních Čechách, nedaleko města Tábor. Cílem je návrh vhodných obnovitelných zdrojů pro obytný dům fungující v systému ostrovního provozu pro rodinu se 4 až 6 členy. Tedy dva dospělí lidé a 2 až 4 děti. V navrhovaném projektu se bude jednat o novostavbu se zastavěnou plochou 233 m². Stavba, i přes zvýšené náklady na výstavbu v porovnání se standardním domem, je uvažována jako pasivní. Na základě podmínek lokality bylo vyloučeno několik typů obnovitelných zdrojů, především z geografických důvodů. Například v blízkosti stavby není žádný vodní tok, a proto vodní elektrárna není vhodná. V úvahu nepřipadá ani elektrárna větrná z důvodu nevhodných povětrnostních podmínek.

Pro tuto studii byla zvolena kombinace spalování biomasy krbových kamnech s možností akumulace teplé vody a pro zásobování elektřinou fotovoltaický systém se střešními panely a lithiovými akumulátory.

V průběhu roku je spotřeba energie závislá na počasí. Topné období je omezeno od 31. září do 31. května. V těchto 8 měsících je předpokládáno vytápění a ohřev vody spalováním biomasy v krbu a získávání elektřiny za pomoci fotovoltaické elektrárny. Ve zbývajících 4 měsících (letním období) bude zajišťovat vytápění, ohřev vody i elektřinu pouze fotovoltaická elektrárna.

9.1 Výpočet spotřeby tepla pro jednu topnou sezónu

Pro výpočty stanovující spotřebu energie a tepla se musí určit lokalita stavby. Vstupní hodnoty pro lokaci okres Tábor v tabulce 1. Tato data jsou výchozí pro další výpočty a jsou dále užita pro návrhy technického řešení. Jedná se o hodnoty, které lze najít v normě „ČSN 38 3350 Zásobování teplem“ a normě „ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění“. [49] [50] [51]

Tabulka 1 – Normované hodnoty pro lokalitu Tábor [49] [51]

Lokalita	Nadmořská výška	Venkovní výpočtová teplota	Otopné období pro					
			t _{em} =12 °C		t _{em} =13 °C		t _{em} =15 °C	
	h	t _e	t _{es}	d	t _{es}	d	t _{es}	d
	[m]	[°C]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]
Tábor	480	-15	3	236	3,5	250	5	289

Celková spotřeba tepla pro jednu sezónu je dána součtem tepla potřebného pro vytápění obytné jednotky a tepla potřebného pro ohřev teplé vody. Teplo potřebné na pokrytí tepelných ztrát je vypočteno pomocí rovnice 9.1. [50] [49] [52]

$$Q_C = S_n \cdot q \quad (9.1)$$

$$Q_C = 233.15$$

$$Q_C = 3495 \text{ W} \approx 3,5 \text{ kW}$$

Q_C – Celkové tepelné ztráty [W]

S_n – Zastavěná plocha [m^2]

q – Spotřeba tepla [$\frac{W}{m^2}$]

V rovnicích 9.2 a 9.3 jsou zohledněny opravné součinitele ovlivňující vytápění objektu. [49] [50] [52]

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d \quad (9.2)$$

$$\varepsilon = 0,8 \cdot 0,95 \cdot 1$$

$$\varepsilon = 0,76 [-]$$

e_i – Součinitel nesoučasnost tepelné ztráty větráním [-]

e_t – Součinitel snížení teploty během dne nebo noci [-]

e_d – Součinitel využívání budovy v průběhu týdne [-]

ε – Opravný součinitel [-]

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad (9.3)$$

$$D = 250 \cdot (21 - 3,5)$$

$$D = 4375 [\text{den} \cdot \text{K}]$$

d – Délka topného období [den]

t_{is} – Teplota v interiéru [$^{\circ}C$]

t_{es} – Výpočtová průměrná exteriérová teplota [$^{\circ}C$]

D – Vytápěcí denostupně [$den \cdot K$]

Vzorce 9.4 stanovuje potřebu tepla pro jednu otopnou sezónu.

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \quad (9.4)$$

$$Q_{VYT,r} = \frac{0,76}{0,95 \cdot 0,98} \cdot \frac{24 \cdot 3,5 \cdot 4375}{(21 - (-15))}$$

$$Q_{VYT,r} = 8333,3 \left[\frac{kWh}{rok} \right] = 8,33 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

η_o – Účinnost obsluhy $\left[\frac{kWh}{rok} \right]$

η_r – Účinnost rozvodu vytápění $\left[\frac{kWh}{rok} \right]$

t_e – Exteriérová výpočtová teplota $\left[\frac{kWh}{rok} \right]$

$Q_{VYT,r}$ – Celkové roční teplo pro vytápění $\left[\frac{kWh}{rok} \right]$

Rovnice 9.5 stanovuje potřebné teplo pro ohřev užitkové vody pro domácnost na jeden den. [49] [50] [52]

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot c_v \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1) \quad (9.5)$$

$$Q_{TUV,d} = (1 + 0,5) \cdot 1,163 \cdot 0,225 \cdot (55 - 10)$$

$$Q_{TUV,d} = 17,66 [kWh]$$

z – Koeficient energetických ztrát [-]

c_v – Měrná tepelná kapacita vody $\left[\frac{W}{kg \cdot K} \right]$

V_{2p} – Spotřeba vody teplé užitkové vody $\left[\frac{m^3}{den} \right]$

t_2 – Teplota teplé užitkové vody [$^{\circ}C$]

t_1 – Teplota studené vstupní užitkové vody [$^{\circ}\text{C}$]

$Q_{TUV,d}$ – Denní teplo pro ohřev teplé užitkové vody $\left[\frac{\text{Wh}}{\text{rok}}\right]$

Výpočet roční spotřeby tepla pro ohřev teplé užitkové vody je dán rovnicí 9.6. [49] [50]
[52]

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot N + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{(t_2 - t_{svl})}{(t_2 - t_{svz})} \cdot (N - d) \quad (9.6)$$

$$Q_{TUV,r} = 17,66 \cdot 365 + 0,8 \cdot 17,66 \cdot \frac{(55 - 15)}{(55 - 5)} \cdot (365 - 250)$$

$$Q_{TUV,r} = 5714 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{rok}}\right] = 5,71 \left[\frac{\text{MWh}}{\text{rok}}\right]$$

N – Počet pracovních dní soustavy [dny]

t_{svl} – Teplota studené vody v létě [$^{\circ}\text{C}$]

t_{svz} – Teplota studené vody v zimě [$^{\circ}\text{C}$]

$Q_{TUV,r}$ – Celkové roční teplo pro ohřev teplé užitkové vody $\left[\frac{\text{Wh}}{\text{rok}}\right]$

Celková roční spotřeba pro jeden kalendářní rok je dána rovnicí 9.7. Výsledky těchto rovnic jsou srovnány v přehledné tabulce v příloze 1. [49] [50] [52]

$$Q_r = Q_{TUV,r} + Q_{VYT,r} \quad (9.7)$$

$$Q_r = 5,71 + 8,33$$

$$Q_r = 14,05 \left[\frac{\text{MWh}}{\text{rok}}\right]$$

Q_r – Celkové roční spotřeba tepla $\left[\frac{\text{Wh}}{\text{rok}}\right]$

9.2 Výpočet spotřeby elektrické energie

Rovnice 9.8 vypočítá denní výkon ($P_{den.}$). Tento výpočet je nutné opakovat pro každou položku samostatně.

$$P_{den.} = \frac{P_{spot.} \cdot t_{prov.}}{1000} [\text{kWh}] \quad (9.8)$$

$P_{spot.}$ – Výkon spotřebiče [W]

$t_{prov.}$ – Denní čas provozu [hod]

$P_{den.}$ – Denní výkon spotřebiče [Wh]

V tabulce 2 jsou podrobně rozepsány spotřebiče v domácnosti, jejich výkon ($P_{spot.}$) a doba provozu ($t_{prov.}$). V posledním sloupci jsou jednotlivé výsledky rovnice 9.8. Tyto dílčí výsledky jsou následně sečteny do celkové spotřeby domácnosti ($P_{dom.}$).

Tabulka 2 – Spotřebiče v domácnosti [53]

Druh spotřebiče	Výkon spotřebiče $P_{spot.}$	Čas provozu $t_{prov.}$	Denní výkon $P_{den.}$
	[W]	[hod]	[kWh]
Kombinovaná chladnička s mrazničkou A+	100	8	0,8
Pračka	425	3	1,275
Myčka na nádobí	450	3	1,35
Televize	80	6	0,48
Mikrovltná trouba	1100	0,5	0,55
Rychlovarná konvice	1200	0,5	0,6
Žehlička	650	0,2	0,13
Sušička prádla	350	4	1,4
Notebook	50	10	0,5
Router	7	24	0,168
Nabíječka na mobil	50	1	0,05
Digestoř	50	3	0,15
Indukční deska	1800	2	3,6
Osvětlení	80	5	0,4
Vodárna	550	1	0,55
Čistírna odpadních vod	80	4	0,32
Vysavač	900	1	0,9
Vlastní spotřeba elektrárny	25	24	0,6
Horkovzdušná trouba	1200	1	1,2
Spotřeba domácnosti $P_{dom.}$			15,023
Celková roční spotřeba [kWh/rok]			5483

V rovnici 9.9 se vypočítá procentuální zatížení spotřebičem ($Z_{spot.}$) z denního výkonu ($P_{den.}$). Následně pomocí rovnice 9.11 je určeno, kolik procent z daného spotřebiče funguje jednu hodinu.

$$Z_{spot.} = \frac{P_{den.}}{P_{dom.}} * 100 [\%] \quad (9.9)$$

$P_{den.}$ – Denní výkon spotřebiče [Wh]

$P_{dom.}$ – Spotřeba elektřiny v domácnosti [W]

$Z_{spot.}$ – Procentuální zatížení spotřebičem [%]

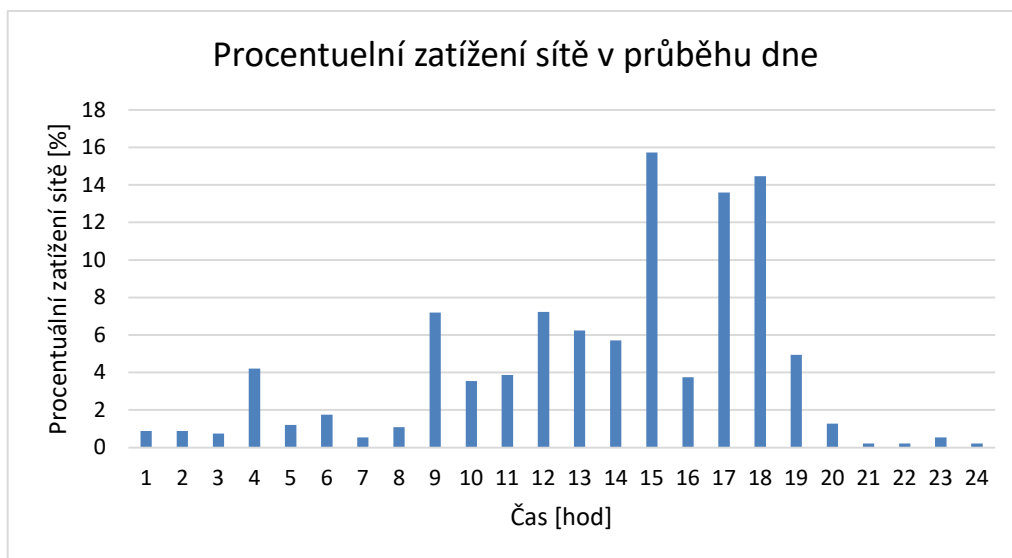
V rovnici 9.10 všechny spotřebiče dělíme časem provozu ($t_{prov.}$). Minimálně ovšem jednou hodinou a maximálně čtyřadvaceti hodinami.

$$Z_{proc.} = \frac{Z_{spot.}}{t_{prov.}} \left[\frac{\%}{h} \right] \quad (9.10)$$

$t_{prov.}$ – Čas provozu spotřebiče [hod]

$Z_{proc.}$ – Procentuální zatížení spotřebičem za hodinu [%]

Definované zatížení sítě spotřebiči je patrné ve sloupcovém grafu 1. Graf 1 byl sestaven za použití rovnic 9.9 a 9.10 a znázorňuje procentuální zatížení sítě v průběhu dne. V posledním kroku se procenta zatížení spotřebiče ($Z_{proc.}$) rozdělí do jednotlivých denních hodin. Následně sečteme hodnoty každého spotřebiče, který je v danou hodinu v provozu. Například může běžet současně pračka, televize, router a rychlovarná konvice. Na svislé ose grafu 1 jsou procenta zatížení sítě v danou hodinu. Na vodorovné ose jsou vyobrazeny denní hodiny od jedné hodiny ráno do půlnoci. Tento graf zpřesnění výpočty nahráním těchto dat do programu PVGIS (kapitola 9.4).



Graf 1 – Rozložení zatížení sítě

9.3 Výpočet spotřeby biomasy

V období otopné sezóny, kdy dochází ke snížení intenzity sluneční energie pro chod fotovoltaické elektrárny, vyplníme nedostatek tepelné energie spalováním biomasy. Výpočty na potřebu palivového dříví obsahují rovnice 9.12, 9.13, 9.14, 9.15, 9.16 a hodnoty jsou přehledně vypsány v tabulce 3.

Pomocí rovnice 9.12 se určí výhřevnost dřeva. Ta se liší dle vlhkosti. Zde počítáme s vlhkostí 20 %. Hodnota $H_{dřeva,S} = 18\,500 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ je odvozena z grafu v příloze 2. Nebo jí lze získat z odborných webů (např. TZB-info [54]).

$$H = \frac{H_{dřeva,S} - 30 \cdot w}{100 + w} \cdot 100 \quad (9.11)$$

$$H = \frac{18500 - 30 \cdot 20}{100 + 20} \cdot 100$$

$$H = 14917 \left[\frac{kJ}{kg} \right] = 14,917 \left[\frac{MJ}{kg} \right] = 0,014917 \left[\frac{GJ}{kg} \right]$$

$H_{dřeva,S}$ – Výhřevnost suchého dřeva $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

w – Vlhkost dřeva [%]

H – Výhřevnost palivového dřeva [%]

Rovnice 9.13 vypočítá jaké teplo je potřeba pro ohřev teplé užitkové vody v letním období.

$$Q_{TUV,l\acute{e}to} = Q_{TUV,d} \cdot N_{den,l\acute{e}to} \quad (9.12)$$

$$Q_{TUV,l\acute{e}to} = 17,66 \cdot 115$$

$$Q_{TUV,l\acute{e}to} = 2030,9 \left[\frac{kWh}{rok} \right] = 2,03 \left[\frac{MWh}{rok} \right]$$

$N_{den,l\acute{e}to}$ – Počet dnů mimo topnou sezónu [den]

$Q_{TUV,d}$ – Denní teplo pro ohřev teplé užitkové vody $\left[\frac{Wh}{den} \right]$

$Q_{TUV,l\acute{e}to}$ – Teplo pro teplou užitkovou vodu mimo topnou sezónu $\left[\frac{Wh}{rok} \right]$

Rovnice 9.13 vyjadřuje potřebné teplo pro otopnou sezónu včetně tepla potřebného pro ohřev teplé užitkové vody.

$$Q_{top} = Q_R - Q_{TUV,l\acute{e}to} \quad (9.13)$$

$$Q_{top} = 14,05 - 2,03$$

$$Q_{top} = 12,02 \left[\frac{MWh}{rok} \right] \approx 12,02 \cdot 3,6 = 43,26 \left[\frac{GJ}{rok} \right]$$

Q_R – Celkové roční spotřeba tepla $\left[\frac{Wh}{rok} \right]$

Q_{top} – Teplo na topnou sezónu pro vytápění a teplou užitkovou vodu $\left[\frac{Wh}{rok} \right]$

Rovnice 9.15 a 9.16 vypočítá potřebnou hmotnost a objem palivového dřeva.

$$m_{d\acute{r}eva} = \frac{Q_{top}}{H \cdot \eta_0} \quad (9.14)$$

$$m_{d\acute{r}eva} = \frac{43,26}{0,014917 \cdot 0,98}$$

$$m_{d\acute{r}eva} = 2900 \left[\frac{kg}{rok} \right]$$

η_0 – Účinnost otopného systému [-]

$m_{dřeva}$ – Hmotnost palivového dřeva na jednu topnou sezónu $\left[\frac{kg}{rok}\right]$

$$V_{dřeva} = \frac{\rho_{dřeva,1}}{m_{dřeva}} \quad (9.15)$$

$$V_{dřeva} = \frac{531}{2959,42}$$

$$V_{dřeva} = 5,46 [m^3]$$

$\rho_{dřeva,1}$ – Hustota rovnaného dřeva $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$V_{dřeva}$ – Objem dřeva pro topnou sezónu $[m^3]$

V tabulce 3 jsou přehledně vypsány výsledky všech předešlých rovnic, které jsou pro výpočet spotřeby dřeva potřebné.

Tabulka 3 – Potřeba dřeva pro vytápění

Veličina	Jednotka	Hodnota	Definice
$H_{dřeva,S}$	[kJ/kg]	18500	<i>Výhřevnost teoreticky suchého dřeva</i>
w	[%]	20	<i>Vlhkost dřeva</i>
H	[MJ/kg]	14,917	<i>Výhřevnost palivového dřeva s 20 % vlhkostí,</i>
H	[kWh/kg]	4,144	<i>1 kWh/kg = 3,6 MJ/kg</i>
Q_r	[MWh/rok]	14,05	<i>Celková roční spotřeba energie na ohřev vody a vytápění</i>
	[GJ/rok]	50,57	
$Q_{TUV,d}$	[kWh]	17,66	<i>Potřebné teplo pro ohřev vody na den</i>
$N_{den,léto}$	[den]	115,00	<i>Počet dnů mimo topnou sezóna</i>
$Q_{TUV,léto}$	[MWh/rok]	2,03	<i>Potřeba tepla pro ohřev vody mimo topnou sezónu</i>
Q_{top}	[MWh/rok]	12,02	<i>Potřeba tepla pro topnou sezónu na ohřev vody a vytápění</i>
	[GJ/rok]	43,26	
$m_{dřeva}$	[kg/rok]	2900	<i>Potřebná hmotnost dřeva</i>
$\rho_{dřeva,1}$	[kg/m ³]	531	<i>prm, rm = 1m³ rovnaných polen, obsahuje 60-75 % dřeva (prostorový metr)</i>
$V_{dřeva}$	[m ³]	5,46	<i>objem dřeva</i>

V rovnici 9.16 jsou celkové náklady na kupované dřevo, kterou nejvíce ovlivňuje cena nákupu.

$$N_{KD} = N_{dřeva1} \cdot V_{dřeva} \quad (9.16)$$

$$N_{KD} = 2100 \cdot 5,46$$

$$N_{KD} = 11\,470 \text{ [Kč]}$$

$N_{dřeva1}$ – Náklady na kupované dřevo $\left[\frac{\text{Kč}}{\text{m}^3}\right]$

N_{KD} – Celkové náklady na kupované dřevo [Kč]

Celkové náklady na práci se dřevem je dán rovnicí 9.17. Zde se počítá s dobou, která je potřeba na uskladnění dřeva.

$$N_{os} = t_{skl} \cdot N_{os.pr.} \quad (9.17)$$

$$N_{os} = 10 \cdot 150$$

$$N_{os} = 1500 \text{ [Kč]}$$

$N_{os.pr.}$ – Náklady hodinové sazby člověka [Kč]

$t_{skl.}$ – Čas skládání dřeva [hod]

N_{os} – Celkové náklady na práci s nakupovaným dřevem [Kč]

Náklady na dopravu jsou dány rovnicí 9.18. Ta je ovlivněna velikostí přepravní soupravy, vzdáleností od místa dodání a cenou pohonných hmot.

$$N_{dop.cel.1} = \frac{V_{dřeva}}{V_{vozu}} \cdot s_{Vzd.} \cdot N_{dop.} \quad (9.18)$$

$$N_{dop.cel.1} = \frac{5,46}{8} \cdot 36 \cdot 100$$

$$N_{dop.cel.1} = 3600 \text{ [Kč]}$$

$s_{Vzd.}$ – Vzdálenost dopravy [km]

V_{vozu} – Objem přepravního prostoru [m^3]

$N_{dop.}$ – Náklady za dopravu $\left[\frac{\text{Kč}}{\text{km}}\right]$

$N_{dop.cel.1}$ – Celkové náklady za dopravu dřeva [Kč]

Výše vypočtené hodnoty se promítnou do celkových nákladů za nakoupené palivové dřevo. Suma těchto položek je dána rovnicí 9.19.

$$N_{cel.1} = N_{os} + N_{KD} + N_{dop.cel.1} \quad (9.19)$$

$$N_{cel.1} = 1500 + 11704 + 3600$$

$$N_{cel.1} = 16570 \text{ [Kč]}$$

$N_{cel.1}$ – Celkové náklady za nakupované dřevo [Kč]

Z důvodu možnosti snížení nákladů jsou uvedeny dvě tabulky. Tabulka 4 uvádí cenu již zpracovaného dřeva. Tedy s minimální časovou zátěží.

Tabulka 4 – Náklady na zakoupené dřevo

Náklady kupovaného dřeva			
Veličina	Jednotka	Hodnota	Definice
$N_{dřeva1}$	[Kč/m ³]	2100	Cena dřeva za 1 prm, jehličnatého dřeva 1900-2200Kč
N_{KD}	[Kč]	11470	Náklady koupeného dřeva
$N_{dop.}$	[Kč/km]	36	Cena přepravy cca 36 Kč/km, přeprava po 8 prm nebo 5 prm
$s_{Vzd.}$	[m]	100	Vzdálenost přepravy tam i zpět
$N_{os.pr.}$	[Kč/hod]	150	Průměrná cena práce člověka
t_{skl}	[hod]	10	Čas práce skládání dřeva
$N_{os.}$	[Kč]	1500	Celková cena práce
$N_{dop,cel,1}$	[Kč]	3600	Cena za dopravu
$N_{cel,1}$	[Kč/Rok]	16570	Náklady na kupované dřevo

Čas na zpracování vlastními silami je dán rovnicí 9.20. Zde je použit odhad výkonnosti dělníka. Tedy, že jeden m³ zpracovaného dřeva zabere dobu cca 6,6 hodiny. Čas je počítán od pokácení stromu až po finální složení do hranice.

$$t_{zpra.} = V_{dřeva} \cdot t_{m^3} \quad (9.20)$$

$$t_{zpra.} = 5,46 \cdot 6,6$$

$$t_{zpra.} = 36 \text{ [hod]}$$

$t_{zprac.}$ – Čas zpracování dřeva vlastními silami [hod]

t_{m^3} – Čas na zpracování jednoho m³ dřeva [hod]

Rovnice 9.21 udává celkové náklady na práci se dřevem v závislosti na hodinové sazbě a času zpracování.

$$N_{os.2} = t_{zpra.} \cdot N_{os.pr.} \quad (9.21)$$

$$N_{os.2} = 36.150$$

$$N_{os.2} = 5407 \text{ [Kč]}$$

$N_{os.pr.}$ – Náklady hodinové sazby člověka [Kč]

$N_{os.2}$ – Celkové náklady na práci se dřevem [Kč]

Nedílnou součástí pro urychlení práce jsou stroje rovnice 9.22 udává náklady na tyto položky. Jednotlivé položky jsou vyděleny roky používání, kromě pohonných hmot.

$$N_{stroje} = \frac{pila}{15} + \frac{cirkulárka}{20} + \frac{\text{štípačka}}{20} + N_{poh} \quad (9.22)$$

$$N_{stroje} = \frac{19235}{15} + \frac{16999}{20} + \frac{14090}{20} + 1500$$

$$N_{stroje} = 4337 \text{ [Kč]}$$

Pila – Náklady motorové pily [Kč]

Cirkulárka – Náklady elektrické pily na dělení polen [Kč]

Štípačka – Náklady elektrického štípacího stroje [Kč]

$N_{poh.}$ – Náklady na pohonné hmoty [Kč]

N_{stroje} – Náklady na zpracovatelské stroje [Kč]

Celkové náklady na zpracované dřevo je dána rovnicí 9.23. Všechny náklady jsou uvedeny výše, kromě nákladu na dřevo těžené ($N_{D\ddot{T}}$). Tento náklad se počítá stejně jako rovnice 9.16, akorát jsou zde rozdílné náklady na dřevo nakoupené. Důvodem je rozdíl ve zpracovatelnosti dřeva.

$$N_{cel.2} = N_{os.2} + N_{D\ddot{T}} + N_{stroje} + N_{dop.cel.2} \quad (9.23)$$

$$N_{cel.2} = 5518 + 1365 + 4337 + 1080$$

$$N_{cel.2} = 12189 \text{ [Kč]}$$

$N_{cel.2}$ – Celkové náklady na zpracované dřevo [Kč]

Tabulka 5 zahrnuje náklady pro zaopatření dřeva vlastními silami, tedy těžby dřeva v lese, štípaní a přípravy pro spalovací proces. Zde jsou přehledně sepsány všechny vstupní i vypočtené hodnoty.

Tabulka 5 – Náklady na těžené dřevo

Veličina	Jednotka	Hodnota	Definice
$N_{dřeva2}$	[Kč/m ³]	250	Cena dřeva za 1 prm, jehličnatého dřeva 0-250Kč
$N_{Dř}$	[Kč]	1365	Náklady dřeva těžného
$N_{dop.}$	[Kč/km]	36	Cena přepravy cca 36 Kč/km
$s_{Vzd.}$	[m]	30	Vzdálenost přepravy tam i zpět
$N_{os.pr.}$	[Kč/hod]	150	Průměrná cena práce člověka
$t_{zpra.}$	[hod]	36	Čas zpracování dřeva 6,6 hod/m ³
$N_{os.2}$	[Kč]	5407	Celková cena práce
$N_{dop,cel.2}$	[Kč]	1080	Cena za dopravu
N_{stroje}	[Kč/Rok]	4337	Stroje na zpracování dřeva
$N_{cel,2}$	[Kč/Rok]	12189	Náklady těžného dřeva

Z výsledků v tabulce 4 a tabulce 5 lze vyčíst nákladové rozdíly dokázané rovnicí 9.24. Je zde tedy prostor pro snížení nákladů na palivo. I přes nižší náklady v tabulce 5 patrně z rovnice je pro další výpočty volen způsob zásobování z tabulky 4. Je to z důvodu vyššího komfortu a pohodlí.

$$N_{cel.1} > N_{cel.2} \quad (9.24)$$

$$16570 > 12189$$

9.4 Návrh fotovoltaické sestavy

Pro navrhovaný systém v této diplomové práci je používáno webové rozhraní PVGIS. Software umožňuje ze získaných dat z družice odhadnout výkon fotovoltaické elektrárny. Tento software umožňuje konkrétní simulaci tak, že vytváří schéma dané situace a z něj vypočítá velikost a potenciál využitelnosti akumulátorů. Díky tomu je možné optimalizovat, popřípadě redukovat pořizovací náklady. Program v závislosti na zadaných parametrech vygeneruje grafy.

Z nich je možné vyčíst kolik procent dní v daném měsíci bude akumulátor nabitý, nebo naopak vybitý.

Rovnice 9.25 vypočítá celkový denní výkon potřebný pro ohřev teplé užitkové vody a spotřeby elektrické energie. Tento výpočet je potřeba pouze pro provoz domácnosti v letních měsících.

$$P_{dom,L} = P_{dom} + Q_{TUV,d} \quad (9.25)$$

$$P_{dom,L} = 15023 + 17660$$

$$P_{dom,L} = 32683 \left[\frac{Wh}{den} \right]$$

$$P_{dom} - \text{Spotřeba domácnosti} \left[\frac{Wh}{den} \right]$$

$$Q_{TUV,d} - \text{Denní teplo pro ohřev teplé užitkové vody} \left[\frac{Wh}{den} \right]$$

$$P_{dom,L} - \text{Celkový denní výkon} \left[\frac{Wh}{den} \right]$$

Celkový instalovaný příkon fotovoltaické elektrárny je dán rovnicí 9.26. Výsledek je násobek výkonu štítkové hodnoty panelu (příloha 3).

$$P_I = n_p \cdot 495 [Wp] \quad (9.26)$$

$$P_I - \text{Instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny} [Wp]$$

$$n_p - \text{Počet fotovoltaických panelů} [ks]$$

Celková kapacita akumulátorů je dána rovnicí 9.27. Výsledek je násobek kapacity jednotlivých modulů akumulátoru (příloha 4).

$$C_{ak.} = n_{ak.} \cdot 2560 [Ah] \quad (9.27)$$

$$n_{ak.} - \text{Počet akumulátorů} [ks]$$

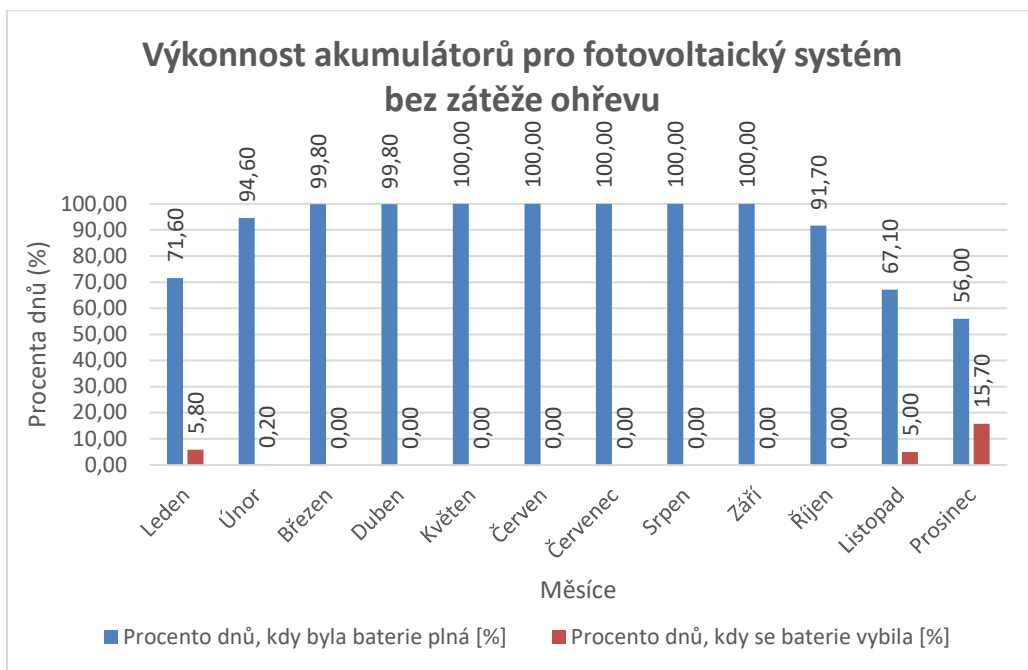
$$C_{ak.} - \text{Celková kapacita akumulátorů} [Ah]$$

Do programu PVGIS byla zadána vstupní data z předchozích výpočtů, které jsou přehledně vypsaná v tabulce 6 a daty z grafu 1..

Tabulka 6 – Parametry zadané do PVGIS

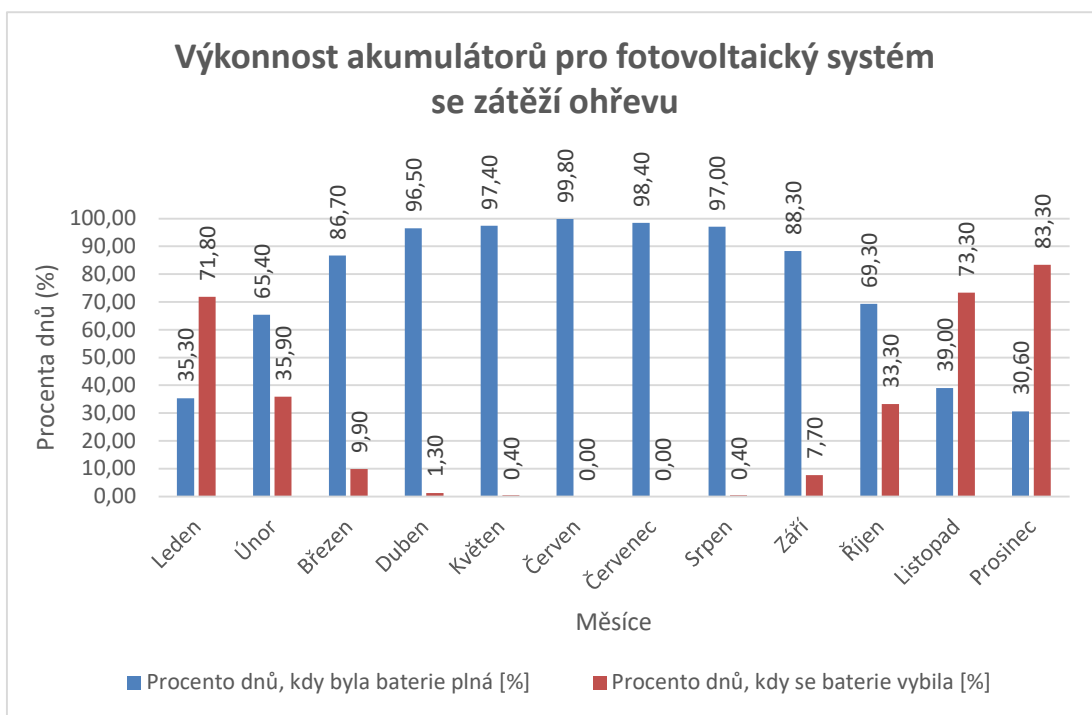
Zadávání do systému PVGIS, souřadnice 49,430,14,715, nadmořská výška 435 m				
	Veličina	Jednotka	Hodnota	Definice
Topné období	Příkon instalovaný	[Wp]	36630	Násobky panelu "n" (n·495)
	Kapacita akumulátoru	[Wh]	25600	Násobky bateriového článku "n" (n·2560)
	Spodní Limit pro vybití	[%]	20	Již vysvětleno u baterií
	Spotřeba domácnosti (P _{dom,Z})	[Wh]	15023	Viz. Výpočty, pouze elektřina
Letní období	Instalovaný příkon	[Wp]	36630	Násobky panelu "n" (n·495)
	Kapacita akumulátoru	[Wh]	25600	Násobky bateriového článku "n" (n·2560)
	Spodní Limit pro vybití	[%]	20	Již vysvětleno u baterií
	Spotřeba domácnosti (P _{dom,L})	[Wh]	32683	Viz. Výpočty, elektřina + ohřev vody

Na grafu 2 jsou vyobrazeny dvě hodnoty. Modrou barvou je procento dnů v měsíci, kdy bude baterie nabitá na 100 %. Červenou barvou jsou procenta dnů v měsíci, kdy bude baterie dosáhnout pod kapacitu 20 %. Tento graf promítá zatížení pouze spotřebu elektrické energie domácnosti P_{dom}. A tedy odrazem zadaných hodnot z tabulky 6, řádky: Topné období. Z grafu je patrné, že k největšímu vybití dojde v prosinci. V přepočtu na dny, to je 4,5 dne, kdy baterie bude vybita na hodnotu 20 %.



Graf 2 – Výkonnost akumulátorů bez ohřevu

V grafu 3 je zohledněna oproti grafu 2 ještě zátěž pro ohřev teplé užitkové vody. Zadané hodnoty jsou z tabulky 6, řádky: Letní období. V tomto grafu jsou důležité především měsíce květen až srpen. Jsou to měsíce, kdy se nebude vytápět dům biomasou. Teplo čerpané z tohoto zdroje bude muset být nahrazeno fotovoltaickou elektrárnou.



Graf 3 – Výkonnost akumulátorů s ohřevem

9.5 Investiční náklady

V kapitole 9.4 vyšly potřebné parametry pro následný cenový návrh fotovoltaické elektrárny. Funkčnost a smysl komponent k sestavení fotovoltaické elektrárny jsou detailně probrány v kapitole 2.

V rovnici 9.28 je výpočet pro kompletní náklady za danou položku. Tedy počet komponent vynásoben nákladovou cenou každého prvku.

$$N_{EL.celk.} = \sum n_{EL.sk.} \cdot N_{EL.} \text{ [Kč]} \quad (9.28)$$

$n_{EL.sk.}$ – Počet prvků elektrárny [ks]

$N_{EL.}$ – Náklad jednoho prvku fotovoltaické elektrárny [Kč]

$N_{EL.celk.}$ – Celkové náklady prvků fotovoltaické elektrárny [Kč]

V tabulce 7 jsou uvedeny ceny za jednotlivé položky. Měrná jednotka akumulátorů a FV panelů byla vypočtena v kapitole 9.4. Na trhu není běžně k dostání zařízení o tak velkých kapacitách (např. měnič). A když je, tak cena je astronomická. Proto se sestava skládá z více stejných komponent (měrná jednotka 4). Ceny uvedené v tabulce 7 mají reálný podklad dohledatelný na internetu (např. www.alfieco.cz). Je možné dohledat dražší i levnější varianty komponentů v rozmezí asi 10 %.

Tabulka 7 – Cenový rozpočet fotovoltaické elektrárny

Zařízení	Mj	Cena	$N_{EL.}$
Akumulátory	10	31 990 Kč	319 900 Kč
FV panely	74	5 290 Kč	391 460 Kč
Měnič hybridní	4	69 938 Kč	279 752 Kč
Wifi konektor	4	650 Kč	2 600 Kč
Bateriový management	4	24 900 Kč	99 600 Kč
Ostatní materiál	4	27 370 Kč	109 480 Kč
Práce	160	250 Kč	40 000 Kč
Celková cena za sestavu			1 242 792 Kč

Pro stanovené tepelné ztráty budovy jsou vybrána vhodná krbová kamna, která vyzařují teplo do prostoru a zároveň teplo předávají otopnému okruhu. Vytipovaný krb pokrývá tepelné ztráty 3,5 kW. Voda je ohřívána tepelným výkonem 7,5 kW. Celý systém vytápění budovy

a ohřevu vody je projektován s akumulací nádrží. Ta umožňuje ohřev teplé užitkové vody a zároveň udržuje teplotu otopné soustavy.

Velikost akumulací nádrže byla vybrána s úmyslem udržení teplé vody po dobu dvaceti čtyř hodin. Tento stanovený časový horizont by měl odpovídat době, kdy je akumulací nádrž schopna pokrýt nulový příkon. Tedy dobu do dalšího zátoku. Teplo potřebné k nabití akumulací nádrže je dáno rovnicí 9.29.

$$Q_{obs,AN} = c_v \cdot V_{aku} \cdot (t_{voda,kon} - t_{voda,vst}) \quad (9.29)$$

$$Q_{obsah,AN} = 1,163 \cdot 0,8 \cdot (80 - 20)$$

$$Q_{obsah,AN} = 55,8 [kWh]$$

c_v – Měrná tepelná kapacita vody $\left[\frac{W}{kg \cdot K}\right]$

V_{aku} – Objem akumulací nádrže $[m^3]$

$t_{voda,kon}$ – Teplota vody akumulací nádrže v nabitém stavu $[^\circ C]$

$t_{voda,vst}$ – Teplota vody akumulací nádrže ve vybitém stavu $[^\circ C]$

$Q_{obsah,AN}$ – Teplo přivedené pro nabití akumulací nádrže $[kWh]$

Doba potřebná k nabíjení akumulací nádrže pouze tepelným zdrojem spalovacím biomasu udává rovnice 9.30.

$$t_{nabíjení} = \frac{Q_{obsah,AN}}{Q_{zdroj} - Q_C} \quad (9.30)$$

$$t_{nabíjení} = \frac{55,8}{10,2 - 3,5}$$

$$t_{nabíjení} = 8,3 [h]$$

Q_{zdroj} – Tepelný výkon křbových kamen $[Wh]$

Q_C – Celkové tepelné ztráty $[W]$

$t_{nabíjení}$ – Čas nabíjení akumulací nádrže $[h]$

Doba, po kterou není potřeba topit a akumulční nádrž udrží teplotu otopné soustavy na 20 °C je vypočteno rovnicí 9.31.

$$t_{vyb\u00edjen\u00ed} = \frac{Q_{obs. AN}}{Q_c} \quad (9.31)$$

$$t_{vyb\u00edjen\u00ed} = \frac{55,8}{3,5}$$

$$t_{vyb\u00edjen\u00ed} = 15,9[h]$$

$t_{vyb\u00edjen\u00ed}$ – \u010cas vyb\u00edjen\u00ed akumul\u00e1\u00e1n\u00ed n\u00e1dr\u017ee [h]

Sou\u010dtu \u010das\u016f, kdy se akumul\u00e1\u00e1n\u00ed n\u00e1dr\u017ee nab\u00edj\u00ed, tedy doby vyt\u00e1p\u011bn\u00ed biomasou, a n\u00e1sledn\u011b \u010casu vyb\u00edjen\u00ed, kdy j\u00ed\u017e n\u00e9n\u00ed p\u0159isun dal\u0161\u00edho tepla. Dostaneme rovnic\u00ed 9.32.

$$t_{cel.} = t_{vyb\u00edjen\u00ed} + t_{vyb\u00edjen\u00ed} \quad (9.32)$$

$$t_{cel.} = 8,3 + 15,9$$

$$t_{cel.} = 24,3 [h]$$

$t_{cel.}$ – Celkov\u00fd \u010cas nabit\u00ed akumul\u00e1\u00e1n\u00ed n\u00e1dr\u017ee [h]

Pom\u011br hmotnost pot\u0159ebn\u00e9ho palivov\u00e9ho d\u0159eva a doby otopn\u00e9ho obdob\u00ed ud\u00e1v\u00e1 hmotnost d\u0159eva pro z\u00e1top na jeden den vypo\u010dteno rovnic\u00ed 9.33.

$$m_{den} = \frac{m_{d\u0159eva}}{d} \quad (9.33)$$

$$m_{den} = \frac{2900}{250}$$

$$m_{den} = 11,6 \left[\frac{kg}{den} \right]$$

$m_{d\u0159eva}$ – Hmotnost palivov\u00e9ho d\u0159eva na jednu topnou sez\u00f3nu $\left[\frac{kg}{rok} \right]$

d – D\u011blka topn\u00e9ho obdob\u00ed [den]

m_{den} – Hmotnost sp\u00e1len\u00e9ho d\u0159eva za jeden den $\left[\frac{kg}{den} \right]$

Aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výpočtů, je nutné počítat s náklady, které jsou schovány v obsluhování topného zařízení. V rovnici 9.34 se tedy promítne minimální čas zatápění a čas příkládání. Minimální čas, z důvodu maximálního hmotnostního přiložení dřeva do kamen.

$$N_{dom,vyt} = \left(\left(\frac{m_{den}}{m_{max}} - 1 \right) \cdot t_p + t_r \right) \cdot N_{os.pr.} \quad (9.34)$$

$$N_{dom,vyt} = \left(\left(\frac{11,6}{3,1} - 1 \right) \cdot 0,1 + 0,17 \right) \cdot 150$$

$$N_{dom,vyt} = 66,13 \left[\frac{Kč}{den} \right]$$

m_{max} – Maximální hmotnostní dávka do spalovacího prostoru [kg]

t_p – Čas příkládání [hod]

t_r – Čas rozdělení [hod]

$N_{os.pr.}$ – Náklady hodinové sazby člověka [Kč]

$N_{dom,vyt}$ – Náklady na obsluhu vytápění $\left[\frac{Kč}{den} \right]$

První část tabulky 8 znázorňuje stanovení doby nabíjení a vybíjení akumulční nádrže. Druhá část tabulky je zaměřena na odhadovanou dobu zatápění a příkládání v průběhu jednoho dne a s tím spojené náklady. V závěru tabulky je uvedena cena vytápěných krbových kamen a akumulční nádrže. Technické listy zařízení jsou v příloze 5 a příloze 6.

Tabulka 8 – Výdrž akumulční nádrže a cena otopných prvků

Otopná soustava a akumulace vody			
Stanovení doby nabíjení a vybíjení akumulční nádrže	Akumulační nádrž (ATTACK TUV 800K) $V_{aku.}$	0,8	[m ³]
	Krbová kamna (VISBY II) Q_{zdroj}	10,2	[kW]
	Q_{zdroj}	10,2	[kW]
	Q_C	3,5	[kW]
	$V_{aku.}$	0,8	[m ³]
	$t_{voda\ vst.}$	20	[°C]
	$t_{voda\ kon.}$	80	[°C]
	$Q_{obsah\ AN}$	55,8	[kWh]
	$t_{nabijení}$	8,3	[h]
	$t_{vybijení}$	15,9	[h]
	$t_{celková}$	24,3	[h]
	Denní náklady na obsluhu	Max. hmotnost na přiložení m_{max}	3,1
Hmotnost dřeva potřebná pro denní zátop m_{den}		11,6	[kg/den]
Průměrná hodinová sazba $N_{os.pr.}$		150	[kč/hod]
Čas rozdělení t_r		0,17	[hod]
Čas přiložení t_p		0,10	[hod]
Celková cena $N_{dom,vyt}$		66,13	[kč/den]
Cena otopných prvků			
	Akumulační nádrž (ATTACK TUV 800K)	76 482	[Kč]
	Krbová kamna (VISBY II)	61 990	[Kč]
	Cena celkem za zdroj a uchování tepla	138 472	[Kč]

9.6 Ekonomické zhodnocení

Životnost fotovoltaické sestavy je počítána na období třiceti let. S tímto předpokladem jsou rozpočítány náklady na jednotlivé roky. Výjimkou je střídač, u kterého se životnost zkracuje o polovinu, tedy maximálně patnáct let. Proto je v celkových nákladech v tabulce 9 započítáván střídač zvlášť, respektive navíc. Dále je rozpočítána cena krbových kamen taktéž na předpokládanou životnost třiceti let. Náklady na dřevo zahrnují pouze jeden rok stejně jako ostatní obslužné náklady. Po sečtení všech položek dostáváme celkové roční náklady.

Tabulka 9 – Náklady celého systému na rok provozu

Celkové náklady na systém elektrický a vytápěcí na rok N_{cel}		
Životnost systému	30	[rok]
Fotovoltaická elektrárna	41 426	[Kč]
Výměna střídače 1x za 15 let	18 650	[Kč]
Revize elektrického systému	750	[Kč]
Otopná soustava	4 616	[Kč]
Náklady biomasy na rok	16 570	[Kč]
Revize komínu	500	[Kč]
Náklady na obsluhu zátoku na rok	16 533	[Kč]
Celkové roční náklady N_{cel}	99 045	[Kč/rok]

Tabulka 9 udává celkové roční náklady, které lze následně vydělit využitým výkonem vypočteným rovnicí 9.7 a roční spotřebou elektřiny domácnosti z tabulky 2. Přebytek elektrické energie vyrobený fotovoltaickou elektrárnou nezapočítáváme. Výsledek v tabulce 10 udává, jaká bude celková cena za 1 kWh výkonu. Náklady na vyrobenou kWh v případě výroby navrženým systémem činí 5,07 Kč/kWh, cena běžné elektřiny se nyní pohybuje okolo 6,7 Kč/kWh.

Tabulka 10 – Provozní náklady ostrovní sestavy

Provozní náklady ostrovní sestavy		
Celkové roční náklady N_{cel}	99 045	[Kč/rok]
Využitý výkon soustavy	19 531	[kWh/rok]
Cena vyrobené elektřiny	5,07	[Kč/kWh]

Roční náklady na provoz ostrovního systému jsou 99 045 Kč/rok. V porovnání s ročními náklady na elektřinu získanou ze sítě (130 860 Kč/rok) je navrhovaný systém podstatně levnější. To dokazují výsledky celkových ročních nákladů z tabulky 9 a tabulky 11. Součinem průměrné ceny elektřiny za kWh a příkonu spotřebičů z tabulky 2 je získána spotřeba jednotlivých elektrospotřebičů. K této hodnotě je připočtena cena pronájmu jističe v rozvodné skříni. Poslední hodnota v tabulce 11 je tedy náklady na celkovou spotřebu, a to v případě užití elektřiny na vytápění, ohřev teplé užitkové vody a chodu spotřebičů.

Tabulka 11 – Náklady na elektřinu ze sítě

Provozní náklady na elektřinu s připojením k síti		
Cena elektřiny	6,7	[Kč/kWh]
Pronájem jističe	7 000	[Kč/rok]
Náklady provozu spotřebičů	36 739	[Kč/rok]
Celkové roční náklady $N_{cel.sít}$	130 860	[Kč/rok]

V případě, že by se provozovatel domu napojeného na síť rozhodl pro aplikování fotovoltaické elektrárny, nejednalo by se tedy o ostrovní provoz, ale o poloostrovní provoz. Za tohoto předpokladu by se při plném využití návratnost systému projevila až po 39 letech. Návratnost vyjadřuje dobu, za kterou se zaplatí investice do ostrovního systému, tedy podíl počáteční investice ostrovního systému a těchto rozdílů: celkové roční náklady provozování s připojením k síti (tabulka 11) a celkové roční náklady provozování ostrovního systému (tabulka 7) to činí 31 815 Kč.

Tabulka 12 – Prostá návratnost

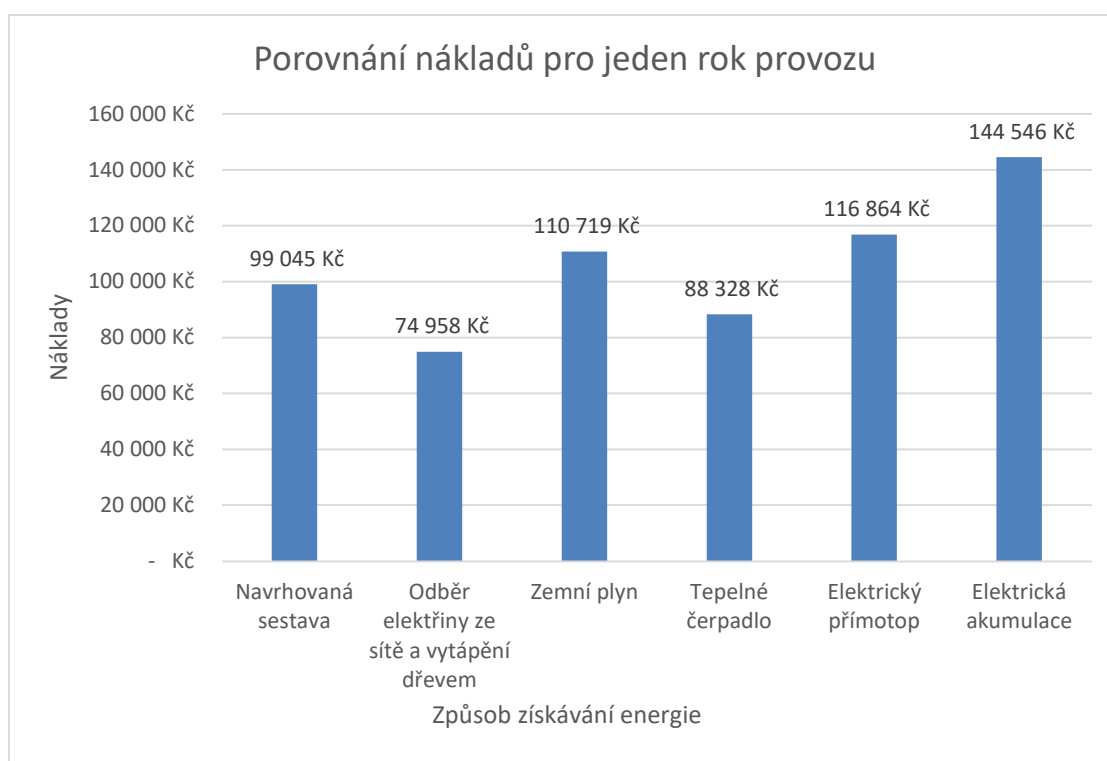
Návratnost systému		
Počáteční investice	1 242 792	[Kč]
Rozdíl $N_{cel.sít}$ a N_{cel}	31 815	[Kč]
Doba návratnosti investice	39	[let]

Server TZB-info umožňuje teoretický výpočet cen provozu různorodých zdrojů tepla. Pro konkretizaci byly vybrány čtyři nejčastěji používané možnosti. Do softwaru byly zadány hodnoty a parametry odpovídající hodnotám, se kterými bylo počítáno v této práci. Jednotlivé výsledky jsou zaneseny v tabulce 13. Podrobnější rozbor, z jakých nákladů pro danou aplikaci se výsledek skládá a jejich hodnoty, jsou uvedeny v příloze 7.

Tabulka 13 – Provozní náklady jiných standartní zdrojů

Provozní náklady alternativních zdrojů		
Palivo/Zdroj tepla	[Kč/kWh]	[Kč/rok]
Zemní plyn Kondenzační kotel	3,30	110 719 Kč
Tepelné čerpadlo (top. fak. 3,3) Vzduch/voda	6,51	88 328 Kč
Elektrický přímotop Podlahové rohože a fólie	6,52	116 864 Kč
Elektřina akumulace Teplovodní akumulční nádrž	6,75	144 546 Kč

Tabulka 13 a roční náklady na provoz z tabulek 10 a 11 jsou vloženy do grafu 4. V tomto grafu lze porovnat náklady na provoz jiných zdrojů zajišťující teplo. Je zde patrné, že navrhovaná soustava a její roční náklady nejsou nejvyšší ale ani nejnižší. Výsledek ostatních zdrojů jsou výrazně ovlivňovány aktuální cenou nakupovaných zdrojů.



Graf 4 – Porovnání nákladů pro jeden rok provozu

10 Závěr

V dnešní době se stává využívání obnovitelných zdrojů stále atraktivnější. Rostoucí ceny energií nutí spotřebitele uvažovat o alternativních možnostech získávání energie. Systém odběru elektřiny ze sítě je náchylný k výpadkům proudu, například při vichřici. Při provozu obnovitelných zdrojů nevznikají žádné nebo minimální škodlivé látky, tím nepřispívá ke zhoršování životního prostředí.

V teoretické části této diplomové práce jsou představeny různé možnosti získávání energie. Práce popisuje, na jakém principu funguje fotovoltaická elektrárna, vodní elektrárna, větrná elektrárna a spalování biomasy. Následně jsou v teoretické části uvedeny možnosti ukládání energie – olovené akumulátory, lithiové akumulátory.

V praktické části se práce zaměřuje na návrh vhodného systému pro rodinný dům. Ze všech variant zmíněných v teoretické části byla vybrána kombinace fotovoltaiky se spalováním biomasy. Tento systém byl zvolen s ohledem na lokaci domu, kde není dostupný žádný vodní tok pro vodní elektrárnu a nejsou vhodné povětrnostní podmínky pro vybudování větrné elektrárny. Fotovoltaická elektrárna je tvořena 74 solárními panely a celkový výkon elektrárny je 36 630 Wp. Pro tyto parametry je navržen vhodný akumulátor o kapacitě 25 600 Wh. V letním období je používána pouze fotovoltaická elektrárna, která zajistí vytápění, ohřev teplé užitkové vody a energii pro spotřebiče. V zimním období fotovoltaická elektrárna zajistí energii pouze pro běžné spotřebiče. Ohřev vody a vytápění je zajištěno spalováním biomasy. Nejprve byla stanovena celková energetická náročnost budovy – energie pro vytápění, ohřev teplé užitkové vody a energie pro spotřebiče. Objem dřeva na jednu topnou sezónu je 5,46 m³. Dřevo je nakupováno a roční náklady jsou 16 570 Kč/rok. Vlastní těžbou dřeva by roční náklady dělaly 12 189 Kč a bylo by tak možné ušetřit. Z důvodu náročnosti samovýroby a komfortu bylo vybráno dřevo kupované. Dále byly stanoveny náklady na vyrobenou kWh. Cena za jednu kWh vyrobenou navrhovanou soustavou je 5,07 Kč/kWh. Cena elektřiny získané ze sítě je 6,7 Kč/kWh. Celkové roční náklady pro navrhovanou soustavu dělají 99 045 Kč/rok a celkové náklady za odebranou elektřinu 130 860 Kč/rok. V případě využití navrhovaného systému ušetří spotřebitel za elektřinu 31 815 Kč ročně.

Počáteční investice na pořízení kompletního systému výroby a akumulace elektrické energie je 1 242 792 Kč. Při plném využití v ostrovním systému, s porovnáním domu napojeného na síť, bude návratnost investice 37 let. Nynější odhad životnosti komponent ovšem

činní 30 let. V případě možnosti připojení k síti, by nebyl systém rentabilní. Změna ceny elektřiny výrazně ovlivní dobu návratnosti systému.

V případě poloostrovního systému, kdy v letních měsících bude přebytek energie, by se doba návratnosti zkrátila, a to prodejem přebytečné energie na spotovém trhu. A zároveň by nebyl tak vysoký nárok na ukládání elektřiny, protože by byla možnost odběru elektřiny ze sítě při jejím nedostatku. Fotovoltaika je i přes vysoké počáteční náklady oblíbeným řešením pro jednoduchou instalaci, bezhlučný provoz a snadnou obsluhu.

11 Seznam použitých zdrojů

- [1] D. CHIRAS, Daniel. The Solar House: Passive Heating and Cooling. 2nd. White River Junction, Vermont, USA: Chelsea Green Publishing, 2010. ISBN 978-1603582964.
- [2] ERDIWANSYAH, MAHIDIN, H. HUSIN, NASARUDDIN, M. ZAKI a MUHIBBUDDIN. A critical review of the integration of renewable energy sources with various technologies. Protection and Control of Modern Power Systems [online]., 2021, 6(1) [cit. 2023-03-23]. ISSN 2367-2617. Dostupné z: doi:10.1186/s41601-021-00181-3.
- [3] FIRAT, Yelda. Utility-scale solar photovoltaic hybrid system and performance analysis for eco-friendly electric vehicle charging and sustainable home [online]. 734-745 [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: doi:10.1080/15567036.2018.1520354.
- [4] BENDA, Vítězslav. Obnovitelné zdroje energie. 1rd edition. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.
- [5] DEMIRBAS, Ayhan. Future energy systems. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects [online]. 2016, 38(12), 1721-1729 [cit. 2023-03-23]. ISSN 1556-7036. Dostupné z: doi:10.1080/15567036.2014.962119.
- [6] KŘEPELKA, Jan. Eon Ostrovní dům [online]. 2018 [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/zelena-energie/solarni-energie/jak-funguji-ostrovni-solarni-elektrarny/>.
- [7] GHIANI, Emilio a Fabrizio PILO. Smart inverter operation in distribution networks with high penetration of photovoltaic systems. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy [online]. 2015, 3(4), 504-511 [cit. 2023-03-23]., ISSN 2196-5625. Dostupné z: doi:10.1007/s40565-015-0165-4.

- [8] SKYVA, Luděk. Solární experti [online]. 2015 [cit. 2022-12-29]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-ostrovni-off-grid-fotovoltaicky-system/>.
- [9] ZILVAR, Jiří. Co byste měli znát před instalací domácí fotovoltaické elektrárny., TZB-info [online]. 2021 [cit. 2022-09-26]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22068-co-byste-meli-znat-pred-instalaci-domaci-fotovoltaicke-elektrarny>.
- [10] MATAJS, Vladimír. Solarni experti [online]. 2015 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-ostrovni-off-grid-fotovoltaicky-system/>.
- [11] HASELHUHN, Ralf a Petr MAULE. Fotovoltaické systémy: energetická příručka : pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1.
- [12] MAGDY, Gaber, G. SHABIB, Adel A. ELBASET a Yasunori MITANI. Optimized coordinated control of LFC and SMES to enhance frequency stability of a real multi-source power system considering high renewable energy penetration., Protection and Control of Modern Power Systems [online]. 2018, 3(1) [cit. 2023-03-23]. ISSN 2367-2617. Dostupné z: doi:10.1186/s41601-018-0112-2.
- [13] SIMANDL, Martin. I4wifi [online]. 2008 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.i4wifi.cz/cs/faq/324>.
- [14] MAYFIELD, Ryan. Photovoltaic Design & Installation For Dummies. Hoboken: John Wiley, 2019. For dummies. ISBN 978-1-119-54435-7.
- [15] ZILVAR, Jiří. Střešní fotovoltaika – jak funguje a co od ní očekávat?. TZB-info [online]. 2021 [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22067-stresni-fotovoltaika-jak-funguje-a-co-od-ni-ocekavat>.

- [16] KUSALA, Jaroslav. Solární a fotovoltaické články [online]. 2006 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>.
- [17] MOHAGHEGH, Mohammad Reza, Mohammad HEIDARI, Syeda TASNIM, Animesh DUTTA a Shohel MAHMUD. Latest advances on hybrid solar–biomass power plants. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects [online]. 1-24 [cit. 2023-03-23]., ISSN 1556-7036. Dostupné z: doi:10.1080/15567036.2021.1887974.
- [18] Photovoltaics: Design and Installation Manual. White River Junction, Vermont: Chelsea Green Publishing, 2004. ISBN 978-0865715208.
- [19] FALK, Antony. Photovoltaics for Professionals: Solar Electric Systems Marketing Design and Installation. 1rd edition. Hardback: Taylor & Francis, 2016. ISBN 9781138139114.
- [20] ZILVAR, Jiří. Oboustranné fotovoltaické panely nabízí až o třetinu vyšší výkon [online]. 2019 [cit. 2022-10-11]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/19067-oboustranne-fotovoltaicke-panely-nabizi-az-o-tretinu-vyssi-vykon>.
- [21] BRŮŽIČKA, Roman. Bohemia-civil-engineering [online]. 2019 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: https://www.bce.cz/3-typy-fotovolatickych-panelu/?gclid=CjwKCAiA9NGfBhBvEiwAq5vSyx41iokYkwi2FU3E8IkGFeUGFzJIDULLfUs89_aMwnal7iwoSQOhTBoC6MoQAvD_BwE.
- [22] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Solární energie: fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. 2., dopl. vyd. V Praze: ČZU, 2006. ISBN 80-213-1488-5.
- [23] MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. Malé vodní turbíny: konstrukce a provoz. 1rd edition. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-010-1808-3.

- [24] STUDENÍK, Jiří a Michal SVITAVSKÝ. Energie větru, vody, biomasy. Brno: Code Creator, s.r.o, 2016. ISBN 978-80-88058-08-3.
- [25] GABRIEL, Pavel, František ČIHÁK a Petr KALANDRA. Malé vodní elektrárny. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-010-1812-1.
- [26] ULRYCH, Emil. Aplikovaná hydromechanika I: (základy hydroenergetiky). 1rd edition. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1609-6.
- [27] CROME, Horst. Technika využití energie větru: svépomocná stavba větrných zařízení. 1rd edition. Ostrava: HEL, 2002. ISBN 80-861-6719-4.
- [28] RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. Větrné motory a elektrárny. 1rd edition. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-010-1563-7.
- [29] VOBOŘIL, David. Větrné elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR. Oenergetice.cz [online]. 2015 [cit. 2022-11-02]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/typy-elektraren/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni>.
- [30] MÁČA, Josef, Pavel ABRAHAM a Petr BAČA. Zkroťte sílu větru, bude pracovat pro vás [online]. 2012 [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/zkrotte-silu-vetru-bude-pracovat-pro-vas.html>.
- [31] DAVID, Hanslian, Hošek JIŘÍ, Chládová ZUZANA a Pop LUKÁŠ. Větrné podmínky v České republice ve výšce 10 m nad povrchem I. TZB-Info [online]. 2013 [cit. 2023-02-26]., Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/9770-vetrne-podminky-v-ceske-republice-ve-vysce-10-m-nad-povrchem-i>.
- [32] MATUŠKA, Tomáš. Typy solárních kolektorů. TZB-info [online]. 2009 [cit. 2022-09-26]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoru>.

- [33] GUNDU, Venkateswarlu a Sishaj P. SIMON. A novel energy routing technique with hybrid energy storage for residential electricity cost minimization in a smart distribution network., *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* [online]. 1-18 [cit. 2023-03-23]. ISSN 1556-7036. Dostupné z: doi:10.1080/15567036.2020.1780348.
- [34] HAMMERBAUER, Jiří. Olověné akumulátory [online]. 2016 [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <http://canov.jergym.cz/elektro/clanky2/olov.pdf>.
- [35] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [36] YOSHINO, Akira. The Birth of the Lithium-Ion Battery. *Angewandte Chemie International Edition* [online]. 2012, 51(24), 5798-5800 [cit. 2023-03-23]. ISSN 14337851. Dostupné z: doi:10.1002/anie.201105006.
- [37] FILIPČÍK, Martin. Funkční domy [online]. 2022 [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.funkcnidomy.cz/blog/jakou-baterii-pro-solarni-elektrarnu-na-vas-dum>.
- [38] 3M Battery Materials for Automotive Applications [online]. 2015 [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <http://mobi.vub.ac.be/wp-content/uploads/downloads/2014/12/3M.pdf>.
- [39] MALAŤÁK, Jan a Petr VACULÍK. *Biomasa pro výrobu energie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1810-6.
- [40] MURTINGER, Karel a Jiří BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. Brno: Computer Press, 2011. Stavíme. ISBN 978-80-251-2916-6.
- [41] BERNÁT, Ivo. Romotop [online]. 2022 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.romotop.cz/krbova-kamna-krbove-vlozky-designove-krby#hotWaterExchanger>.

- [42] KAŠPAR, Michal. Krby kašpar [online]. 2022 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.krby-kaspar.cz/teplovodni-krbova-kamna>.
- [43] DRÁPAL, Miloš. Svět energie. Energetika z blízka [online]. 2018 [cit. 2023-01-30]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/geotermalni-elektrarna/vyklad>.
- [44] BLAŽKOVÁ, Miroslava. Geotermální energie v Podkrušnohoří. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, 2002. Acta Universitatis Purkynianae. ISBN 80-704-4425-8.
- [45] QUASCHNING, Volker. Renewable Energy and Climate Change. 1rd edition. Wiley-IEEE Press, 2010. ISBN 978-0-470-74707-0.
- [46] MARTÍNKŮ, Lukáš. Geotermie rychle a chytře [online]. 2022 [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <https://www.geotermalnienergie.cz/>.
- [47] BRANDT, Vladimír. Získávání tepla z šedých vod se postupně stává standardem v českých domácnostech [online]., TZB-info, 2021 [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/22023-ziskavani-tepla-z-sedych-vod-se-postupne-stava-standardem-v-ceskych-domacnostech>.
- [48] ZEZULKA, Michal. Akire [online]. Praha, 2022 [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: <https://www.akire.cz/rekuperace-tepla/rekuperace-akiretherm-home/>.
- [49] PETRÁŠ, Dušan. Vytápění rodinných a bytových domů. Bratislava: Jaga, 2005. Vytápění. ISBN 80-807-6020-9.
- [50] REINBERK, Zdeněk. TZB-info, Spotřeba tepla [online]. 2017 [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-vetrani-a-pripravu-teple-vody>.

- [51] ČSN 06 0210. TZB-info, Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit [online]. 2017 [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>.
- [52] KRAUS, Ivan. Kraus architekti [online]. 2020 [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: https://sites.google.com/a/krausarchitekti.cz/kraus-architekti-copy/Clanky/PD-NED-BD-tech-porovnaní?fbclid=IwAR151Va80jWd-GT8HHnPGNWqa1oafTAWJ7ldIvGbwHPfEBEo1_K4312p3yI.
- [53] KRÁTIL, Jiří. Elektrická spotřeba domácích spotřebičů [online]. 2022 [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://dodavatelektřiny.cz/uzitecne-informace/spotreba-domacich-spotrebicu>.
- [54] JELÍNEK, Vladimír. TZB-info [online]. 2017 [cit. 2023-02-23]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/12-vyhrevnosti-a-merne-jednotky-palivoveho-dreva>.
- [55] DOČKAL, Filip. Dřevo stavitel [online]. 2014 [cit. 2023-02-23]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/palivove-drevo-vyhrevnost-cena>.
- [56] VOBOŘIL, David. Vodní elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR. O energetice [online]. 2016 [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: oenergetice.cz.

12 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Schéma zapojení v ostrovním systému [8]	3
Obrázek 2 – Fotovoltaický článek [16]	5
Obrázek 3 – Savoniův rotor [30]	11
Obrázek 4 – Darrieův rotor [30]	11
Obrázek 5 – Vztlková turbína [30]	12
Obrázek 6 – Mapa průměrné rychlosti větru ČR [31]	13
Obrázek 7 – Akumulační křbová kamna [41]	19
Obrázek 8 – Proudění v útrokách kamen [41]	20

13 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Normované hodnoty pro lokalitu Tábor [49] [51].....	29
Tabulka 2 – Spotřebiče v domácnosti [53].....	33
Tabulka 3 – Potřeba dřeva pro vytápění.....	37
Tabulka 4 – Náklady na zakoupené dřevo.....	39
Tabulka 5 – Náklady na těžené dřevo	41
Tabulka 6 – Parametry zadané do PVGIS	43
Tabulka 7 – Cenový rozpočet fotovoltaické elektrárny.....	45
Tabulka 8 – Výdrž akumulční nádrže a cena otopných prvků	49
Tabulka 9 – Náklady celého systému na rok provozu.....	50
Tabulka 10 – Provozní náklady ostrovní sestavy	50
Tabulka 11 – Náklady na elektřinu ze sítě	51
Tabulka 12 – Prostá návratnost	51
Tabulka 13 – Provozní náklady jiných standartní zdrojů.....	52

14 Seznam grafů

Graf 1 – Rozložení zatížení sítě.....	35
Graf 2 – Výkonnost akumulátorů bez ohřevu	44
Graf 3 – Výkonnost akumulátorů s ohřevem	44
Graf 4 – Porovnání nákladů pro jeden rok provozu	52

15 Seznam příloh

Příloha 1 – Vytápění, Ohřev vody a celková spotřeba tepla	I
Příloha 2 – Graf výhřevnosti dřeva v závislosti na vlhkosti [55]	II
Příloha 3 – datový list fotovoltaického panelu	III
Příloha 4 – Datový list akumulátorů	IV
Příloha 5 – Krbová kamna	V
Příloha 6 – Akumulační nádrž	VI
Příloha 7 – Roční náklady alternativních zdrojů	VII

16 Seznam použitých symbolů

I	[A]	Proud
P	[W]	Výkon
U	[V]	Napětí
ρ	[kg/m ³]	Hustota
g	[m/s ²]	Gravitační zrychlení
Q	[m ³ /s]	Průtok
h	[m]	Nadmořská výška
H	[m]	Spád
η	[-]	Účinnost
S	[m ²]	Plocha
v	[m/s]	Rychlost
Q _c	[kW]	Celkové tepelné ztráty
t	[°C]	Teplota
d	[dny]	Počet topných dnů
Q _c	[kW]	Celkové tepelné ztráty
ε	[-]	Opravný součinitel
D	[den.°C]	Denostupně
Q _{Vyt.r}	[MWh/rok]	Roční potřeba tepla
V _{P2}	[m ³ /den]	Spotřeba vody za den
V _P	[m ³ /den.os]	Spotřeba vody za den na osobu
c	[W/kg.K]	Měrná tepelná kapacita vody
z	[-]	Koeficient energetických ztrát
E _{2T}	[W/den]	Teoretické teplo pro ohřev vody
E _{2Z}	[W/den]	Tepelné ztráty při ohřevu
Q _{TUV.d}	[kW/hod]	Teplo potřebné pro ohřev vody za den
N	[dny]	Počet pracovních dnů
Q _R	[MWh/rok]	Teplo potřebné za rok
P _{spot.}	[W]	Výkon spotřebiče
t _{prov.}	[hod]	Čas provozu
P _{den}	[W]	Denní výkon
Q _{dom.}	[W]	Spotřeba elektřiny v domácnosti
H _{dřeva,S}	[kJ/kg]	Výhřevnost teoreticky suchého dřeva
w	[%]	Vlhkost
H	[kWh/kg]	Výhřevnost palivového dřeva
N _{den,léto}	[den]	Počet dnů mimo topnou sezónu
Q _{TUV.léto}	[Wh/rok]	Teplo mimo topnou sezónu
Q _{top}	[Wh/rok]	Teplo na topnou sezónu pro ohřev vody a vytápění
η_0	[-]	Účinnost otopného systému
m _{dřeva}	[Wh/rok]	Hmotnost dřeva
m _{den}	[kg/den]	Hmotnost dřeva spáleného za den
$\rho_{dřeva,1}$	[kg/m ³]	Hustota rovnaného dřeva

$V_{\text{dřeva}}$	[m ³]	Objem dřeva
$N_{\text{dřeva}}$	[Kč/m ³]	Náklady dřeva
N_{KD}	[Kč]	Náklady celkové na koupené dřevo
$N_{\text{dop.}}$	[Kč]	Náklady dopravy
$S_{\text{vzd.}}$	[m]	Vzdálenost přepravy
$N_{\text{os.pr.}}$	[Kč/hod]	Cena práce
$N_{\text{os.}}$	[Kč]	Velkové náklady na práci
$N_{\text{dop.cel.}}$	[Kč]	Náklady dopravy celkové
$N_{\text{cel.1}}$	[Kč]	Náklady na kupované dřevo
N_{stroje}	[Kč]	Náklady na stroje
$N_{\text{cel.2}}$	[Kč]	Náklady na těžené dřevo
N_{cel}	[Kč/rok]	Celkové náklady
$N_{\text{dom.vyt}}$	[Kč/den]	Náklady na zátap za den
P_{I}	[Wp]	Instalovaný příkon
$Q_{\text{dom.L}}$	[Wh]	Spotřeba elektřiny v domácnosti v létě
Q_{zdroj}	[W]	Výkon krbových kamen
$V_{\text{aku.}}$	[m ³]	Objem akumulční nádrže
$Q_{\text{obsah,AN}}$	[Wh]	Tepelný výkon pohlcený akumulční nádrží

Příloha I – Vytápění, Ohřev vody a celková spotřeba tepla

	Veličina	Jednotka	Hodnota	Definice
Lokalita	t_{em}	[°C]	13	střední denní venkovní teplota pro začátek a konec otopného období
	t_e	[°C]	-15	Venkovní výpočtová teplota
	t_{es}	[°C]	3,5	výpočtová průměrná teplota v době otopného období
	d	[dny]	250	počet topných dnů
Vytápění	Q_c	[kW]	3,5	celkové tepelné ztráty
	t_{is}	[°C]	21	výpočtová teplota v interiéru
	D	[°C*den]	4375	Denostupně (délka otopného období s požadavky uživatele a danou klimatickou oblastí)
	e_i	[-]	0,8	nesoučasnost tepelné ztráty větráním a tepelné ztráty prostupem (pohybuje se běžně mezi 0,6-0,9)
	e_t	[-]	0,95	snížení teploty během dne respektive noci (volí se podle provozu polodenní až celodenní 0,8-1)
	e_d	[-]	1	zkrácení doby vytápění u objektu s předávkami v provozu (pro budovy s provozem 7 dní se volí 1, pro budovy s provozem 6 denním 0,9, s provozem 5 denním 0,8)
	ϵ	[-]	0,76	opravný součinitel vyjadřující nesoučasnost vlivu přerušovaného vytápění a přírůžek výpočtu tepelných ztrát
	η_o	[-]	0,95	účinnost obsluhy (volí se v rozmezí 0,9-1, od kotelny na pevné paliva až po plynovou kotelnu, která je rozdělena do sekcí)
	η_r	[-]	0,98	účinnost rozvodu vytápění (dle provedení se volí 0,95-0,98)
	$Q_{VT,r}$	[MWh/rok] [GJ/rok]	8,33 30,00	Potřebné teplo pro vytápění, 1 kWh = 3,6 MJ/kg
Ohřev teplé vody	t_1	[°C]	10	teplota studené vody (volí se 10 °C)
	t_2	[°C]	55	teplota teplé vody (volí se 55°C)
	V_{P2}	[m ³ /den]	0,225	spotřeba vody za jeden den
	V_p	[m ³ /den*osob]	0,045	uvažujeme 0,082m ³ /osobu*den, min. 0,2m ³ /byt*den
	P_{os}	[osob]	5	počet osob v obytné jednotce
	ρ	[kg/m ³]	1000	hustota vody
	c	[W/kg*K]	1163	měrná tepelná kapacita vody
	c	[J/kg*K]	4186	měrná tepelná kapacita vody
	z	[-]	0,5	koeficient energetických ztrát (běžné stavby 0,5-1)
	E_{2t}	W/den	11773,13	teoretické teplo pro ohřev vody
	E_{2z}	W/den	5886,56	Tepelné ztráty při ohřevu
	$Q_{TUV,d}$	[kWh]	17,66	Potřebné teplo pro ohřev vody na den
	t_{svl}	[°C]	15	teplota studené vody v létě
	t_{svz}	[°C]	5	teplota studené vody v zimě
	N	[dny]	365	počet pracovních dní výhřevné soustavy v roce
	$Q_{TUV,r}$	[MWh/rok] [GJ/rok]	5,71 20,57	Potřebné teplo pro ohřev vody na rok, 1 kWh = 3,6 MJ/kg
Celková spotřeba	Q_R	[MWh/rok] [GJ/rok]	14,05 50,57	Celková roční spotřeba energie na ohřev vody a vytápění, 1 kWh = 3,6 MJ/kg

Příloha 2 – Graf výhřevnosti dřeva v závislosti na vlhkosti [55]



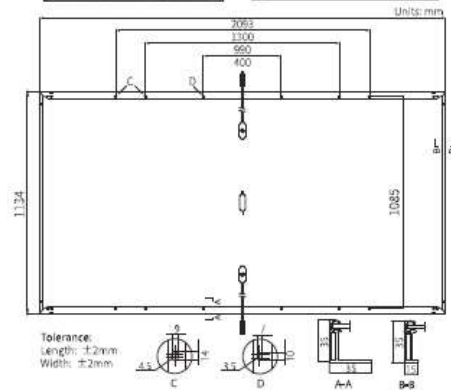
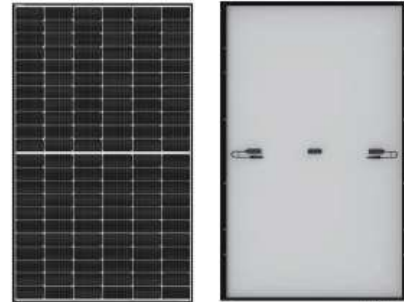
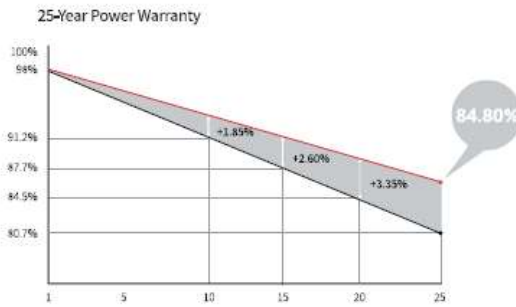
Příloha 3 – datový list fotovoltaického panelu

Hi-MO 5m

LR5-66HIH 490~510M

21.5% MAX MODULE EFFICIENCY	0~3% POWER TOLERANCE	<2% FIRST YEAR POWER DEGRADATION	0.55% YEAR 2-25 POWER DEGRADATION	HALF-CELL Lower operating temperature
--	-----------------------------------	--	--	---

Additional Value



Mechanical Parameters

Cell Orientation	132 (6×22)
Junction Box	IP68, three diodes
Output Cable	4mm ² , 1600mm
Connector	MC4 EVO2
Glass	Single glass, 3.2mm coated tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy frame
Weight	25.3kg
Dimension	2093×1134×35mm
Packaging	31pcs per pallet / 155pcs per 20' GP / 682pcs per 40' HC

Electrical Characteristics STC : AM1.5 1000W/m² 25°C NOCT : AM1.5 800W/m² 20°C 1m/s Test uncertainty for P_{max}: ±3%

Module Type	LR5-66HIH-490M		LR5-66HIH-495M		LR5-66HIH-500M		LR5-66HIH-505M		LR5-66HIH-510M	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (P _{max} /W)	490	366.3	495	370.0	500	373.7	505	377.5	510	381.2
Open Circuit Voltage (V _{oc} /V)	45.25	42.55	45.40	42.69	45.55	42.83	45.70	42.97	45.85	43.11
Short Circuit Current (I _{sc} /A)	13.74	11.11	13.82	11.17	13.90	11.24	13.97	11.30	14.05	11.36
Voltage at Maximum Power (V _{mp} /V)	38.08	35.37	38.23	35.51	38.38	35.65	38.53	35.79	38.68	35.93
Current at Maximum Power (I _{mp} /A)	12.87	10.35	12.95	10.42	13.03	10.48	13.11	10.55	13.19	10.61
Module Efficiency (%)	20.6		20.9		21.1		21.3		21.5	

Příloha 4 – Datový list akumulátorů

Produktový list	ARK 7.6H	ARK 10.2H	ARK 12.8H	ARK 15.3H	ARK 17.9H	ARK 20.4H	ARK 23.0H	ARK 25.6H
Ukázka systému								
Bateriový modul	ARK 2.5H-A1 (2.56kWh, 51.2V, 30kg)							
Počet modulů	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapacita	7.68kWh	10.24kWh	12.8kWh	15.36kWh	17.92kWh	20.48kWh	23.04kWh	25.6kWh
Jmenovité napětí	153.6V	204.8V	256V	307.2V	358.4V	409.6V	460.8V	512V
Rozsah provozního napětí	141.6–170.4V	188.8–227.2V	236–284V	283.2–340.8V	330.4–397.6V	377.6–454.4V	424.8–511.2V	472–568V
Rozměry (Š/H/V)*1	610/250/770mm	610/250/970mm	610/250/1170mm	610/250/1370mm	610/250/1570mm	610/250/1770mm	610/250/1970mm	610/250/2170mm
Hmotnost	100kg	130kg	160kg	190kg	220kg	250kg	280kg	310kg
Obecné								
Typ baterie	Litium železo fosfátová baterie bez kobaltu (LFP)							
Stadardní nabíjecí /vybíjecí proud	25A/0.5C							
Maximální nabíjecí /vybíjecí proud	50A/1C							
Stupeň krytí	IP65							
Instalace	Nástěnná nebo pozemní *2							
Provozní teplota	-10–50°C*3							
Vlastnosti								
DoD	90%							
Záruka: 5 let /10 let	Ano/volitelně							
BMS ovladač	HVC 60050-A1							
Hmotnost	10kg							
Komunikační port	CAN							
Rozměry (Š/H/V)	610/250/170mm							
BMS parametry monitorování	SOC, systémové napětí, proud, napětí článku, teplota článku, měření teploty PCBA							

Příloha 5 – Krbová kamna



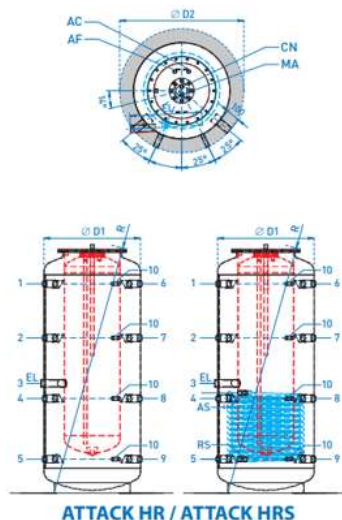
Technický list Romotop ESPERA 03 plech - krbová kamna s teplovodním výměníkem a dvojitým prosklením

Romotop technical sheet ESPERA 03 steel - fireplace stove with water exchanger and double glazing

Technisches Datenblatt Romotop ESPERA 03 Stahl - Kaminofen mit Wärmewasseraustauscher

Obj.kód / Order code / Bestellcode	ESPERA 03	
Splněná legislativa Meets requirement limit values for Prüfungen		
EN 13 240		●
DIN plus		●
BImSch V 2		●
Vlastnosti při provozu Features during operation Leistungseigenschaften		
Ecodesign (Sezónní energetická účinnost vytápění) Ecodesign (Seasonal energy efficiency of heating) Ecodesign (Raumheizungs-Jahresnutzungsgrad)	%	70,1
Index energetické účinnosti (EEI) Energy efficiency index (EEI) Energieeffizienzindex (EEI)		106,2
Energetický štítek Energy Label Energieeffizienzklasse		A
Typ paliva Fuel Verwendeter Brennstoff		Kusové dřevo/Scheitholz/Piece wood
Délka paliva Length of fuel Ausmaß des Brennstoff	mm	250
Průměrná spotřeba paliva Average wood consumption Durchschnittlicher Brennstoffverbrauch	kg/h	2,900
Povolená dávka paliva Allowed wood batch Maximal Brennstoffverbrauch	kg/h	3,8
Interval dodávky paliva Fuel supply interval for the rated output Zeitabstand der Brennstoffbeschickung für die Nennleistung		1 hodina/1 Stunde/1 hour
Množství spalovacího vzduchu Combustion air requirement Verbrennungsluftbedarf	m ³ /h	36,8
Jmenovité hodnoty General data Nennwertes		
Jmenovitý výkon Nominal heat output Nennwärmeleistung	kW	10,0
Regulovatelný výkon Reg.output Reg.Gesamtleistung	kW	5,0 - 13,0
Jmenovitý výkon teplovodního výměníku Water heat output Austauschleistung	kW	7,0
Regulovatelný výkon teplovodního výměníku Water Reg.output Reg. Leistung des Warmwasseraustauschers	kW	3,5 - 9,1
Účinnost Efficiency Wirkungsgrad	%	80,14
Hmotnostní průtok suchých spalin Dry flue gases mass flow Massendurchfluss von trockenen Abgasen	g/s	7,9
Průměrná teplota spalin Mean flue gas temperature Durchschnittliche Abgastemperatur	°C	288
Průměrná teplota spalin za hrdlem Mean flue gas temperature after throat Durchschnittliche Rauchgastemperatur nach dem Hals	°C	292
Provozní tah Flue draught Förderdruck	Pa	12
Prach - O ₂ =13% Dust - O ₂ =13% Staub - O ₂ =13%	mg/Nm ³	34
CO - O ₂ =13%	mg/Nm ³	1035
CO ₂	%	10,88
OGC - O ₂ =13%	mg/Nm ³	68

Příloha 6 – Akumulační nádrž



- LEGENDA:**
- 1 – Stúpačka kotol 1 ½"
 - 2 – Voľne k dispozícii 1 ½"
 - 3 – El. vykurov. špirála (EL) 1 ½"
 - 4 – Voľne k dispozícii 1 ½"
 - 5 – Spätočka vykurov. okruh 1 ½"
 - 6 – Stúpačka vykurovací okruh (radiátory) 1 ½"
 - 7 – Stúpačka vykurovací okruh (podlaha) 1 ½"
 - 8 – Spätočka plynový, olejový a peletový kotol 1 ½"
 - 9 – Spätočka kotol na drevo 1 ½"
 - 10 – Snímač solárneho systému, alebo kúrenia 1"
 - AS – Stúpačka solár. syst. 1"
 - RS – Spätočka solár. syst. 1"
 - D1 – Priemer bez izolácie
 - D2 – Priemer s izoláciou
 - CN – Čerpadlo cirkul. nádrže ¾"
 - AF – Studená pitná voda ¾"
 - AC – Teplá užitková voda ¾"
 - MA – Horčiková anóda –

AKUMULAČNÉ NÁDRŽE ATTACK HR, ATTACK HRS

Akumulačné nádrže **ATTACK HR, HRS** sú vyrobené z kvalitnej ocele a slúžia nielen na akumuláciu vody pre vykurovanie, ale i na výrobu TUV s vnútorným smaltovaným zásobníkom. Model **ATTACK HRS** je navyše osadený jedným výmenníkom na pripojenie do solárneho systému. Tieto typy nádrží majú zabudovanú horčikovú anódu v zásobníku TUV pre zvýšenie odolnosti voči korózii. V hornej časti je zabudovaný manuálny odvzdušňovací ventil.

ATTACK HR: 9x nátrubok G 1 ½", 6x nátrubok G ½"

ATTACK HRS: 9x nátrubok G 1 ½", 6x nátrubok G ½", 2x nátrubok G 1" – solárny okruh

Typ	Zásobník										Solárny výmenník			Vnútorný zásobník		Zásobník							
	Polehla 1-6	Polehla 2-7	Polehla 3	L – max. dĺžka elektrického vykurovacieho telesa	Polehla 4-8	Polehla 5-9	Polehla RS	Polehla AS	Ø D1 – Priemer bez izolácie	Ø D2 – Priemer s izoláciou 100 mm	Výška	Výška s izoláciou 100 mm	R – Sčítaný rozmer bez izolácie	Max. pracovná teplota (°C)	Max. pracovný tlak (bar)	Plocha výmenníka (m²)	Objem výmenníka (l)	Max. pracovný tlak (bar)	Objem (l)	Max. pracovná teplota (°C)	Max. pracovný tlak (bar)	Objem (l)	Hmotnosť (kg)
HR600K	1 515	1 123	794	650	684	245	-	-	700	900	1 754	1 854	1 841	95	3	-	-	-	160	95	6	445	157
HR800K	1 545	1 135	846	735	725	315	-	-	790	990	1 806	1 906	1 898	95	3	-	-	-	160	95	6	553	157
HR1000K	1 735	1 255	1 036	735	775	295	-	-	790	990	1 996	2 096	2 081	95	3	-	-	-	160	95	6	731	172

Příloha 7 – Roční náklady alternativních zdrojů

Roční náklady						
Palivo/Zdroj tepla	Vytápění	Teplá voda	Elektro	Platby (paušál)	Investice a údržba	Celkem
Zemní plyn Kondenzační kotel	28 743 Kč	15 595 Kč	18 263 Kč	9 672 Kč	3 467 Kč	75 740 Kč
Tepelné čerpadlo (top. Fak. 3,3) Vzduch/voda	15 455 Kč	8 385 Kč	17 633 Kč	4 320 Kč	12 000 Kč	57 793 Kč
Elektrický přímotop Podlahové rohože a fólie	43 788 Kč	27 951 Kč	17 633 Kč	4 320 Kč	1 917 Kč	95 609 Kč
Elektrická akumulace Teplovodní akumulační nádrž	53 684 Kč	29 128 Kč	18 239 Kč	7 176 Kč	5 633 Kč	113 860 Kč