



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

OSTROVNÍ SYSTÉMY

AUTONOMOUS ENERGY SYSTEMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Filip Dolinský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	Bc. Filip Dolinský
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Energetické inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
Akademický rok:	2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Ostrovní systémy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na problematiku ostrovního zajištění zásobování energiemi v různých typech objektů. Zpracován bude přehled energetických potřeb vybraných objektů, možnosti zajištění produkce tepla a elektrické energie v ostrovních systémech, včetně souvisejících možností akumulace. Podrobně budou posouzeny realistické realizace energetického zásobování vybraných objektů, včetně ekonomické náročnosti dosažitelného stupně energetické autonomie.

Cíle diplomové práce:

1. Pro vybrané typy objektů stanovte charakteristické průběhy spotřeby elektřiny a tepla.
2. Zpracujte přehled zdrojů tepla a elektřiny pro autonomní systémy, včetně možností akumulace energie. Doplňte dohledatelnými pilotními realizacemi.
3. Na typových případech posuďte dosažený rozsah autonomie objektů včetně ekonomického posouzení.
4. Pro zvolenou variantu proveďte detailní návrh akumulátoru tepla.

Seznam doporučené literatury:

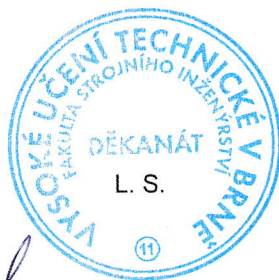
DVORSKÝ, E. a HEJTMÁNKOVÁ, P. , Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 8073001187.

PAVELEK, M., Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 9788021443006.

KUPPAN, T., Heat exchanger design handbook. USA, New York: Taylor and Francis, 2000. ISBN 0-8247-9787-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 23. 1. 2018



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce sa zaoberá problematikou využitia ostrovných, sebestačných a decentralizovaných systémov. V prvej časti sú spracované konvenčné, ale aj experimentálne zdroje energie pre ostrovné systémy. Druhá kapitola sa zaberá akumulátormi elektrickej i tepelnej energie a ich možnou aplikáciou. 3. časť opisuje realizované pilotné projekty pre ostrovné a smart systémy, ktoré vznikli za posledné roky. 4. kapitola rieši spotrebu elektrickej energie a tepla na dennej a mesačnej báze. Taktiež spracováva charakteristické krivky pre všetky 4 typové objekty. V piatej časti je rozobraná autonómnosť a pre dané budovy sú navrhnuté riešenia, ktoré sú doplnené investičnou návratnosťou. Posledná kapitola je zameraná na výpočet tepelného akumulátora a stručne rozoberá problematiku centrálného zásobovania teplom.

Kľúčové slová

Ostrovný systém, smart grid, off grid, hybridný systém, tepelné čerpadlo, palivový článok, fotovoltaická elektrárňa, kotol na biomasu, decentralizácia, sebestačnosť, solárny termický kolektor, sezónna akumulácia tepla, kogenerácia, trigenerácia

ABSTRACT

Master thesis deals with usage issues of autonomous, self-sufficient and decentralized systems. In the first part convectional and experimental sources for autonomous systems are disclosed. Second chapter deals with accumulation of electrical and thermal energy and possibilities of applications. 3rd part is focused on pilot project realized for autonomous and smart systems, which were built in last years. In the 4th chapter electrical and thermal energy consumption curves are made on daily and monthly basis for 4 type objects. In the fifth part issue of autonomy is explained, and for type buildings solutions are made with additional return on investment. The last chapter is focused on calculation of thermal accumulator and briefly discloses small district heating.

Key words

Autonomous energy system, smart grid, off grid, hybrid system, heat pump, fuel cell, photovoltaic power plant, biomass boiler, decentralization, self-sufficient, solar thermal collector, seasonal heat accumulation, kogeneration, trigeneration

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOLINSKÝ, F. *Ostrovní systémy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 103 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D..

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému Ostrovní systémy vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených v zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

.....
Dátum

Filip Dolinský

POĎAKOVANIE

Ďakujem týmto doc. Ing. Jřímu Pospíšilovi Ph.D. za cenné rady a pripomienky, ktoré mi poskytol pri vypracovaní záverečnej práce.

OBSAH

ÚVOD.....	13
1 Zdroje energie pre ostrovne systémy	14
1.1 Energia slnka.....	14
1.1.1 Fotovoltaické panely	14
1.1.2 Solárna termálna energia	17
1.2 Vodná energia	19
1.3 Tepelné čerpadlo	20
1.3.1 Typy tepelných čerpadiel.....	22
1.4 Energia vetra	23
1.4.1 Typy veterných turbín	23
1.5 Dieselový agregát	25
1.6 Kogeneračná jednotka.....	25
1.7 Trigeneračná jednotka.....	26
1.8 Palivový článok.....	27
1.9 Kotel na biomasu	28
1.10 Plynová elektrocentrála.....	29
2 Akumulácia energie v ostrovných systémoch	30
2.1 STES - Sensible Thermal Energy Storage	30
2.2 Zásobník na TUV	32
2.3 Zásobník na vodík.....	33
2.4 PCM - Phase change materials (Zásobníky latentného tepla)	33
2.5 Lítium-iónový akumulátor	34
2.6 Sodík-sírový akumulátor.....	35
2.7 Batéria so soľnou kúpeľou.....	35
3 Pilotné realizácie autonómnych systémov	36
4 Charakteristické spotreby energie pre typové objekty	39
4.1 Starý rodinný dom	40
4.2 Pasívny rodinný dom	42
4.3 Mestská štvrť	44
4.4 Administratívna budova.....	45
5 Autonómnosť objektov.....	48
5.1 Použité zdroje energie.....	48
5.2 Krivky merných kapitálových nákladov	50

5.3	Produkcia energie zo slnka.....	52
5.4	Starý dom	53
5.5	Pasívny dom	56
5.5.1	1. riešenie	56
5.5.2	2. riešenie	57
5.6	Obytná štvrť	58
5.6.1	1.Riešenie.....	58
5.6.2	2.Riešenie.....	61
5.6.3	3.Riešenie.....	62
5.7	Areál FSI	63
5.8	Zhrnutie použitých technológií	65
5.9	Stupeň autonómnosti	66
5.10	Náklady a rentability systémov	66
5.10.1	Starý dom	68
5.10.2	Pasívny dom 1. riešenie	68
5.10.3	Pasívny dom 2. riešenie	69
5.10.4	Rodinná zástavba	69
5.10.5	Zástavba 1. riešenie.....	70
5.10.6	Zástavba 2. riešenie.....	70
5.10.7	Zástavba 3. riešenie.....	71
5.10.8	Areál FSI.....	71
6	Akumulátor tepla.....	72
6.1	Distribučná sústava.....	72
6.2	Potrebné teplo.....	74
6.3	Teplota zeme	75
6.4	Celkové potrebné teplo.....	76
6.5	Použité materiály	76
6.6	Rovnice prostupu tepla.....	77
6.7	Rozmery a kapacita zásobníku	78
6.8	Tepelné čerpadlo a výmenník.....	79
6.9	COP tepelného čerpadla	82
6.10	Spotreba elektrickej energie	82
6.11	Ekonomické zhodnotenie	83
	ZÁVER	86

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	88
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK.....	98
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV	99
ZOZNAM POUŽITÝCH INDEXOV	100
ZOZNAM OBRÁZKOV	101
ZOZNAM TABULIEK	103
ZOZNAM PRÍLOH.....	104

ÚVOD

Mimo snahy o čo najvyššiu energetickú samostatnosť štátov, ktorá je obsiahnutá v energetickej strategickej koncepcii [1], poslednou dobou sa čoraz viac spomína aj inštalácia a prevádzka tzv. ostrovných systémov, popr. Smart Grid, kde užívateľ dokáže byť takmer úplne sebestačný. Či už sa jedná o objekt, ktorý je mimo dosahu inžinierskych sietí a ich budovanie nie je rentabilné, alebo o jedinca, ktorý chce byť sebestačný práve od siete, počet inštalovaných zariadení ročne narastá. V značnej miere za to môžu štátne dotácie na podporu OZE [2], konkrétne na fotovoltaičné panely, kotlíky na biomasu, tepelných čerpadel a pod.

V Českej republike nie sme zvyknutý na Black out siete, kde zasiahnutá časť populácie je bez dodávok energie, avšak vo svete sa jedná o bežný jav, ktorý nie je len v rozvojových zemiach. V Taliansku v roku 2003 došlo k výpadku elektrickej energie kvôli silnej búrke, ktorá zasiahla 57 miliónov ľudí. [3]

V Indii v roku 2012 bolo zasiahnutých 620 miliónov ľudí v dôsledku preťaženia siete a následnom výpadku 32GWp výkonu. Pravdepodobnosť výpadku energie v Českej Republike je minimálna, avšak so zmenou počasia a klímy, ktorá pomaly nastáva sa podľa štúdie PwC z roku 2010 zvýši o 46% v roku 2030 pre EU, ktorej členom je zmienené Česko.[4] Ako ochrana, resp. zníženie následkov výpadku, môžu do značnej miery slúžiť ostrovné systémy, nehovoriac o úspore za energie. Ich aplikácia je možná buď na malé objekty ako sú chaty alebo rodinné domy, ale aj kancelárske budovy, priemyselné objekty a v neposlednom rade na mestské štvrte.

Cena ostrovných systémov rapídne klesá, a to ju robí dostupnejšou pre zákazníkov. Cena fotovoltaičného panelu klesla o 75% za posledných 10 rokov a za rovnaké obdobie náklady na batériové akumulátory boli zredukované o 25%. Výhodou je možnosť kombinovať viaceré zdroje a akumulátory, a tým vytvárať hybridné systémy, ktoré znižujú pravdepodobnosť veľkého prebytku, alebo naopak nedostatku energie.[5]

Na základe výročnej správy Energetického regulačného úradu, v roku 2016 tvorili straty v prenosovej a distribučnej sústave 5.6% z celkovej energie. Časť tejto zmarenej energie je možné znížiť, pokiaľ by došlo k rozumnej decentralizácii energetických zdrojov a zmenšením vzdialeností prenosu energie.[6]

Podľa ČEPS je potrebné, aby bola vždy k dispozícii výkonová záloha za najväčší zdroj elektrickej energie. V Českej republike sa jedná o blok jadrovej elektrárne Temelín o výkone 1055MW. To znamená, že pri výpadku musí mať štát k dispozícii viac ako 1 GW výkonu, ktorá dokáže čo najskôr začať pracovať a vyrábať energiu. V prípade použitia menších decentralizovaných systémov, by došlo k radikálnemu zmenšeniu výkonu zdrojov v podporných službách.[7]

1 Zdroje energie pre ostrovne systémy

Energiu nie je možné vyrobiť, ale iba transformovať z jednej formy na druhú. Obnoviteľné zdroje energie vhodné pre ostrovne systémy sú prevažne energia slnka, vody, vzduchu, či tepelná uložená v zemi. Mimo týchto zdrojov je možné premeniť energiu spaľovaním fosílnych palív ako je zemný plyn, uhlie, alebo iné ropné produkty.

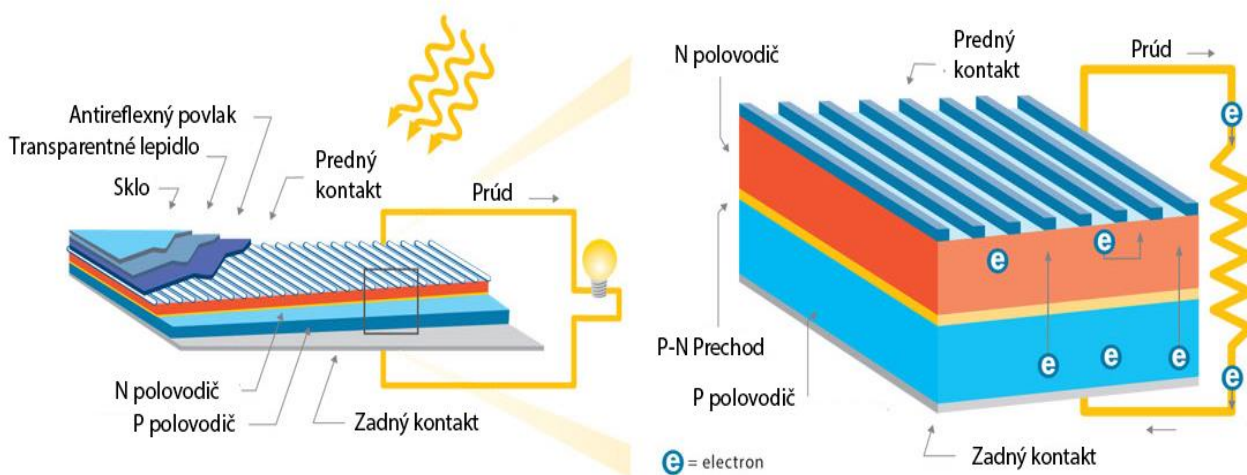
1.1 Energia slnka

Energia slnečného žiarenia neustále dopadá na zemský povrch. Dokážeme ju využiť na výrobu elektrickej energie, alebo tepla pre ohrev úžitkovej vody. [8]

1.1.1 Fotovoltaický panel

V súčasnosti sa jedná o najpoužívanejší spôsob premeny slnečnej energie na elektrickú pre ostrovne systémy. Na rozdiel od termálnych solárnych elektrární dochádza k priamej premene energie pomocou fotoelektrického javu a nevyžaduje zložitý okruh s parnou turbínou, čo ju tvorí vhodnou aj pre aplikácie s menším výkonom.

Panel je tvorený polovodičovou diódou, ktorej základ je založený väčšinou na báze kremíku, alebo na drahšom arzenite gália. Dióda pozostáva z 2 vrstiev, P (kladná) a N (záporná), medzi ktorými sa nachádza PN prechod. Ten umožňuje prestup elektrónov len v jednom smere. Prímes spodnej P vrstvy je bór (3 valenčné elektróny) a vrchnej N vrstvy fosfor (5 valenčných elektrónov). Elektróny prechádzajú z P vrstvy cez polopriepustnú membránu do N vrstvy a následne do okruhu, kde sa tvorí elektrické napätie o cca. 0,5-0,6V. Pomocou zapojenia v sérii, alebo paralelne sa navyšuje prúd a napätie na požadované hodnoty.[8]



Obrázok 1 Princíp fungovania fotovoltaického panelu a jeho konštrukcia [9]

K uvoľneniu elektrónov z valenčných vrstiev je potrebná energia dopadajúceho žiarenia, kde pre kremík je nutné približne 1,1eV a pre arzenit gália 1,4eV. [10]

Celkovo fotovoltaický panel pozostáva z polovodičových diód (P a N), ktoré sú položené na pevnom základe, napr. preglejke. Ochranu diódy zabezpečuje antireflexná vrstva a tvrdené sklo. Kontakt medzi nimi je vymedzený transparentným gélom. Celá konštrukcia je uložená v kovovom (najčastejšie duralovom) ráme. [10]

V súčasnosti sa vyrábajú 3 hlavné typy fotovoltaických panelov o rôznych účinnostiach a výrobných procesoch.

Monokryštalický kremík- vyrába sa kryštalizáciou z taveniny kremíka, ktorá je následne narezaná na požadované rozmery. Proces je energeticky viacej náročný, ako u polykryštalických článkov, avšak dosahuje vyššie účinnosti, ktoré každým rokom stúpajú. Momentálne dosahujú 22% u komerčných panelov[11]

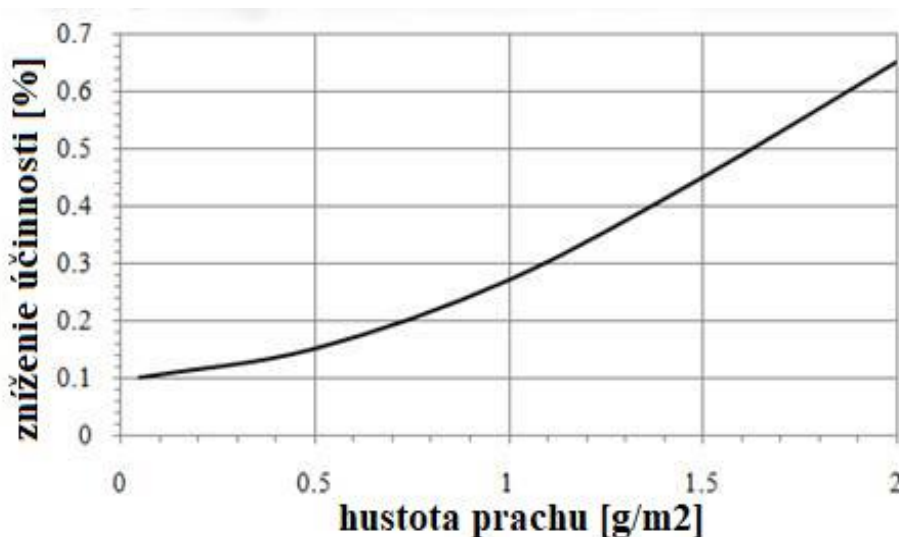
Polykryštalický kremík – vyrába sa chemicky, výroba je menej nákladná avšak na úkor účinnosti, ktorá sa pohybuje do 16% .Je najčastejšie používaný a jeho podiel na trhu dosahuje polovice celkového inštalovaného výkonu. [11]

Amorfny kremík – metóda založená na princípe sprejovania materiálu na sklo, popr. kovový povrch v tenkých vrstvách, kde dochádza k vytvoreniu jedného veľkého modulu. Veľmi lacné, avšak účinnosť je len okolo 10%. [11]

Vplyv teploty a okolia na výkon

Výkon solárnych panelov je mimo iného závislý aj na teplote okolia. Testovanie parametrov článkov výrobcom sa uskutočňuje pri 25°C, avšak prevádzkové teploty sa líšia. S rastúcou teplotou nepatrne rastie prúd, ale značne klesá generované napätie. Pre kremíkové panely sa jedná o úbytok 0,4-0,5% na 1°C. Pri systéme o nominálnej hodnote 6kW to pri letnom dni o teplote 36°C znamená reálny výkon 5,67kW, a teda pokles o 5%. [12]

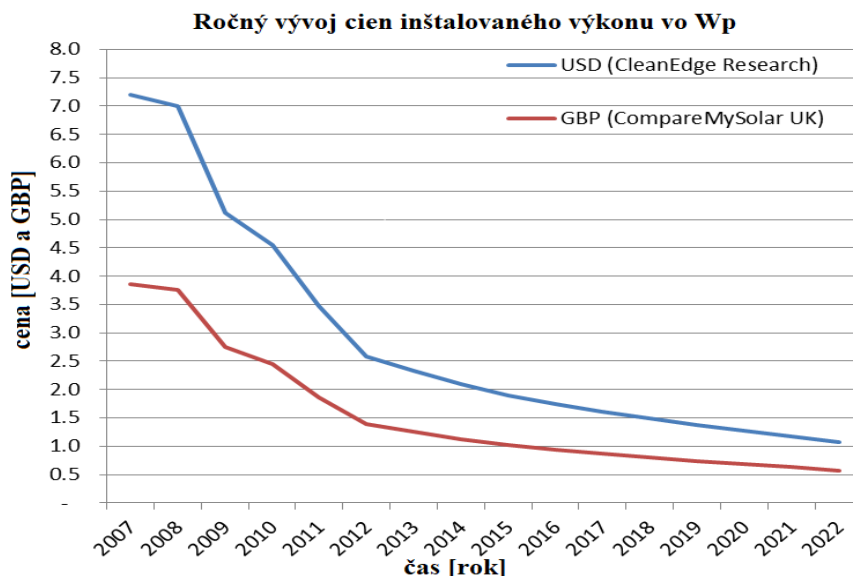
Mimo teploty znižuje výkon panelov aj ich zanášanie vplyvom okolitého prostredia. Nánosy prachu na povrchu článkov znižujú funkčnú plochu. Pre zachovanie čo najvyššej účinnosti je nutná údržba zariadenia.



Obrázok 2 Graf závislosti zníženia účinnosti na zanesení plochy PV [13]

Účinnosti solárnych panelov sa zvyšujú v závislosti na zlepšovaní použitých technológií. Jedným z veľkých nedostatkov solárnych panelov bola v minulosti cena, ktorá ich robila vysoko nerentabilné a boli schopné pracovať len s vysokými štátnymi dotáciami. V roku 2007 stál 1kW inštalovaného výkonu cez 4000€ a v roku 2018 sa ceny panelov pohybujú už na úrovni 500€/kW.[14]

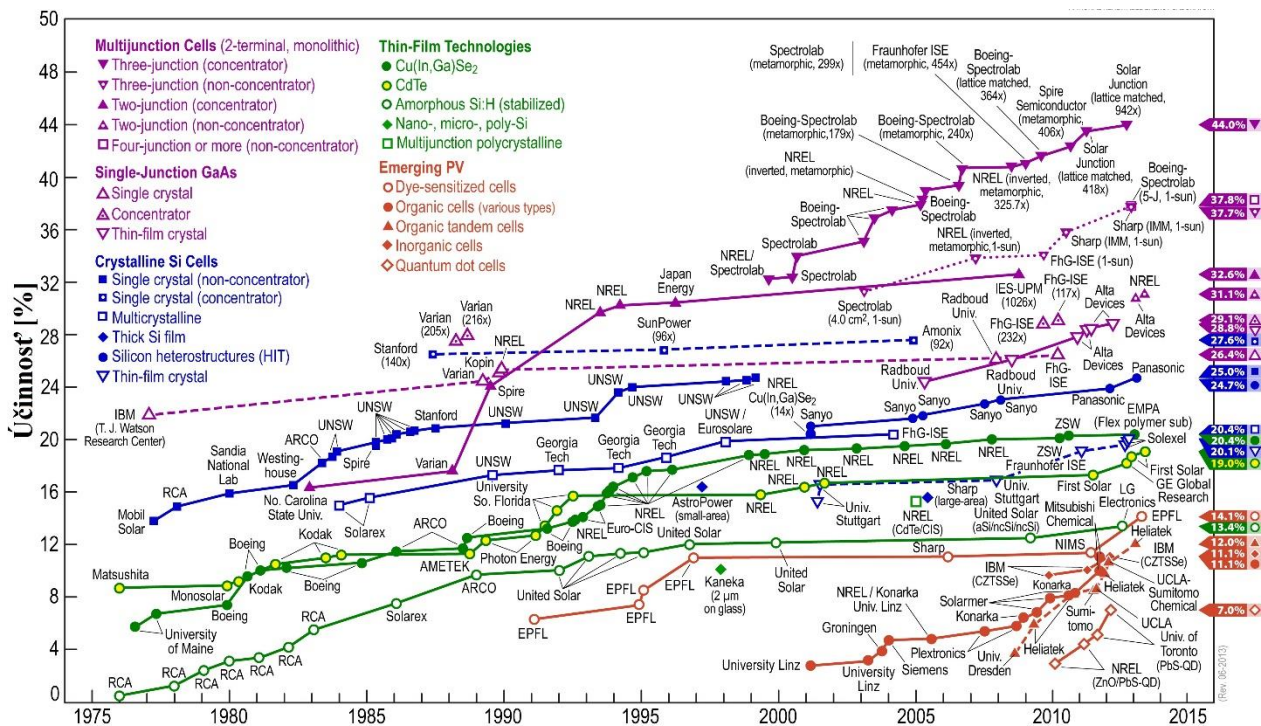
Z vývoja cien za inštalovaný watt je vidieť, že cena za posledných 10 rokov sa vo Veľkej Británii zredukovala na štvrtinu a v USA dokonca na pätinu, čím sa z fotovoltaickej energie stáva lukratívnejší zdroj.



Obrázok 3 Ročný vývoj cien inštalovaného výkonu vo Wattoch [14]

Jeden z ďalších problémov solárnych panelov je ich degradácia v závislosti na čase. V prípade najpoužívanejších polykryštálických článkov sa jedná približne o 0,64% za rok a monokryštálických 0,36%. Väčšina výrobcov garantuje maximálne zníženie účinnosti o 10% za 25 rokov prevádzky. [15]

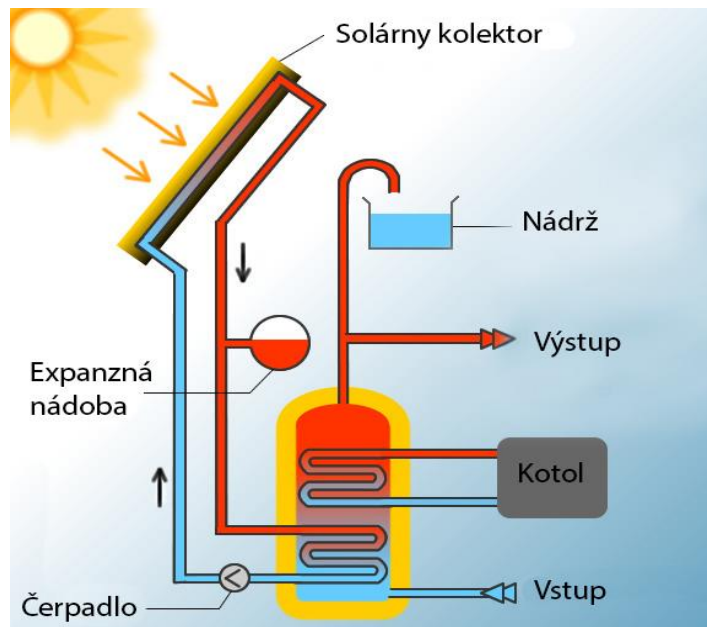
Na rozdiel od ostatných zdrojov elektrickej energie, ako je napríklad vodná alebo mechanická v parnej elektrárni sa v súčasnosti nedajú fotovoltaické články opravovať, to



Obrázok 4 Graf vývinu účinností jednotlivých technológií pre PV [10]

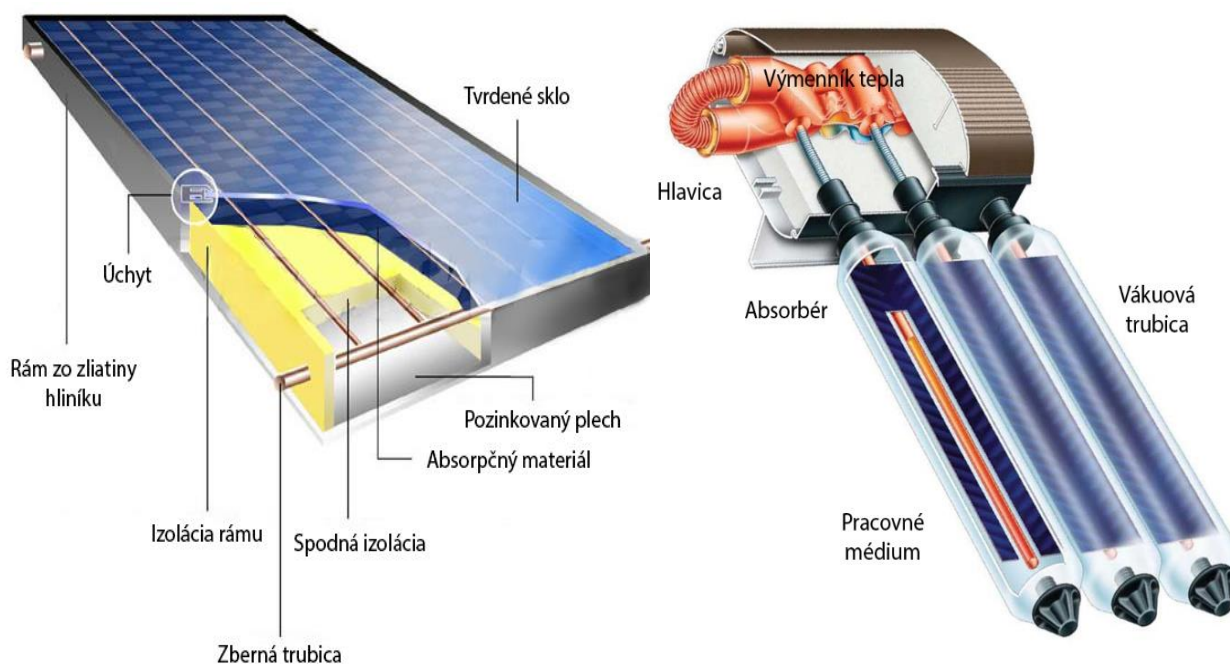
znamená že po ukončení ich životného cyklu je potrebné ich spracovať ako odpad, resp. recyklovať a použiť znova. Tým že sa jedná o relatívne novú technológiu, špeciálne centrá na recykláciu chýbajú a predpokladá sa, že väčšie množstvo panelov doslúži až v roku 2030.[16]

1.1.2 Solárna termálna energia



Obrázok 5 Schéma princípu solárneho kolektora [17]

Ďalším využitím energie slnka v ostrovných systémoch je pre ohriate úžitkovej vody. Na streche je umiestnený solárny termický kolektor, v ktorom prúdi chladivo a vplyvom slnečného žiarenia, ktoré sa nedokáže odraziť naspať do atmosféry, ale je pohltené, sa ohrieva médium, ktoré vstupuje do akumulačnej nádrže. V nej sa nachádza výmenník chladivo-voda a ohrieva



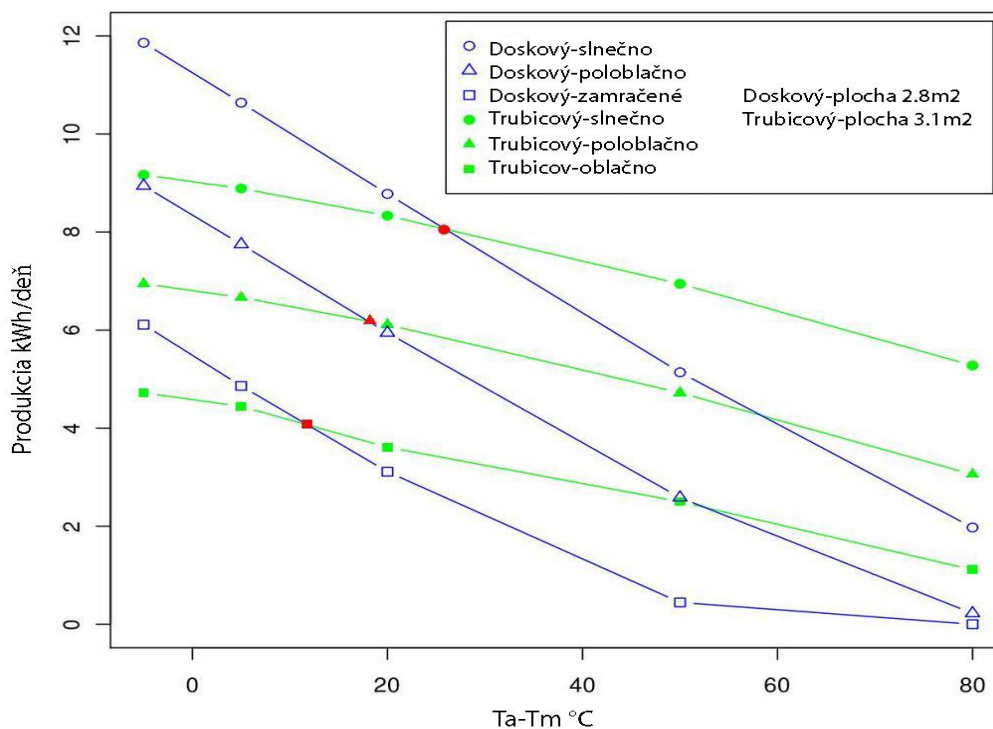
Obrázok 6 Doskový a trubkový solárny kolektor [19][20]

vodu v akumulátore pomocou tepelnej energie dodanej z kolektora. Pokiaľ nie je teplo dodané solárnym systémom dostatočujúce (prevažne v zimnom období), nachádza sa v nádrži ďalší výmenník, ktorý privádza médium z kotla a dohrieva vodu na požadovanú teplotu.

U doskového kolektora trubice s médium ležia v rozhraní dvoch vrstiev, selektívnej a čiernej. Slnéčné žiarenie dopadne na čiernu dosku, ktorá ho pohltí a začne vyžarovať, avšak selektívna ho nedokáže absorbovať resp. prepustiť tým pádom sa teplo drží medzi týmito doskami spolu s trubicami výmenníku, ktoré následné ohrievajú. Dosahované teploty vo vnútri sa pohybujú až do 200°C. [18]

Trubkový kolektor pozostáva so sérii trubiiek, v ktorých prúdi médium obalené vo vákuu. Slnéčné žiarenie je pohltené absorpčným materiálom. Vákuum nie je možné použiť u doskových kolektorov, kvôli vysokému tlaku na plochu. [18]

Pri solárných kolektoroch sa často neudáva tepelný výkon zdroja, ale funkčná plocha, kde dochádza k predaniu tepla z radiačného slnečného žiarenia. Účinnosť kolektora je priamo závislá na delte teploty medzi strednou teplotou v kolektore a teplotou okolia.



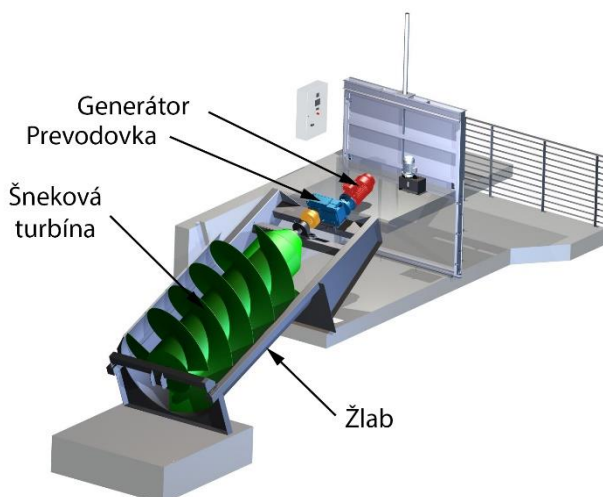
Obrázok 7 Závislosť produkcie na delte teploty [21]

Z grafu je zrejmé, že doskové výmenníky dosahujú vyššej účinnosti pri nízkej delte teploty, a trubicový zase pri vysokej. Prechod medzi účinnosťami je znázornený červeným bodom.

Termické ohrevy sú bežne používané v našich zemepisných výškach a dokážu byť nainštalované na väčšinu objektov. Pretože nevyžadujú žiadne špeciálne požiadavky a robia sa už od malých výkonov, sú vhodné na použitie pre ostrovne systémy.

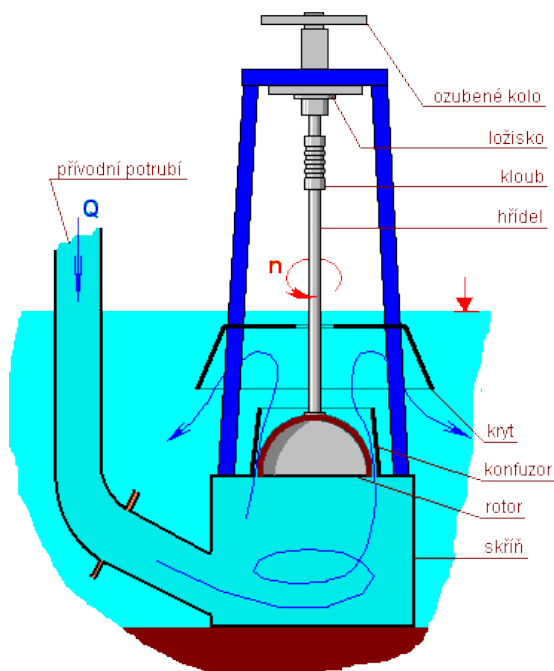
1.2 Vodná energia

Má v obnoviteľných zdrojoch významný podiel. Je založená na princípe premeny tlakovej, alebo kinetickej energie vody na moment na hriadeli turbíny a následne na elektrickú v generátore. V oblasti ostrovských systémov sa klasické konvenčné elektrárne uplatnia len pre firmy alebo mestské štvrte. Výstavba vodnej elektrárne si vyžaduje špecifické podmienky, ktoré je nutné najprv splniť, aby mohla byť zdrojom elektrickej energie. Navyše sa možnosť využitia hydroenergetického potenciálu stále znižuje vplyvom výstavby nových vodných diel., preto sa o vodných elektrárnach ako zdrojoch pre ostrovské systémy nedá celoplošne uvažovať.



Obrázok 8 Model šnekovej turbíny [22]

Za zmienku stojí Archimedova špirála, ktorá je nenáročná na údržbu, a jej účinnosť sa takmer vôbec nemení počas zmeny prietoku, kde dokáže pracovať od 15-120% menovitého hltosti. S účinnosťou okolo 90% sa radí medzi hydraulické stroje s najlepším využitím spádu vhodného spádu. Je používaná na nízke spády a široké spektrum prietokov, čo ju tvorí vhodnú na využitie ešte stávajúceho hydroenergetického potenciálu. [23]



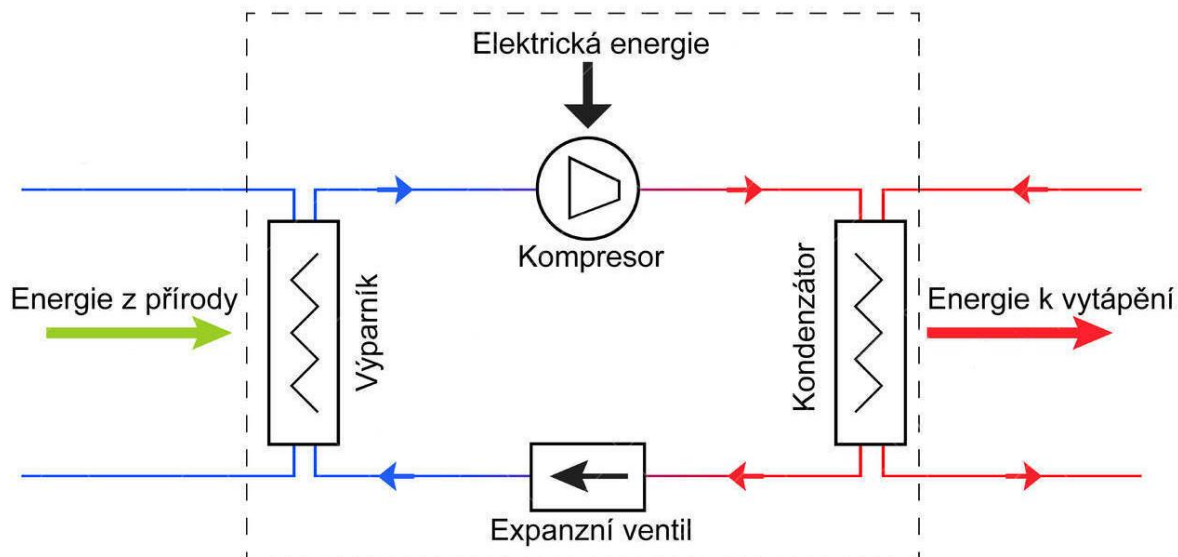
Obrázok 9 Turbína SETUR [24] [25]



Omnoho zaujímavejšie pre sídla s malým príkonom (rádovo v jednotkách kW) sa môže javiť turbína typu SETUR. Táto bez lopatková turbína s prietokom od pár desiatok litrov a spádom od 0,6 metra je založená na princípe hydrodynamického paradoxu, ktorý tvrdí že čím rýchlejšie prúdi tekutina medzi telesami, tým väčšia sila ich ovplyvňuje a majú tendenciu sa k sebe približovať. Prúd vody je hnaný do savky turbíny tangenciálne, tým spôsobuje odvaľovanie po stene, a následný moment na hriadeli, ktorý generuje elektrický prúd. Jej účinnosť dosahuje 40-70% v pracovnom rozsahu 40-120% menovitého prietoku. Je vhodná aj pre horské toky s premenlivým prietokom. Výhodou je jej kompaktnosť a jednoduchosť, pretože zákazník dostane celý prenosný systém. Vyrába sa sériovo v pár verziách. Trpí na abráziu časticami, ktoré sa nachádzajú vo vode, ale tomu je možné zamedziť buď filtrom pred turbínou, alebo vybudovaním jímky na diele. [24]

1.3 Tepelné čerpadlo

Funguje na princípe čerpania tepla z okolitého prostredia, kompresorom sa potom stlačí chladivo v plynnej fázi na požadovanú teplotu a presunie sa do objektu. K funkcii potrebuje tepelné čerpadlo zdroj elektrickej energie. Teplo je možné odoberať z rôzneho okolia, ako napr. vzduch, zem, alebo voda.



Obrázok 10 Princíp funkcie tepelného čerpadla [27]

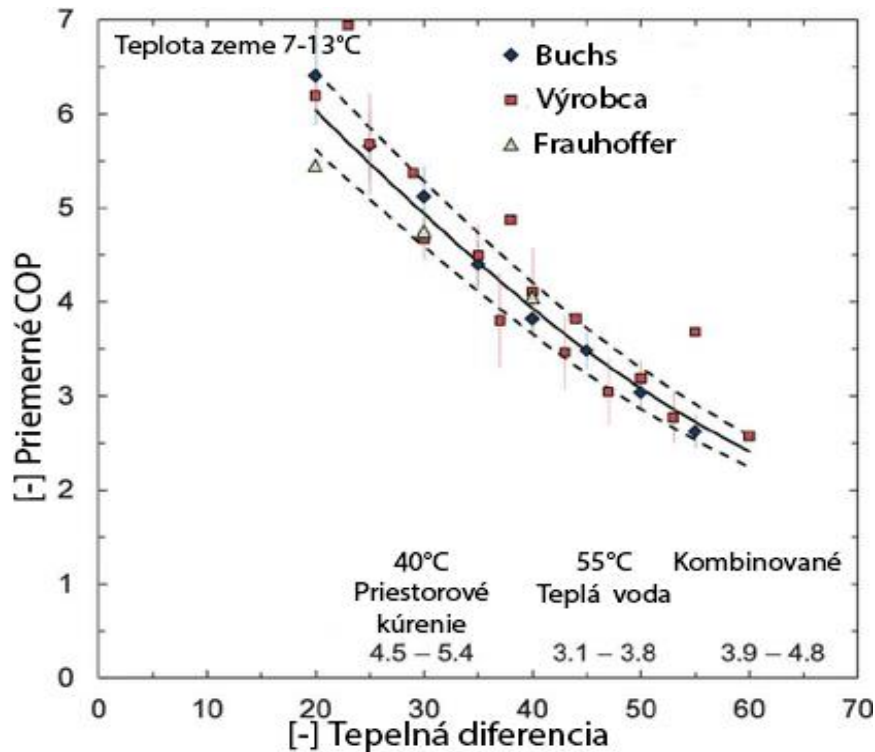
Vo **výparníku** privádzané chladivo odoberá teplo z okolia, a vyparuje sa na plynné skupenstvo. V **kompresore** dochádza k stlačeniu plynu na vyšší tlak a teplotu, ktorý následne ide do **kondenzátoru**, kde svoje teplo odovzdá do systému a dochádza ku kondenzácii média, ktoré následne cez expanzný ventil zníži svoju teplotu, zvýši mený objem a zmení sa skupenstvo. [27]

Pri výbere a návrhu tepelného čerpadla je dôležitým parametrom topný faktor (COP), ktorý nám udáva pomer tepelného výkonu k spotrebovanej elektrickej energii. [27]

$$COP = \frac{\text{množstvo vyrobeného tepla [kW]}}{\text{množstvo spotrebovanej elektrickej energie [kW]}} [-] \quad (1.1)$$

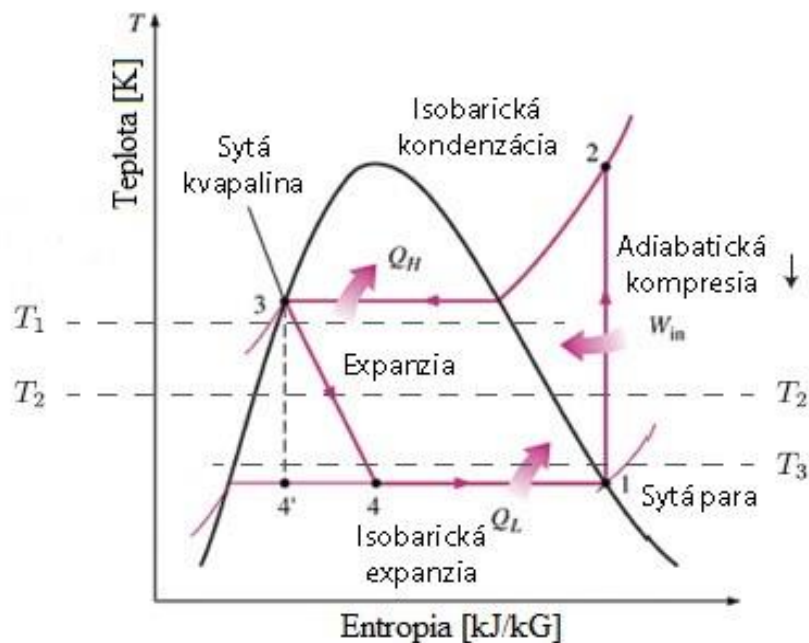
Zo vzorca je zrejmé, že pokiaľ by topný faktor dosahoval hodnôt menších ako 1, je prevádzka z energetického hľadiska neekonomická, a množstvo spotrebovanej elektrickej

energie je vyššie ako tej vyrobenej vo forme tepla. Všeobecne sa, ale minimálny ekonomický topný faktor uvažuje približne od hodnoty 2 a vyššie.



Obrázok 11 Graf závislosti topného faktoru na delte teplôt [29]

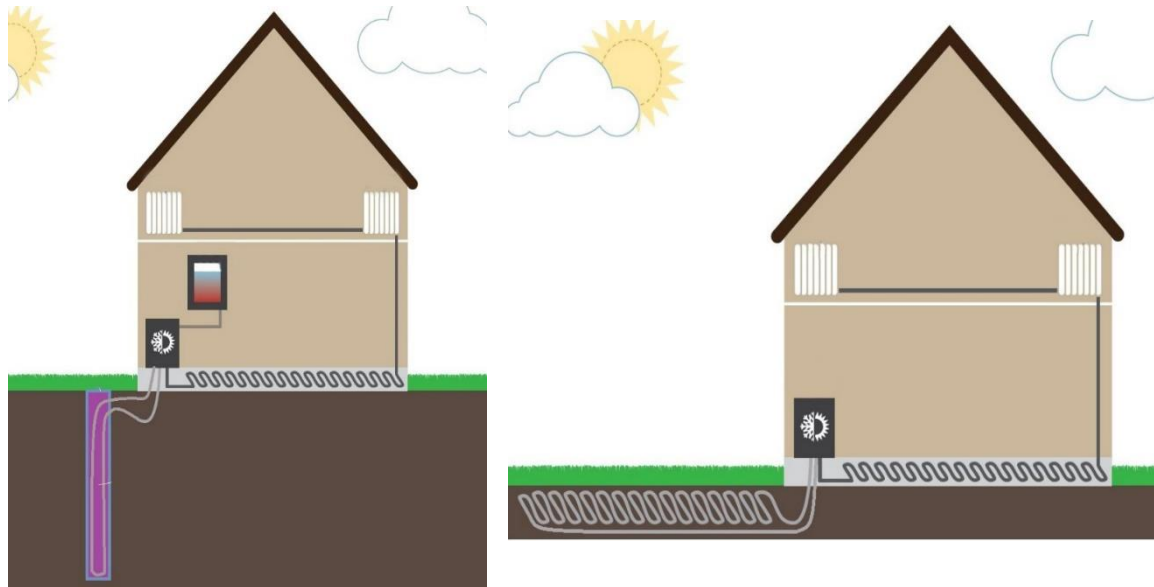
Hodnota COP kolíše podľa okolitých podmienok, a môže sa pohybovať v rozpätí 1.5-9, preto je veľmi dôležitý výber správneho čerpadla a teplotu, ktorú bude dodávať. Omnoho prehľadnejším a jednoduchším faktorom je SCOP (Seasonal coefficient of performance), ktorý nám udáva priemernú hodnotu COP počas roka pre rôzne teplotné pásma.[28]



Obrázok 12 Obeh tepelného čerpadla v T-s [30]

V lete tepelné čerpadlo funguje ako klimatizácia, a tým zvyšuje absolútny počet pracovných hodín v roku. Spolu s letnou prevádzkou môže pracovať približne 2400 hodín ročne. [31]

1.3.1 Typy tepelných čerpadiel



Obrázok 13 Tepelné čerpadlo na princípe vrtu a plošného kolektora [33]

Vzduch - Jednotka býva pripevnená k stene domu a pracovným médiom je nasávaný vzduch, ktorý je následne stlačený na vyššiu teplotu. Potom svoje teplo odovzdá buď vzduchu, tento systém sa nazýva vzduch-vzduch, alebo vode, vzduch-voda. Voda následne vykuruje objekt, napríklad pomocou podlahového kúrenia. Tieto čerpadla ideálne pracujú s COP faktorom okolo 4. Sú podstatne lacnejšie ako čerpadlá s podzemným kolektorom a vhodné skôr do zastavaných oblastí, kde nie je možné kopať obeh s podzemným kolektorom. [32]

Zem - Teplo je získavané zo zeme a následne použité buď na priame ohriatie vzduchu, systém zem-vzduch, alebo ide do okruhu s vodou, zem-voda. Pod zemským povrchom sa nachádzajú trubice (výmenník) v ktorých prúdi nemrznúce médium. Môžu byť buď usporiadané v horizontálnom plošnom kolektore približne 1,5 metra pod zemou. Toto riešenie vyžaduje veľkú plochu, približne 30m² na 1kW tepelného výkonu. Pri vertikálnom vrte sú trubice vyvedené zvislo do hĺbky až 300m. Nie sú odkázané na regeneráciu zdroja.[33]

Voda - teplo je odoberané zo zdroja, ktorý môže byť buď podzemné ložisko vody, studňa, ale aj povrchový zdroj vody, preto je tento systém nazývaný voda-voda. Môže byť navrhnutý ako uzavretý okruh, alebo otvorený, kde sa médium vracia naspäť do zdroja a necirkuluje v systéme. [32]

Tepelné čerpadlá, ako aj iné zdroje môžu pracovať v kombinovanom režime, kde môžu byť napríklad zapojené pred plynovým kotlom, kde predhrievajú vodu na určitú teplotu v období, kedy ich COP je nízke a teda prevádzka nie je až taká ekonomická, popr. parametre nie sú dostatočné k požiadavkám.[32]

1.4 Energia vetra

Vietor vzniká v dôsledku vyrovnávania tlakov v atmosfére. Tento rozdiel zapríčiňuje nerovnomerné ohrievanie. K výrobe elektrickej energie dochádza v generátore, ktorý je poháňaný veternou turbínou. Moment na hriadelí sústroja vzniká pomocou toku vetra medzi lopatkami obežného kola turbíny. [35]

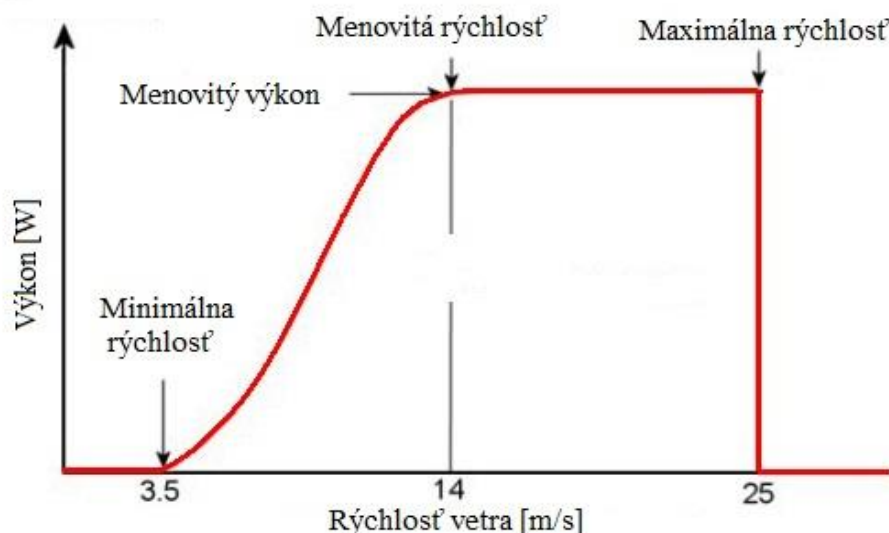
Výkon turbíny je definovaný nasledujúcim vzorcom

$$P = \frac{1}{8} \cdot \rho \cdot D^2 \cdot v^3 \cdot C_p = [W] \quad (1.2)$$

Zo vzorca je zrejmé že výkon rastie s druhou mocninou priemeru lopatkového kruhu, preto je snaha budovať veterné elektrárne s čo najväčším priemerom a s treťou mocninou rýchlosti prúdenia vzduchu, preto sa hľadajú lokality s vhodnými poveternostnými podmienkami. Rýchlosť vetra narastá so vzdialenosťou od zemského povrchu, preto je vhodné umiestniť turbínu do vyšších výšok nad zemou. Určenie rýchlosti prebieha buď meraním vo výške umiestnenia plánovanej gondoly, alebo odhadom pomocou blízkych meteorologických staníc. [35]

Koeficient C_p udáva účinnosť turbíny, kde teoreticky dosiahnuteľná hodnota je 59%, avšak v realite sa pri momentálnych technológiách dosahuje v rozsahu 20-45%. [35]

Z grafu je vidieť že minimálna rýchlosť vetra potrebná pre chod klasickej turbíny s axiálnym vstupom vetra na obežné koleso sa pohybuje od 3,5 m/s, kde postupne rastie až sa dostane na menovitý výkon, približne pri 14 m/s. V intervale od 14 do 25 m/s beží turbína na menovitom výkone, pri vyššej rýchlosti sa odstavuje, aby nedošlo k poškodeniu stroja v dôsledku vysokej rýchlosti vetra.

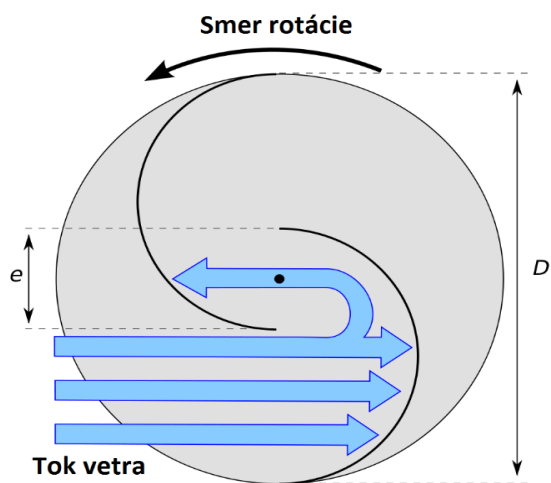


Obrázok 14 Závislosť výkonu na rýchlosti vetra [36]

1.4.1 Typy veterných turbín

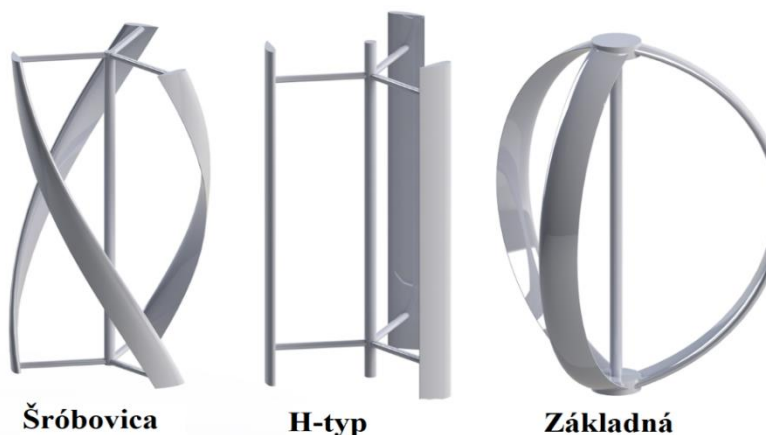
Savoniusov rotor – Jeden z najjednoduchších veterných strojov. Pozostáva zo zahnutých lopatiek do tvaru pol oblúku, kde pri 2 lopatkách tvoria písmeno S. Ťah lopatiek po smere vetra je silnejší než odpor protiľahlej lopatky proti smeru prúdenia a táto diferencia spôsobuje rotáciu okolo osi. Majú najnižšiu účinnosť spomedzi používaných turbín, ktorá sa pohybuje okolo 20%, avšak sú veľmi lacné a vhodné pre podmienky s nízkou rýchlosťou prúdeného vzduchu.

Nepotrebujú natáčací mechanizmus ako napríklad niektoré turbíny s horizontálnym hriadeľom, čo značne zjednodušuje ich konštrukciu, avšak obsahuje mŕtvy uhol, ktorý sa rieši buď usporiadaním viacerých lopatiek pod iným uhlom, alebo šróbovicovým prevedením. [37]



Obrázok 15 Smer toku vetra a šróbovicová turbína [37][38]

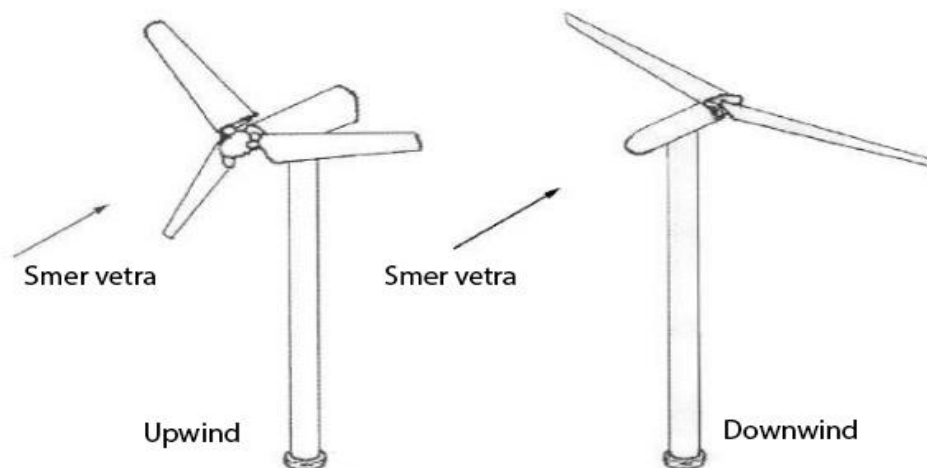
Darrieusov rotor – Pozostáva z 2 až 3 lopatiek, ktoré sú pripevnené na vertikálny hriadeľ. K rotácii dochádza vplyvom prúdenia vetra v tangenciálnom smere, ktorý má nízky kladný uhol nábehu na lopatku. Druhá lopatka, ktorá je v tomto stave v pohybe proti vetru má uhol nábehu záporný. Rotor sa krúti rýchlosťou mnohonásobne vyššou ako je rýchlosť prúdenia vetra a nie je závislý na jeho smere. Z pomedzi turbín s vertikálnou osou rotácia má vyššiu účinnosť ako Savoniosova a to okolo 35-38% bez závislosti na smere toku média. Pri rozjazde sa často kombinuje so Savoniosovou turbínou, vďaka jej dobrým vlastnostiam pri nízkej rýchlosti prúdenia vetra. [39]



Obrázok 16 Typy Dárrieusových rotorov [39]

Turbína s horizontálnou osou natáčania-Vietor prúdi na lopatky v axiálnom smere. Lopatky bývajú pre zvýšenie účinnosti často natáčacie. Rozlišujeme 2 typy usporiadania v smere vetra. **Up wind**, kde sa gondola nachádza až za lopatkami turbíny a potrebuje natáčací mechanizmus. Výhodou je nižší hluk a nemá aerodynamický tieň. U riešenia **Down wind** nie je potrebný natáčací mechanizmus, avšak stĺp sa rieši pomocou prútovej konštrukcie k zníženiu aerodynamického tieňa a zvýšeniu účinnosti, ktorá dosahuje až hodnotu 40%. Sú to najpoužívanejšie turbíny a často tvoria veterné farmy v oblastiach s rýchlym prúdením vetra, ako napríklad pobrežie Dánska. [35]

Pretože sú veterné podmienky veľmi špecifické pre dané lokality, je ťažko určiť, ktorý z typov je najvhodnejší pre ostrovne systémy. Používajú sa všetky typy, najväčšie zastúpenie má turbína s horizontálnym hriadeľom, ktorá dosahuje najvyššie účinnosti.



Obrázok 17 Smer toku vetra na turbínu s axiálnym vstupom [40]

1.5 Diesellový agregát

Jedná sa o diesellový spaľovací motor pripojený na generátor, ktorý spaľuje naftu. Po modifikácii dokáže spaľovať aj iné látky, ako napríklad zemný plyn, alebo kvapalné palivá. Používajú sa pre miesta, ktoré nebývajú pripojené k sieti (Off grid) a nie je možná iná možnosť výroby energie. Pri zapojení zásobníku paliva k zdroju je zabezpečená ostrovná prevádzka. V prípade výpadku systému slúžia v zálohe kvôli nabehnutiu prístrojov pre výrobu elektrickej energie. Veľmi bežná je aj aplikácia stroja, ako prenosného zdroja elektrickej energie, kde sa do cieľovej oblasti donesie motor aj s palivom. Katalógovo sa robia v rozsahu od pár kW až do niekoľko MW. [42]

Účinnosť diesellových generátorov sa pohybuje do 40%, avšak ako je vidno z grafu, ich účinnosť znateľne klesá, pokiaľ nie je dosiahnutý menovitý výkon. [43]

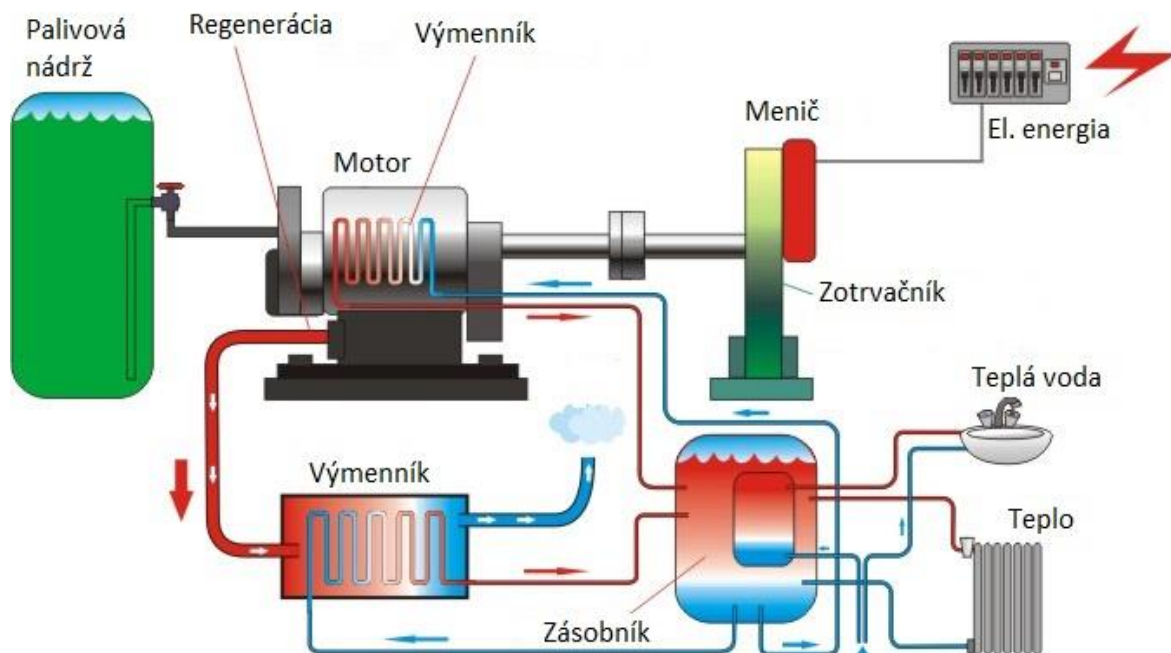


Obrázok 18 Graf závislosti účinnosti na okamžitom výkone [42]

1.6 Kogeneračná jednotka

Spaľovací motor, ktorý spaľuje zemný plyn, alebo iné plynné palivá. Konštrukčne podobný ako diesellový agregát avšak odpadné teplo sa tiež využíva, vďaka čomu dosahujeme účinnosť až 95%. Spaliny po opustení spaľovacej komory idú do výmenníku spaliny-voda,

ktorú ohrievajú. Na predohrev môže slúžiť aj chladiaca zmes, ktorá predhrieva vodu a súčasne sa ochladzuje. Rovnako ako u agregátu, je aplikácia ostrovného systému podmienená zapojením s palivovou nádržou. [44]

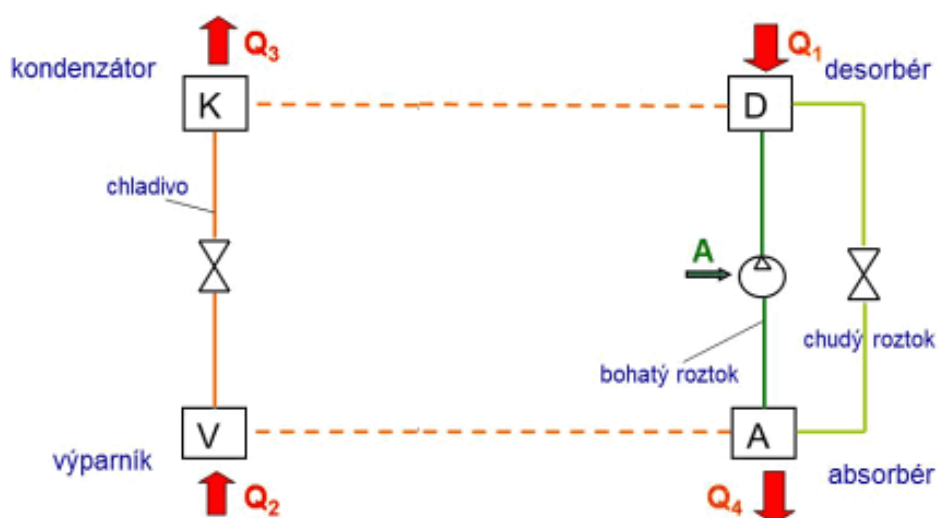


Obrázok 19 Schéma kogeneračnej jednotky [45]

Medzi veľké výhody kogeneračnej jednotky patrí vysoká účinnosť, a tým pádom aj úspora paliva a zníženie emisií na kWh vyrobenej energie, avšak počas letných mesiacov je dopyt po teple minimálny a teda v tomto období nedokážeme väčšinou naplno využiť jej výhodu oproti klasickým spaľovacím motorom bez kogenerácie. [46]

1.7 Trigeneračná jednotka

Funguje na rovnakom princípe ako kogeneračná, ale je do nej zapojený ešte absorpčný alebo adsorpčný obeh, vďaka ktorému môže odpadové teplo premieňať na chlad. Pomer vyrobeného tepla a chladu je možné regulovať pomocou ventilu a čo najpresnejšie pokrývať potrebu.

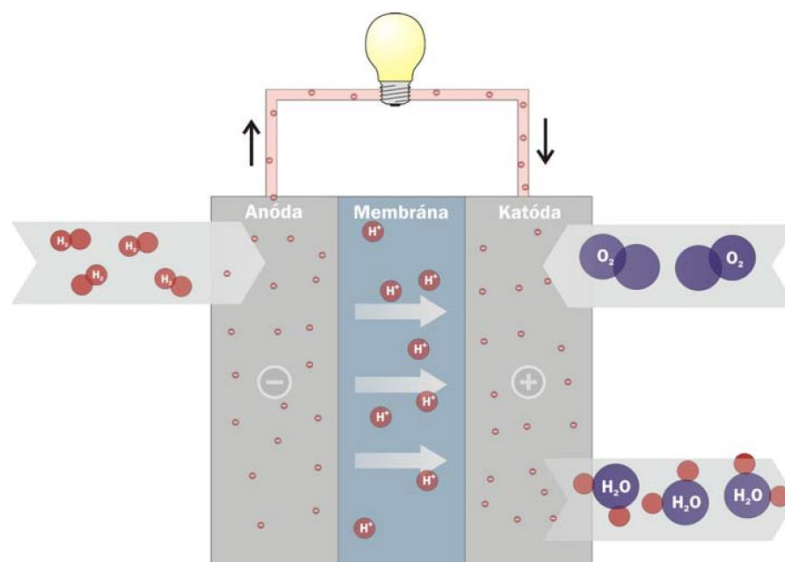


Obrázok 20 Princíp funkcie absorpčného obehu [47]

Princíp absorpčného obehu je založený na chladive a absorpčnej látke. Vo výparníku dochádza k vyparovaniu pary z chladiva, ktorá následne ide do absorbéru, kde sa zmiesi s absorpčnou látkou. Cez čerpadlo sa zvýši tlak a následne v desorbéry je prijaté teplo, ktoré vyparí chladivo. Vyparená chladiaca kvapalina ide do kondenzátora, kde kondenzuje. Následne cez škrtiaci ventil sa znova vracia do výparníku. [47]

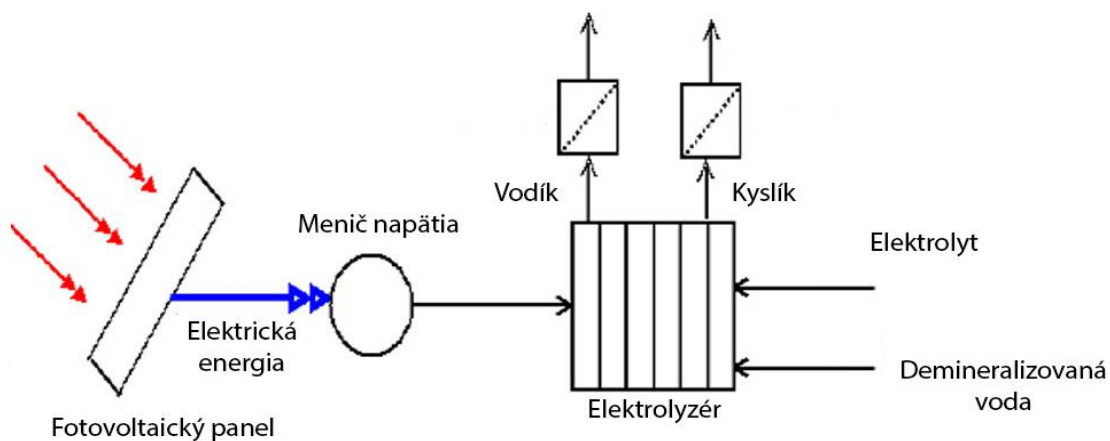
1.8 Palivový článok

Najpoužívanejším palivom je vodík. Princíp je založený na oddelení elektrónov vodíka na vstupe anódy, následne sú elektróny prenesené do elektrického okruhu. Na katóde vstupuje do článku kyslík zo vzduchu, reaguje s kationom vodíka a elektrónom následkom čoho vzniká voda. V súčasnosti poznáme veľké množstvo palivových článkov založených na vodíkovej technológii, ktoré sa neustále vyvíjajú. Dosahujú účinnosť až 95% v prípade, že je odpadné teplo zachytené na princípe kogenerácie. Samotná elektrická účinnosť je avšak len v rozpätí 40-60% a ich životnosť približne 60 000hod. Neustáli vývoj je potrebný pokiaľ sa majú palivové články stať rentabilnými, nehovoriac o vysokých stratách v porovnaní s batériovými akumulátormi pri rezidenčných aplikáciách. [48] [49]



Obrázok 21 Princíp fungovania palivového článku [50]

Ako súčasť ostrovného systému, môže byť zapojený s fotovoltaickými článkami, popr. iným zdrojom obnoviteľnej energie a pokiaľ je výroba elektrickej energie z týchto zdrojov



Obrázok 22 Schéma systému palivového článku a elektrolýzy [51]

vyššia než okamžitá spotreba, tak prebytočná elektrina je použitá na elektrolýzu vody, čo znamená že dôjde k rozdeleniu molekulu vody na vodík a kyslík. Vodík je následne uskladnený v nádrži pre neskoršiu potrebu elektrickej energie, ktorá bude vyrobená v palivovom článku. Mimo elektrolýzy je vodík možné dodávať v prenosných nádržiach podobne ako u dieselového agregátu. Jeho veľká výhoda oproti nemu je, že výsledný produkt procesu je voda, a tým neprodukuje žiadne emisie. Celková účinnosť procesu (elektrolýza-reverzná elektrolýza) dosahuje hodnotu okolo 20-50%, čo je podstatne menej ako v porovnaní s batériami. [51]

1.9 Kotel na biomasu

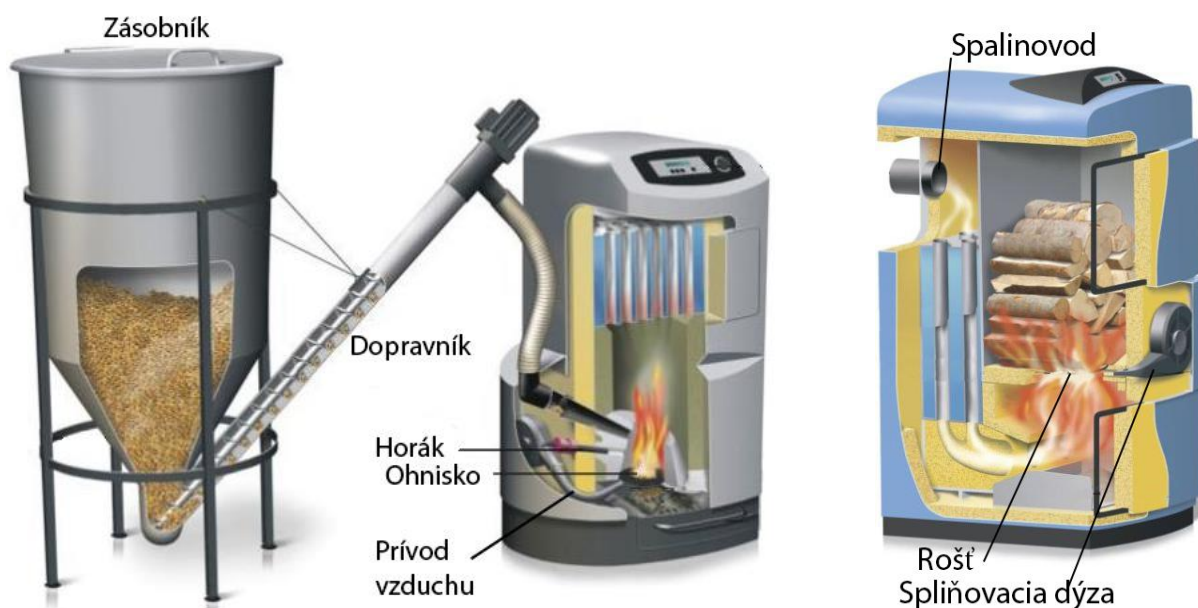
Napriek tomu, že drevo obsahuje uhlík, ktorý pri spaľovaní v kotly uniká do atmosféry, je podľa európskej vyhlášky biomasa zaradená na zoznam alternatívnych a zelených zdrojov, pretože uhlík, ktorý drevo obsahuje sa nazbiera počas procesu rastu. Prevádzka kotla na biomasu je závislá na vzdialenosti zdroja paliva od kotla. Pri rezidenčných aplikáciách to býva do 60km. Palivo pre kotle je možné rozdeliť na tri základné druhy. [52]

Pelety - granule s kruhovým priemerom do 8mm a dĺžkou 30mm. Vyrábajú sa lisovaním odpadu pri spracovaní dreva, ako napr. pilín alebo hoblín. Obsahujú malý hmotnostný obsah vlhkosti, približne 8-10%. [52]

Brikety - valce s dĺžkou približne 150-250mm, ktoré majú vysokú mernú hustotu, až 1200kg/m^3 , majú vysokú výhrevnosť a relatívne nízku popolnosť. [52]

Kusové drevo - dosahuje dĺžku prevažne 300-500mm, v niektorých priemyselných aplikáciách až 1000mm. Surové drevo obsahuje vysoký pomer vlhkosti, až 55% preto sa často suší predtým než sa spaľuje. [52]

Mimo spaľovaného paliva, je možné kotle rozdeliť aj podľa spôsobu získavania tepla. Popri klasických kotlov, kde v kotly dochádza k spaľovaniu paliva aj uvoľnených plynov sa vyrábajú tiež tzv. splyňovacie kotle, kde na rošte horí drevené palivo a drevoplyn je odvedený do spaľovacej komory. V tej má ideálne podmienky na horenie a uvoľní viacej tepla, tým pádom majú vyššiu účinnosť. Medzi nevýhody splyňovacích kotlov patrí absencia zásobníku



Obrázok 23 Kotel na pelety a splyňovací kotel [52]

s podávačom, čím je nutný ich počas prevádzky 1-2 krát za deň plniť. Ku kotlom na pelety je možné zaobstarat' zásobník až do 1m³, ktorý dokáže automatizovane pokrývať spotrebu až na 10 dní. Všeobecne sa účinnosť u kotlov na biomasu pohybuje okolo 85-90%. [52]

1.10 Plynová elektrocentrála

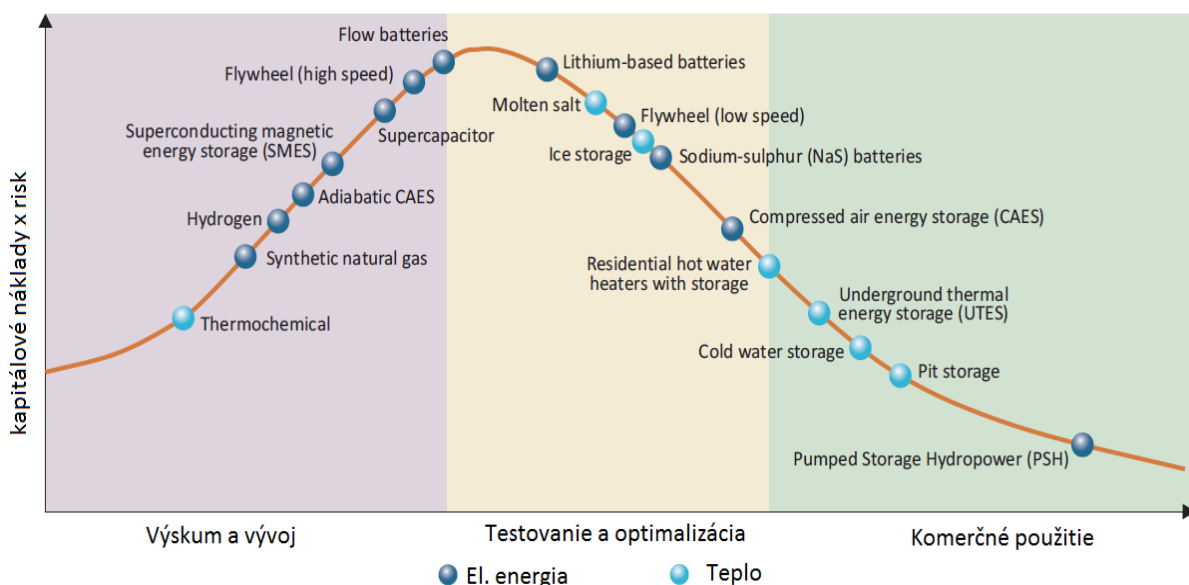
Ako vhodný zdroj elektrickej energie môže byť aj plynová elektrocentrála. Na rozdiel od kogeneračnej jednotky vytvára len elektrickú energiu, avšak počiatočné náklady sú neporovnateľne menšie. Pokiaľ sa má jednať o ostrovný systém, je k nej nutné zaobstarat' zásobník na LPG, pretože má technologicky jednoduchšie skladovanie ako zemný plyn. Oproti naftovému agregátu má výrazne nižšie emisie, a tým je šetrnejší k životnému prostrediu.

2 Akumulácia energie v ostrovných systémoch

Ostrovné systémy, obzvlášť pokiaľ sú navrhnuté s obnoviteľnými zdrojmi energie trpia na nepravidelnú výrobu energie. Preto pokiaľ je aktuálny výkon vyšší ako spotreba, je vhodné energiu uskladňovať a naopak, pokiaľ je spotreba vyššia ako produkcia, čerpá sa z akumulátora. Pri použití systému bez akumulátora a podmienke energetickej sebestačnosti, by sme pravdepodobne museli použiť mnohonásobne vyšší inštalovaný výkon, a projekt by sa stal nerentabilným.

V súčasnosti poznáme obrovské množstvo akumulátorov energie. Začínajúc klasickými batériami, prečerpávacími elektrárnami a končiac zotrvačníkom alebo uskladňovaním energie pomocou vlakových súprav. [53]

Oblasť s uskladnením tepla a elektrickej energii je neustále vo vývoji a testovaní, komerčne používaných technológií zatiaľ veľa nie je. V kapitole sú rozobrané najzaujímavejšie riešenia, ale hlavne tie, ktoré je možné použiť na ostrovné systémy.



Obrázok 24 Krivka technológií pre akumuláciu energie [53]

2.1 STES - Sensible Thermal Energy Storage

Jedná sa o sezónne zásobníky tepla, ktoré sa nabíjajú v lete a v zime počas potreby sa z nich teplo odoberá. Konštrukčne je známych viacero druhov, ktoré môžu akumulovať teplo, alebo teplo a chlad súčasne. Ich výhodou je zvýšenie topného faktora COP tepelného čerpadla až o 50% [53]

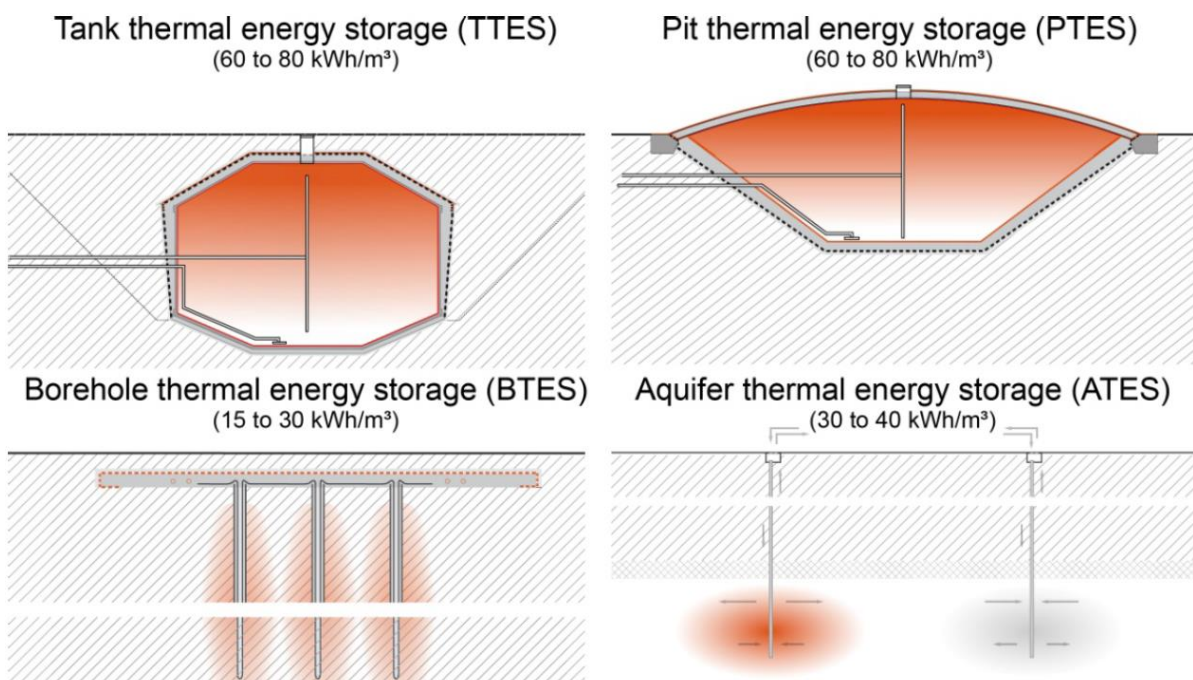
TTES - Tank thermal energy storage - prevažne sa nachádza pod povrchom zeme, a pozostáva hlavne z betónovej, alebo v niektorých prípadoch aj oceľovej či plastovej nádrže s vodným médiom pre uskladnenie energie. Nádrž je pripojená k okruhu, ktorý ju zásobuje teplom a je uložená v hĺbke 5-15 metrov. Výhodou uloženia v podzemí je mimo tepelnej izolácie samotnej zeme, aj menšia hrúbka stien nádrže, v dôsledku dodatočného statického tlaku na steny z vonkajšej strany. Podlaha nádrže je izolovaná sklenenou vatou, alebo pórobetónovým štrkom a zvyšok plochy, teda steny a vrch izolujú recyklované sklenené granule, ktoré majú veľmi dobré izolačné vlastnosti a sú vyrobené z recyklovaných fliaš a nádob. Vodu v nádrži je

možné ohriať až na 98°C, pokiaľ nádrž dokáže vydržať vyšší vnútorný tlak a je parotesná, môžeme dosiahnuť vyššie teploty. Tepelná hustota je 60-80kWh na kubický meter. [53]

PTES - Pit thermal energy storage - jedná sa o bazén zasadený do zeme s povrchovým viečkom. Buď je uložený s vôľou nad hladinou vody, tým pádom musí byť dostatočne pevné, inak by hrozilo zrútenie stropu, alebo môže na hladine voľne plávať. V niektorých prípadoch sa používa zmes jemného štrku (60-70%) a vody, ktorá dokáže udržať váhu stropu. V prípade čistej vody je tepelná hustota 60-80kWh/m³ a v prípade zmesi štrk-voda 30-50kWh/m³. Pri použití zmesi sa úložisko správa viac ako pevné teleso, vďaka čomu je možné ho zaťažiť externým statickým tlakom z povrchu a použiť napríklad ako parkovisko. [53]

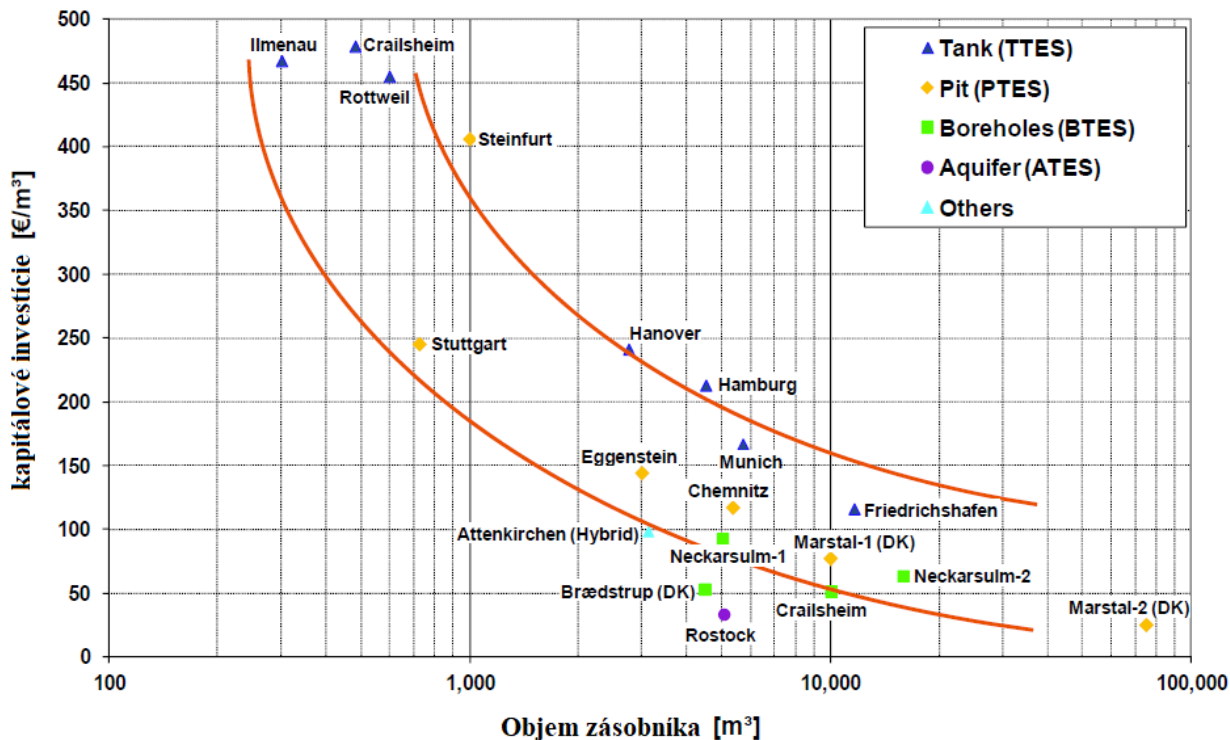
BTES - Borehole thermal energy storage - uloženie tepla prebieha priamo do zeme, pomocou U-trubíc, ktoré sú vertikálne uložené v podzemí. Pracovné médium voda slúži, teda len na prenos tepla, nie na uskladnenie. Vhodné podmienky využitia sú pri materiáloch s vysokou tepelnou kapacitou, ako napríklad kameň. Vrchná časť úložiska musí byť izolovaná, aby dochádzalo čo k najmenším stratám. Tepelná kapacita úložiska sa pohybuje v rozsahu 15-30kWh/m³, čo znamená veľký počet dier a aj ich hĺbka, aby bola dosiahnutá požadovaná kapacita. Výhodou je jeho dodatočné rozšírenie, ktoré pozostáva len z vyvrtania ďalších otvorov, uložením trubiek a následným zapojením do systému. [53]

ATES - Aquifer thermal energy storage - pozostáva z 2 studní, vyplnených vodou, kde v jednej sa nachádza chlad a v druhej teplo. Počas leta, je odoberaná voda z chladnejšieho zdroja, ktorá vo výmenníku prijme teplo, tým pádom odovzdá chlad a táto ohriata kvapalina ide do nádrže s teplejšou vodou. Majú vysoké požiadavky na okolité prostredie, hlavne na hydraulickú vodivosť, ktorá udáva tok podzemnej vody. Energetická hustota je v rozsahu 30-40kWh na meter kubický. V prípade dobrých podmienok, je návratnosť investície krátka. [53]



Obrázok 25 Typy podzemných sezónnych tepelných zásobníkov [53]

Z Obrázku 26 je zreteľne vidieť, že investičné náklady rapídne klesajú s objemom a teda celkovou tepelnou kapacitou úložiska. Celoročné úložiská založené na princípe ohrevu vody, sú pri malých kapacitách podstatne drahšie na kapacitnú jednotku, a sú vhodné skôr pre väčšie objemy. [53]



Obrázok 26 Závislosť kapitálových nákladov na objeme tepelného zásobníka [54]

2.2 Zásobník na TUV

Pre krátkodobé uloženie tepla sa používa zásobník na teplú úžitkovú vodu pomocou elektrickej, alebo tepelnej energie sa nabíja až na teplotu 90°C. Väčšinou sa jedná o nádobu v tvare štíhleho valca, ktorá je naplnená vodou. Ohrev vody zabezpečuje, buď elektrická špirála, popr. výmenník chladivo-voda z termického kolektora. Teplo môže dodávať aj kotol. Zásobníky môžu byť tkz. premiešané, to znamená že teplota je rovnomerne rozvrstvená pozdĺž

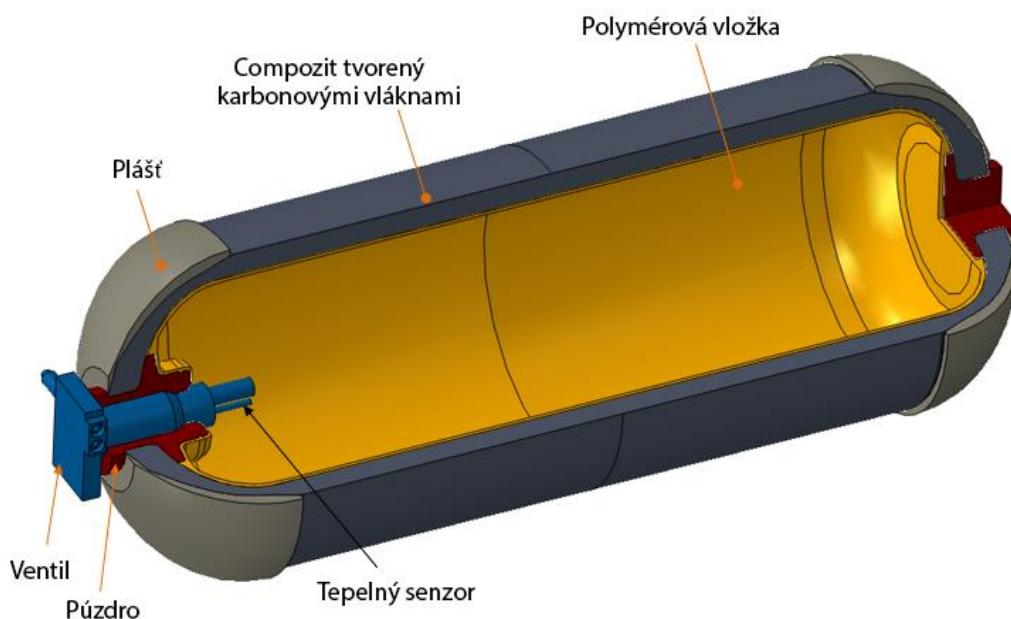


Obrázok 27 Zásobník na TUV [55]

výšky, alebo stratifikované, kde dochádza k riadenému rozloženiu teplotného gradientu. Výhodou stratifikácie je väčší pracovný rozsah, teda dokážu dodávať teplú vodu o požadovanej teplote pri menšej celkovej tepelnej kapacite z zásobníku.[55]

2.3 Zásobník na vodík

Slúži na uskladnenie vodíku pre potrebu palivového článku. Vodík pre ostrovne systémy je možné skladovať viacerými spôsobmi, napríklad pomocou nádrží na plynný alebo kvapalný vodík, poprípade v stave, kde sa nachádza v trojnóm bode. U oboch prípadov sú dosahované vysoké tlaky kvôli zmenšeniu objemu paliva. Veľkou výhodou je ich malý objem. U zásobníku so stlačeným vzduchom je energetická hustota približne 1,5kWh/l. Malé zásobníky sa môžu k zdroju dovážať, avšak väčšie dokážu slúžiť ako dlhodobé uloženie vodíka, ktorý vznikol napr. rozložením vody elektrolýzou pomocou FV panelov. [56] [57]



Obrázok 28 Rez zásobníkom na vodík [58]

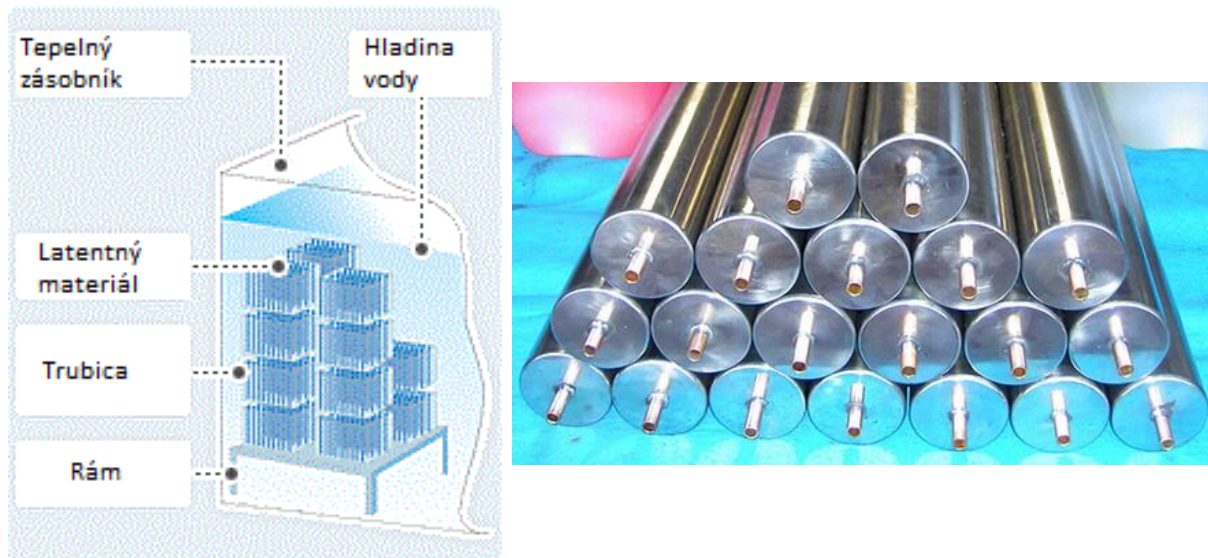
2.4 PCM - Phase change materials (Zásobníky latentného tepla)

Akumulátory fungujú na princípe fázovej premeny materiálov, to znamená že dodávajú alebo odvádzajú latentné teplo. Je to teplo, ktoré je potrebné k premene tuhej látky na kvapalnú, kvapalnú na plynú a vice versa. Vo väčšine prípadov sa jedná o premenu medzi tuhým a kvapalným stavom materiálu. Je nevyhnutné aby bola nádoba v ktorej sa nachádza látka vodotesná a súčasne aj parotesná, aby nedochádzalo k únikom. Pri fázovej premene dochádza k minimálnym objemovým rozdielom (do 10%). Účinnosť dosahuje hodnôt 75-90%. [59]

Používané materiály sa rozdeľujú do 3 základných skupín, na organické, anorganické a eutektiká. Medzi najpoužívanejšie materiály patria **parafíny**, ktoré sú relatívne lacné a majú tepelnú kapacitu okolo 200kJ na kilogram. Sú chemicky stabilné, netoxické a recyklovateľné, avšak sú horľavé a s nízkou tepelnou vodivosťou. Teplota topenia je od 23 do 67 stupňov Celzia. **Anorganické** pozostávajú z hydrátov, to znamená že v molekule je vždy obsiahnutá voda. Teploty topenia sa pohybujú v rozsahu 15-117°C. Najpoužívanejšie sú **hexahydrát chloridu sodného** s latentným teplom 187kJ/kg a **dekahydrát síranu sodného** (134kJ/kg).

Majú vysokú tepelnú vodivosť a nízku objemovú zmenu pri fázovej premene, avšak dochádza k vysokej segregácii a materiálovej degradácii. Eutektiká pozostávajú z minimálne 2 prvkov, používa sa napríklad kombinácia Kyseliny Laurovej a palmitovej, ktorých kombinácia v pomere 1:1 dosahuje vlastnosti teploty tuhnutia 40°C a latentný teplo 175kJ/kg . [59][60][61]

Konštrukčne sa materiály s fázovou premenou nachádzajú v uzavretých trubiciach. Teplo im odovzdáva prúdiace pracovné médium (napr. voda). Bývajú často zapojené do systému so solárnym termickým ohrevom.



Obrázok 29 Konštrukcia a trubky zásobníku latentného tepla [62][63]

2.5 Lítium-iónový akumulátor

Nabíjateľný akumulátor elektrickej energie, kde dochádza k prenosu lítiových iónov z kladnej elektródy na zápornú počas vybíjania, a naopak pri nabíjaní. Používajú sa v spotrebnej elektronike a všade, kde je potrebná vysoká hustota energie. Jej hodnota dosahuje 200Wh/kg . V posledných rokoch prebieha ich uplatnenie v domácnostiach, kde majú veľký potenciál. Batéria pozostáva z článkov, ktoré sú spojené paralelne aj sériovo, podľa potreby hodnoty prúdu a napätia. Batérie trpia na samo vybíjanie, ktoré je závislé na veku akumulátora a teplote. Rýchlosť vybíjania klesá s časovým intervalom. To znamená, že na začiatku je najrýchlejšia a postupne hodnota jeho úbytku klesá. Udávaná hodnota je 5% za prvý deň, potom je rovná približne 2% mesačne. [64]

V roku 2018 predstavila spoločnosť Tesla batériové akumulátory Tesla PowerWall 2 pre domácnosť. Jedná sa o blok o kapacite $13,5\text{kWh}$. Pokiaľ by kapacita nebola dostačujúca, je možné jednotlivé bloky skladať do seba, maximálne 10 kusov, do kapacity 136kWh . Nabíjací a vybíjací výkon je 5kW , čo postačuje pre potreby bežnej domácnosti. Celková účinnosť (nabíjanie a vybíjanie) dosahuje hodnoty 90%. Konečná cena batérie aj s inštaláciou sa pohybuje na úrovni 8000 Amerických dolárov, teda 570 dolárov za kWh . Spoločnosť Tesla predáva batérie s 10 ročnou zárukou. [65]

Mimo spoločnosti Tesla sa do výroby elektrických akumulátorov angažujú aj iné firmy, ako napríklad výrobcovia automobilov Mercedes, alebo BMW a tiež ponúkajú riešenia pre domácnosti. 20kWh kapacita od Mercedesu stojí $13\,000\text{\$}$ ($650\text{\$/kWh}$). Pri klesajúcich cenách za Lítium-iónové články je veľký predpoklad, že ceny pôjdu výrazne dole. [66]

2.6 Sodík-sírový akumulátor

Pozostávajú z roztavenej síry, ako kladnej katódy a roztaveného sodíku, ako zápornej anódy. Elektródy sú separované pomocou keramiky, ktorá umožňuje prenos iba pozitívne nabitých iónov sodíka. Aby batéria pracovala správne, musí byť udržiavaná vo vysokých teplotách, na rozdiel od Lítium-ionových akumulátorov, teploty často prevyšujú 300°C. Účinnosť sa pohybuje na úrovni 90%. Používajú sa k uskladneniu veľkých kapacít a výkonov. V roku 2008 bola v Japonsku postavená jednotka o maximálnom výkone 34MW a kapacite 245MWh, ktorá slúži veternej farme.[67]

2.7 Batéria so soľnou kúpeľou

Ako elektrolyt je použitá soľná kúpeľ, ktorá sa vyznačuje vysokou energetickou hustotou. Netrpia na vybíjanie, ako ostatné druhy batérii a v súčasnosti sa používajú hlavne vo vojenskom priemysle. Spoločnosť Aquion Energy vyvíja batérie pre domáce použitie. Životnosť sa udáva na 7000 cyklov, ktorá je výrazne nižšia ako u ostatných typov akumulátorov, avšak majú nižší vplyv na životné prostredie. [68]

3 Pilotné realizácie autonómnych systémov

Veľké množstvo využiteľných technológií pre autonómne energetické zdroje je vo vývoji a ich aktuálne použitie nemusí byť momentálne vhodné, napriek tomu posledné roky došlo k výraznému posunu vpred, a niektoré systémy sa začínajú vyplácať aj bez štátnych dotácií a podpôr. Pod túto zmenu sa podpísalo znižovanie kapitálových nákladov a zvyšovanie účinností, či optimalizácia systému a aplikácia nových princípov. Záujem veľkých spoločností ale aj Európskej Únie o decentralizáciu energie potvrdzuje aj projekt InterFlex2020, kde bude spustených 60 pilotných projektov zameraných na Smart grid. Súčasťou tohto výskumu je aj spoločnosť ČEZ distribuce. V nasledujúcej kapitole bude predstavených pár novodobých projektov. [69]

Drammen, Nórsko

V roku 2011 došlo k spusteniu prevádzky tepelného čerpadla v meste Drammen v Nórsku, ktoré ma tepelný výkon 13,2MW a poskytuje 85% ročnej spotreby tepla pre 65000 obyvateľov. Koncept je založený na princípe čerpania tepla z neďalekého fjordu s priemerným COP faktorom 3. Elektrická energia potrebná na chod zariadenia je vyrobená z vodných elektrární. Ako záložné zdroje slúžia kotle na biomasu a plyn. Súčasne s úsporovou skleníkových plynov, ktorá činí 1,5 mega tony CO₂ je projekt aj rentabilný a investičná návratnosť dosiahla 4 roky. [70]



Obrázok 30 Strojovňa tepelných čerpadiel [70]

Fort Madison, New Jersey

Ubytovacie zariadenie o kapacite 39 bytov, prešlo rozsiahlou rekonštrukciou a modernizáciou. Jej cieľom bolo dosiahnutie aspoň čiastočnej samostatnosti od siete, ktorá je zrealizovaná pomocou 300kW inštalovaného fotovoltického výkonu, ktorý bol umiestnený na strechu objektu a parkoviska, tým pádom nezaberá žiadnu trávnatú plochu. O tepelný komfort obyvateľov sa starajú vzduchové tepelné čerpadlá. Návratnosť investície je 8,5 roka.[71]



Obrázok 31 Pohľad na FV panely [71]

Martstal, Dánsko

V roku 2008 prebehla modernizácia zdrojov energie v dánskom meste Martstal ležiacom na ostrove Ærø. Inštalácia 1,5MW tepelného čerpadla, 3,25MW kotla na štiepku, kogeneračnej jednotky s 0,75MW elektrického výkonu a $18000\text{m}^2 + 15000\text{m}^2$ solárnych kolektorov zabezpečuje plnú ročnú spotrebu tepelnej energie o hodnote 28GWh. Značná časť tepla je uložená v sezónnom podzemnom zásobníku o objeme 75000m^3 . Takmer 50% tepla je vyrobených z kolektorov a tepelného čerpadla. Celková cena investície bez 18000m^2 plochy kolektorov vyšla na 16 miliónov EUR. [72]

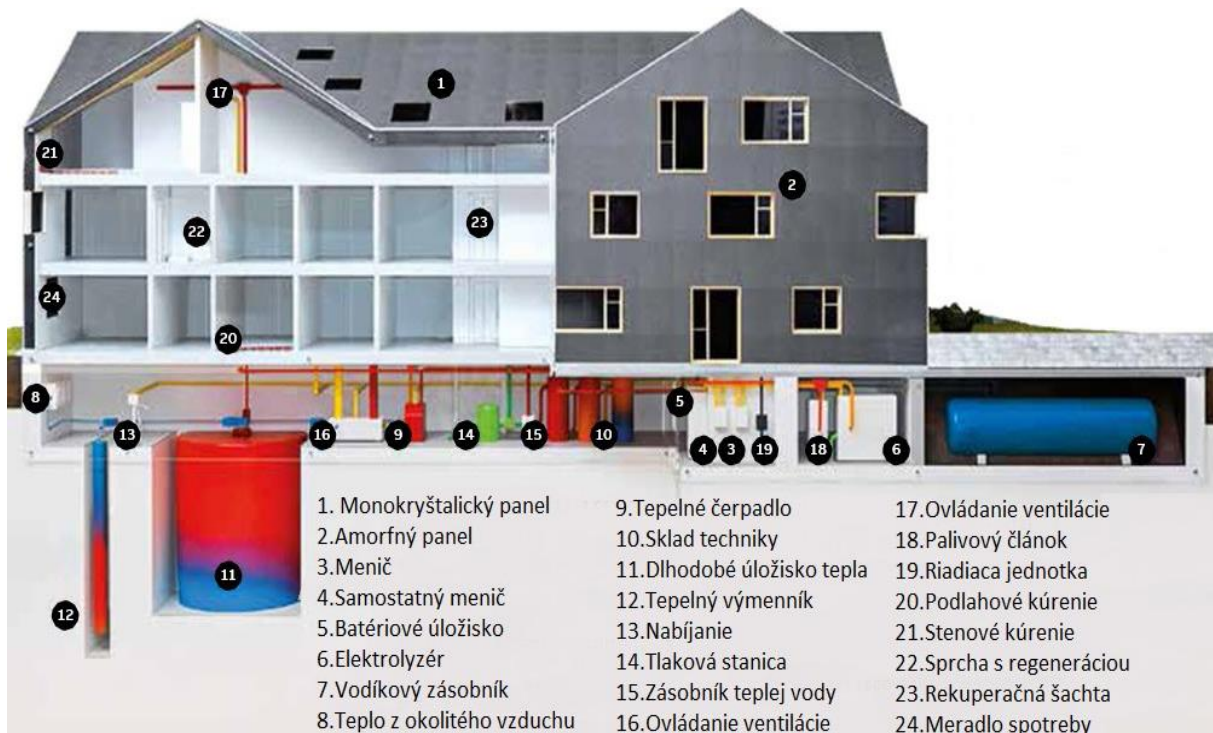


Obrázok 32 Letecký pohľad na solárne kolektory [72]

Brütten, Švajčiarsko

V roku 2017 bol spustený pilotný projekt 100% autonómneho bytového objektu s 9 bytovými jednotkami. Na streche a fasáde sa nachádzajú fotovoltaické články o výkone 127kW, v podzemí je zásobník na vodíku o objeme 120m^3 , ktorý sa vyrába elektrolýzou vody, a počas

potreby sa spaľuje. Navyše sa tu nachádza aj tepelné čerpadlo s vertikálnym vrtom a tepelným výkonom 28kW. Elektrická energia sa uskladňuje mimo vodíka aj do batérií o celkovej kapacite 200kWh. Veľký doraz bol kladený mimo energetických technológií aj na materiály, aby dochádzalo čo k najnižším tepelným stratám, tým pádom nie sú potrebné veľké výkony zdrojov.[73]



Obrázok 33 Plne sebestačný rodinný dom s použitými technológiami [73]

Simris, Švédsko

Pilotný projekt pod vedením spoločnosti E.ON, ktorý bol spustený v roku 2017 premenil dedinu so 140 domami na 100% nezávislú od elektrickej energie zo siete. Bolo nainštalované 500kW veterného a 440kW fotovoltaického výkonu, ktorý má zabezpečiť spotrebu elektrickej energie počas celého roku. Výkyvy medzi produkciou a potrebnou energiou kompenzuje 800kWh batériové úložisko. Projekt je súčasťou už spomínaného InterFlex 2020, ktorý sa zaoberá riešením a aplikáciou Off grid a Smart grid systémov. [74]



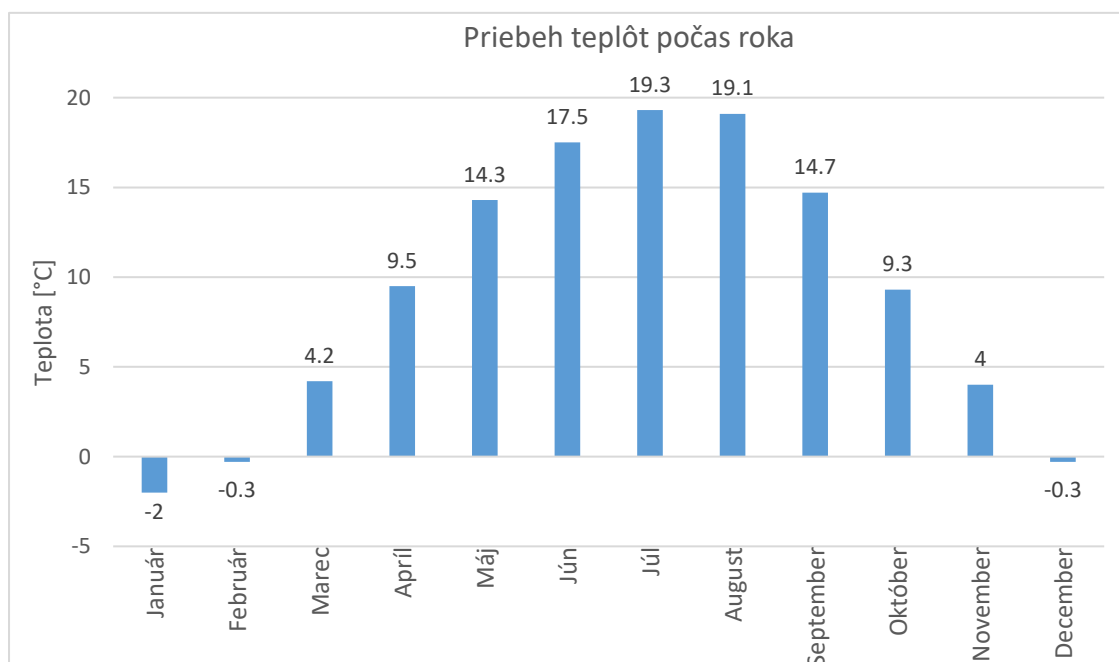
Obrázok 34 Pohľad na hybridný systém veternej a FV elektrárne [75]

4 Charakteristické spotreby energie pre typové objekty

Výber vhodných parametrov a správnych zdrojov energie je kritické pre návrh ostrovného systému. V prípade zlého návrhu systému môže dôjsť k nedostatku energie pre chod objektov. Najmä počas zimných období môže deficit tepla negatívne vplyvať na tepelný komfort užívateľov. V opačnom prípade, pokiaľ dôjde k predimenzovaniu ostrovných zdrojov a akumulátorov je vyrobené resp. uskladnené zbytočne veľké množstvo energie, ktoré nie je využité. Prehnane veľké zdroje a ich príslušenstvo značne navyšuje investičné náklady na realizáciu a investícia sa môže stať nerentabilnou. Krivky spotreby nám ukazujú energetické požiadavky v čase a na základe týchto kriviek je realizovaný návrh systému odpovedajúci potrebám užívateľov. Ich hodnota nie je vždy konštantná, ale variuje v čase, a je závislá na používaní spotrebičov, type a množstve osvetlenia, tepelnej izolácií budov, ročnom období, vonkajšej teplote, orientácii presklených plôch a pod. Pre analýzu boli vybrané 4 typové objekty, pre ktoré je posudzovaná autonómnosť a aplikácia ostrovných systémov. Ako prvý je použitý **starý rodinný dom** vybudovaný pred rokom 1980 za pomoci dobových technológií. Druhý je dom o rovnakých rozmeroch, avšak spĺňa európske normy pre spotrebu energie pre **pasívne energetické bývanie**, ktoré udávajú ročnú spotrebu tepla na úrovni 15kWh, resp 54MJ na m² obytnej plochy. Tretí typový objekt je **nová štvrť s 50timi pasívnymi** objektami a štvrtý je **administratívna budova**.

Pre každý návrh sú vytvorené 2 grafy. Krivka dennej spotreby, vyjadrená v hodinách a ročná v mesačných intervaloch. Obe pre teplo aj elektrickú energiu. Každá z kriviek má svoje opodstatnenie a je vhodná pre rôzne návrhy. Ku príkladu, pokiaľ navrhujeme fotovoltaický systém bez akumulácie elektrickej energie, je dobré vedieť denné zaťaženie v čase kedy dopadá slnečné žiarenie na články.

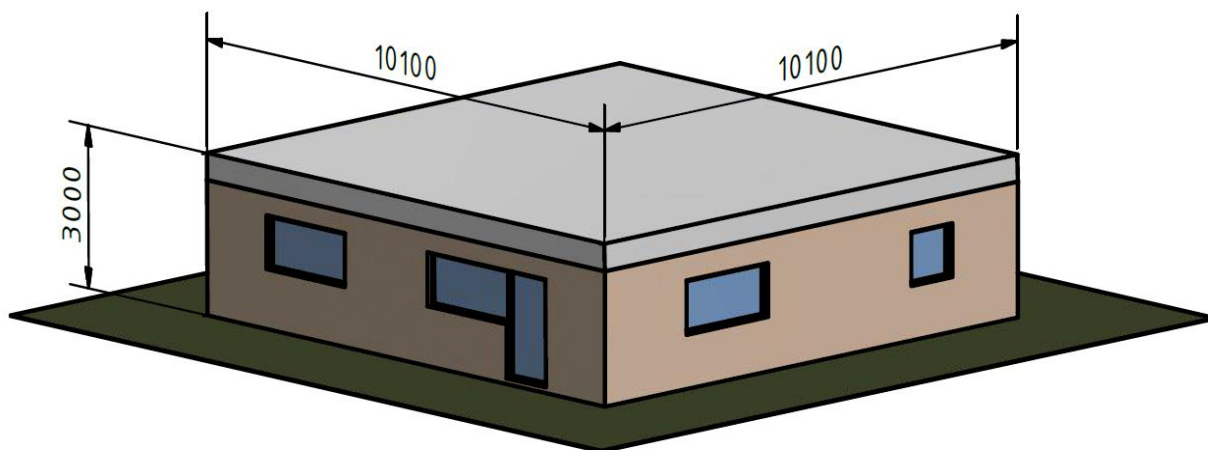
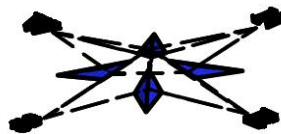
Dáta priemerných teplôt z rokov 1980-2010, potrebných pre návrh tepelných strát a spotreby tepla sú brané z meteorologickej stanice v Brne.



Obrázok 35 Priemerné mesačné teploty vzduchu [76]

4.1 Starý rodinný dom

Krivky sú spracované pre prízemný rodinný dom o ploche 102m², ktorý nemá izolované okná, zateplenú strechu a steny, bez podpivničenia. Dom obývajú 4 osoby. Podľa SIEA je ročná spotreba elektrickej energie rovná 3000kWh/rok. Vo výpočte je uvažovaný predpoklad, že spotreba domácnosti v Českej a Slovenskej republike je podobná. [77]



Obrázok 36 Rozmerový model typového objektu

Rodinný dom je štvorcového pôdorysu o strane dlhej 10,1m a výške 3m. Orientácia skleneného vchodu je smerom na juh, kvôli maximalizácii tepelných ziskom zo slnka, tým pádom rozdelenie sklenených plôch je 6m² orientovaných na juh a po 3m² na ostatné svetové strany, v celkovej ploche 15m².

Podľa meranie dennej spotreby elektrickej energie na objekte v Nemecku v roku 2015 bolo zistené, že denná spotreba len minimálne variuje od priemernej hodnoty počas celého roka, preto je uvažovaný predpoklad, že konzumpcia elektriny je konštantná pre každý jeden deň počas kalendárneho roka. [78]

$$\text{denná spotreba} = \frac{\text{ročná spotreba}}{\text{počet dní v roku}} = \frac{3000}{365} = 8,27kWh \quad (4.1)$$

Dáta pre výpočet hodinovej spotreby elektrickej energie pre rezidenčné objekty nie sú pre Českú a ani Slovenskú republiku dostupné, preto je použitá trendová krivka spotreby v Dánsku, ktorá udáva hodinové spotreby domu počas celého dňa. Plocha pod touto krivkou je údaj celkovej dennej spotreby, ktorú je možné porovnať s vypočítanou spotrebou zo vzorca 4.1. Následným pomerom hodnôt je možné zostrojiť dennú spotrebnú krivku v hodinových intervaloch pre Českú republiku. [79]

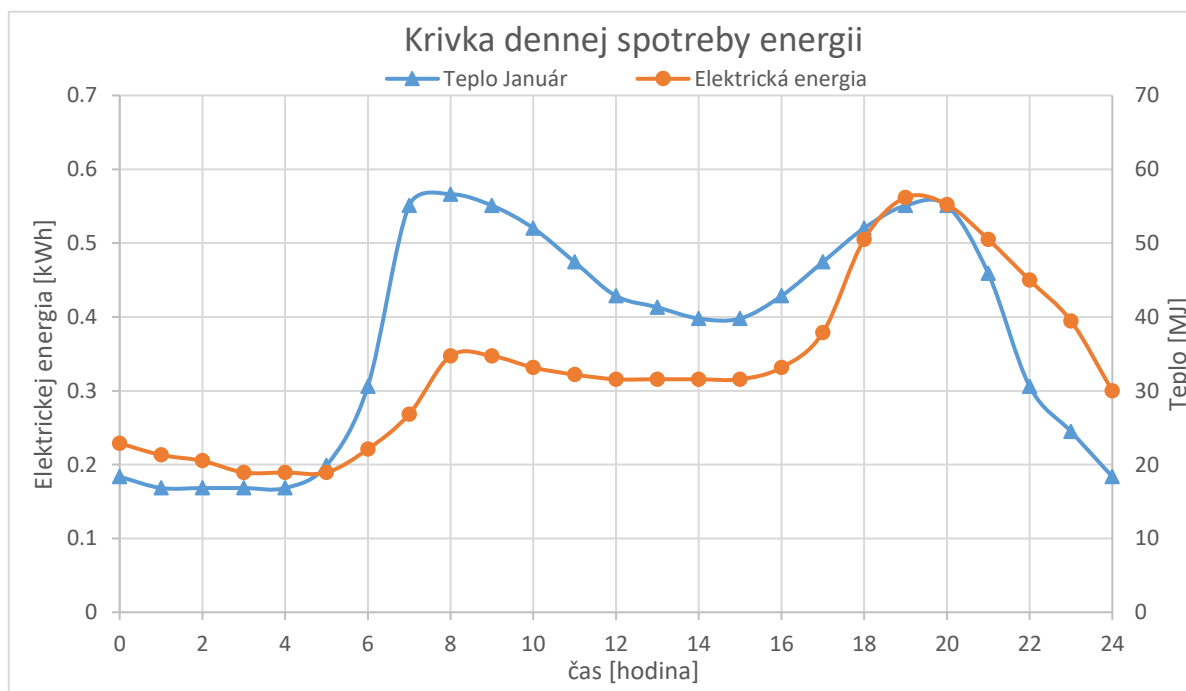
Výpočet spotreby tepla je veľmi špecifický vzhľadom na rozdiel v použitých materiáloch, dobových spôsobov izolácie, počte ľudí, zmene vonkajšej teploty, pasívnymi ziskami a podobne. Pre typový objekt boli použité nasledovné materiály, ktoré sa bežne používali pri stavbách postavených pred rokom 1980.

Tabuľka 1 Použité materiály pre objekt č.1 [80]

	Materiál	Hrúbka	Súčiniteľ prostupu tepla	Plocha
Značka		H	K	A
Jednotky		[mm]	[W/m ² .K]	[m ²]
Strecha	plná tehla	450	1,44	102
Steny	škvarobetón	400	1,41	106,2
Podlaha	škvarobetón	400	1,41	102
Okná + dvere	sklo	10	2	15

Pre materiály uvedené v tabuľke bol podľa normy ČSN EN 12831-1 spravený výpočet tepelných strát prostupom tepla cez steny a okná budovy. Minimálna hodnota objemu vetrania podľa normy ČSN 15665/Z1 bola určená na 15m³/os.hod resp. 60m³/hod pre 4 osoby, ktoré obývajú objekt. Bola uvažovaná aj premenlivá spotreba teplej vody na užívateľa, kde dáta boli použité z merania konzumpcie bytovej jednotky na území Slovenska. Podľa merania spotreba teplej vody v domácnostiach je len minimálne závislá na mesiaci v roku. Jediné väčšie výchyľky boli namerané v letných mesiacoch Júl a August, preto sa uvažuje s konštantnou dennou spotrebou 48l/os.deň počas celého roka a teda aj pre počítaný mesiac Január. Táto voda je ohrievaná z 13,5C° na teplotu 52°C. Tepelné zisky z osôb, spotrebičov a pod. boli zjednodušené na 75W/os.hod. počas celého dňa. Keďže značnú časť tepla je možné získať pomocou tepla zo slnečného žiarenia, bol určený aj tepelný zisk týmto spôsobom. Pre jeho stanovenie poslúžili tabuľky slnečných ziskov z TZB-info. [81][82][83][84][85][86]

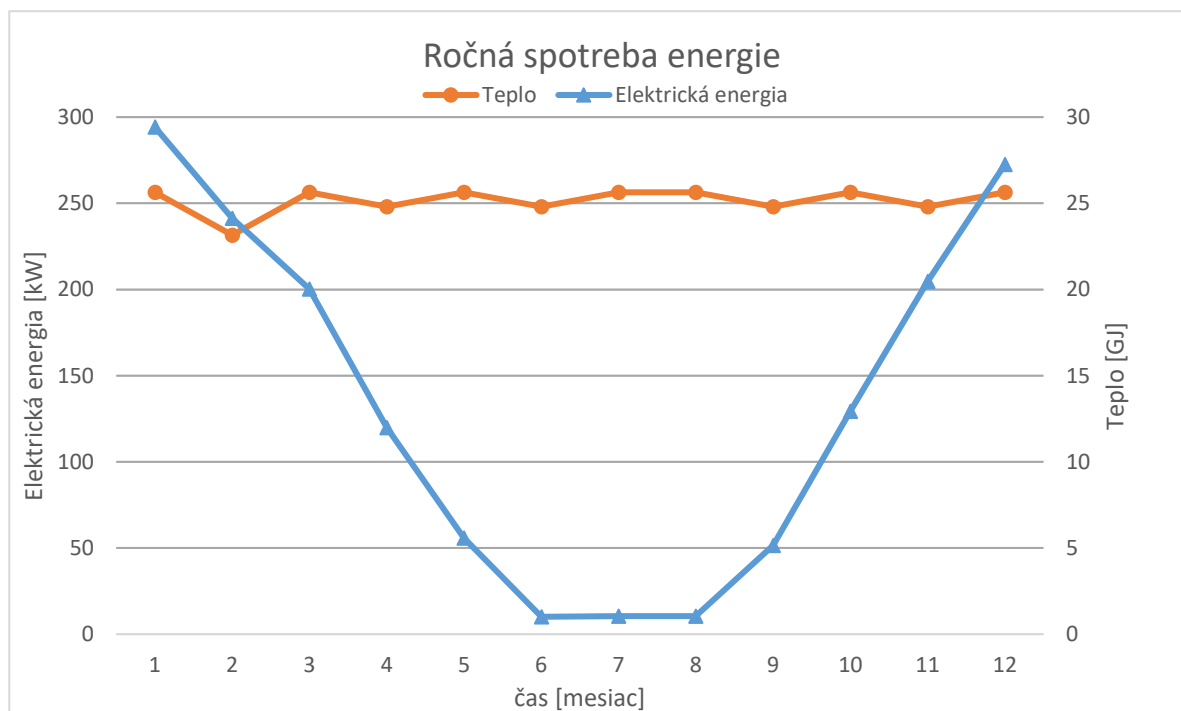
Vyššie uvedené procesy ovplyvňujú celkovú spotrebu tepla s tým, že niektoré ako prostup tepla stenou, ohrev TUV navyšujú jej hodnotu. Na opačnej strane pasívne zisky zo spotrebičov alebo zo solárneho žiarenia znižujú celkovú potrebu tepla počas roka.



Obrázok 37 Graf dennej spotreby energie pre typový objekt. č.1.

Krivka spotreby tepla počas dňa bola zostrojená pomocou trendovej krivky zo Škótska rovnakých spôsobom ako pre elektrickú energiu, ktorý je uvedený na str. 42.[87]

Na krivke je vidieť rozdielny dopyt po teple a elektrickej energii, ktorého trend je totožný s použitými trendovými krivkami, avšak pre vypočítané hodnoty. U tepla dochádza k dvom vrcholom, prvý v 8. a druhý v 19. hodine. Pri elektrine je najvyššia spotreba v 18. hodine. Tento jav je zapríčinený príchodom užívateľov z práce a následným zapnutím spotrebičov ako je televízor, počítač a podobne. Plocha pod krivkami udáva celkovú dennú spotrebu. Hodnota elektrickej energie je zrejmá už z predošlého výpočtu (8kWh) a potrebného tepla je približne 920MJ. Spotreba tepla počas Januára je príliš vysoká, čo je zapríčinené absenciou zateplenia a najnižšej priemernej teploty počas roka.



Obrázok 38 Graf spotreby energie počas roka pre typový objekt č.1.

U ročnej spotreby energie je vidieť, že elektrina variuje napriek tomu, že bola volená konštantná spotreba. Tento jav vzniká rozdielnym počtom dní v mesiaci. Spotreba tepla je najvyššia v januári a klesá až do júna, kde znova nabera vyšších hodnôt, s tým ako vykurovacia sezóna začína. Kvôli potrebe teplej vody aj v lete, nebude dosiahnutá nulová spotreba tepla ani v letných mesiacoch, kde v júly dosahuje hodnotu len 1GJ za mesiac. Výpočet mesačnej spotreby bol určený vynásobením dennej spotreby a príslušnému počtu dní v mesiaci. Pre zjednodušenie nebola uvažovaná akumulácia tepla do stien budovy. Celkovo je ročne potreba 158GJ tepla. Priemerný dom dosahuje spotrebu 80GJ tepla a teda starý dom má 2-násobnú spotrebu.[78]

4.2 Pasívny rodinný dom

Súčasný trend ťahá stavitel'ov čoraz častejšie k návrhu a konštrukcii domov s čo najnižšími tepelnými stratami do okolia. V porovnaní so starými domami dokážu vhodne zvolené materiály mnohonásobne znížiť straty prostupom tepla, a tým znížiť investičné a operatívne náklady pre decentralizované systémy. Modelový dom ma rovnaké rozmerové

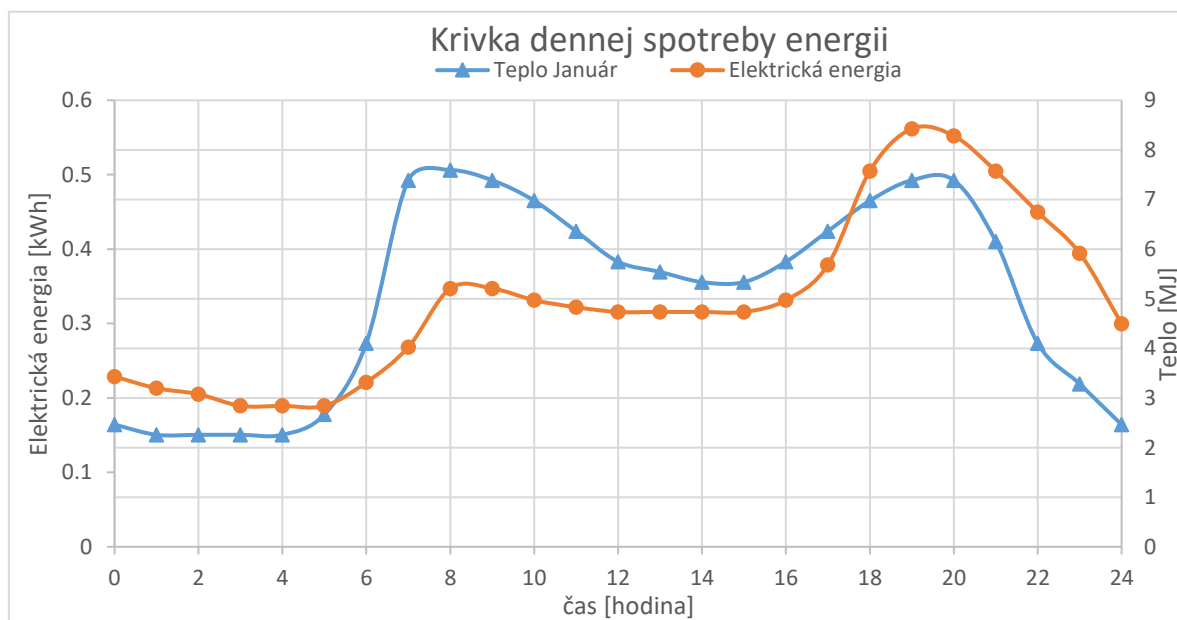
parametre ako starý dom bez zateplenia, teda straty vetraním, tepelné zisky aj spotreba teplej vody je totožná. avšak je vyrobený z iných materiálov, preto sú straty prostupom tepla nižšie.

Tabuľka 2 Vlastnosti materiálov pre pasívny dom [88]

	Materiál	Hrúbka	Súčiniteľ prostupu tepla	Plocha
Značka		H	K	A
Jednotky		[mm]	[W/m ² .K]	[m ²]
Strecha	Sendvič	699	0,079	102
Steny	Sendvič	524	0,09	106,2
Podlaha	Sendvič	730	0,184	102
Okná + dvere	Troj-sklo	50	0,7	15

Porovnaním tabuliek 1 a 2 je zrejmé, že pasívny dom má tepelný prostup strechou 18-krát a stenou 16-krát nižší ako u starého domu a tým pádom by mal mať podstatne nižší tepelný príkon. Taktiež. trojvrstvové sklo má výrazne lepšie parametre, ako bežné jednovrstvové sklenené okno.

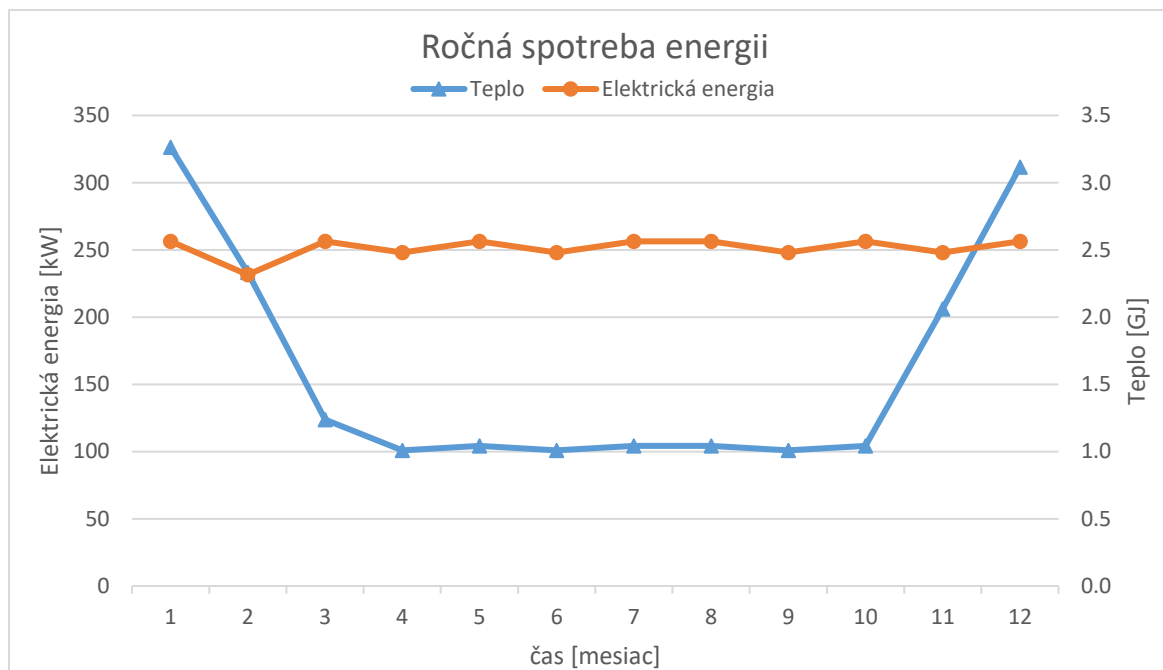
Ako je vidieť z grafov, spotreba elektrickej energie sa nezmenila a zostala na úrovni 8 kWh/deň, pretože nie je závislá na materiáloch použitých pri stavbe, avšak tepelné straty boli značne znížené. Účinnosť zníženia tepelných strát v porovnaní s nezatepleným domom dosiahla 84%, teda denná spotreba tepla v Januári je v porovnaní s objektom č.1 len 150MJ. Vďaka nízkemu úbytku tepla prostupom nie je potrebný ostrovný zdroj tepla až s takým vysokým výkonom. Tak ako v predošlom prípade starého domu, boli pre zistenie priebehu dennej spotreby použitý trendové krivky.



Obrázok 39 Graf dennej spotreby energie pre typový objekt. č.2

U pasívneho domu je vidieť, že potreba tepla v lete sa drží na úrovni približne 1GJ za mesiac, čo je zapríčinené spotrebou teplej vody aj v letných mesiacoch. V porovnaní so starým domom je vidieť, že už v marci takmer nie je potrebné vykurovať priestory a teplo dokáže

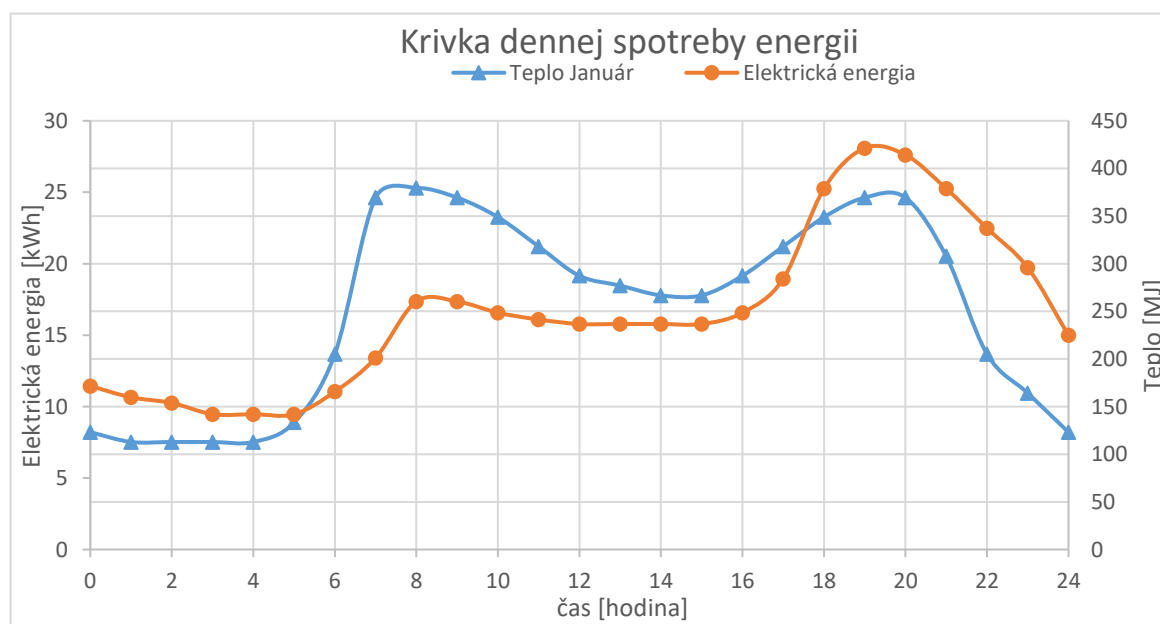
zabezpečiť súčet z pasívnych zdrojov, predovšetkým tepelný zisky skrz okná. Tieto hodnoty potreby tepla sa pohybujú až do októbra.



Obrázok 40 Graf spotreby energie počas roka pre typový objekt č.2.

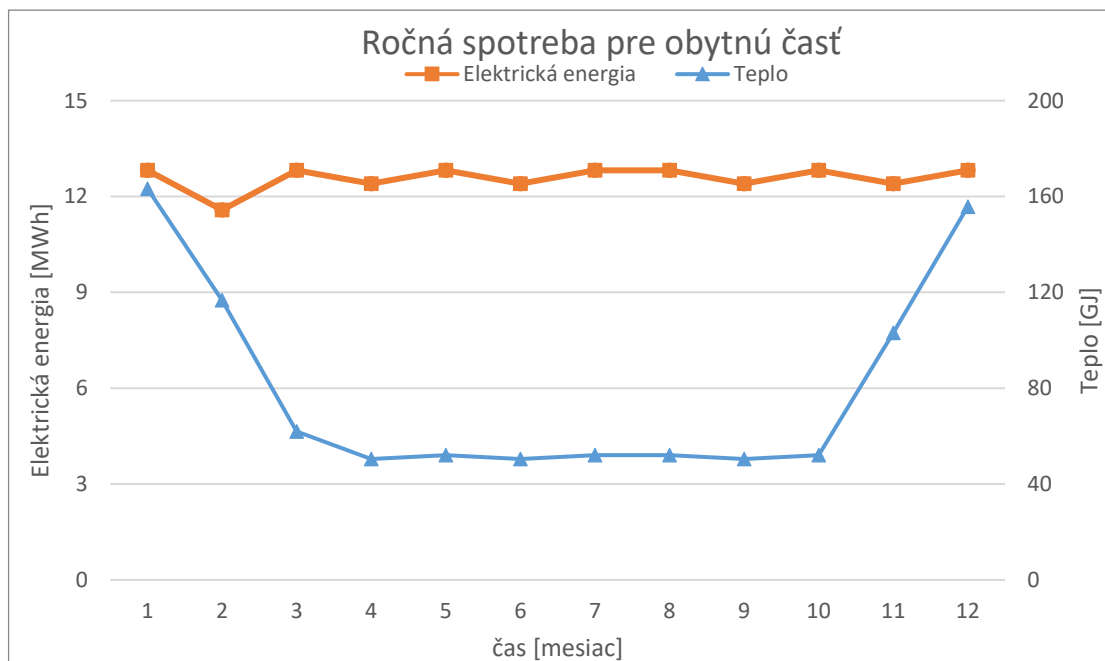
4.3 Mestská štvrť

Novopostavená obytná zóna s 50timi pasívnymi objektami. Keďže sa jedná o katalógovú zástavbu všetky domy sú rovnaké, teda rozmery, straty a spotreby sú totožné s hodnotami pasívneho domu. Tým pádom bude krivka priebehu spotreby tepla a elektrickej energie rovnaká ako u jedného pasívneho, ale s väčšími hodnotami a to 50-násobne. V Skutočnosti by sa hodnoty trochu líšili vplyvom natočenia domov na svetové strany. Pre jednu príjazdovú cestu sú budované 2 domy, každý na jednej strane, preto u jedného je hlavná sklenená plocha orientovaná na juh a u druhého na sever.



Obrázok 41 Graf dennej spotreby energie pre typový objekt. č.3.

Ako je vidieť z grafov, spotreba elektrickej energie a aj tepla je rovná násobku počtu domov v projekte a je vhodnejšia pre návrh decentralizovaného systému, pretože investičné náklady na výstavbu exponenciálne klesajú s výkonom zariadení, resp. kapacitou akumulátorov energie. Je nutné podotknúť, že sa jedná o straty jednotlivých objektov, a úbytky napríklad vedením zo zdroja nie sú v tejto fázy uvažované, preto sa hodnota spotreby môže v konečnom výsledku zvýšiť. [54]



Obrázok 42 Graf spotreby energie počas roka pre typový objekt č.3.

4.4 Administratívna budova

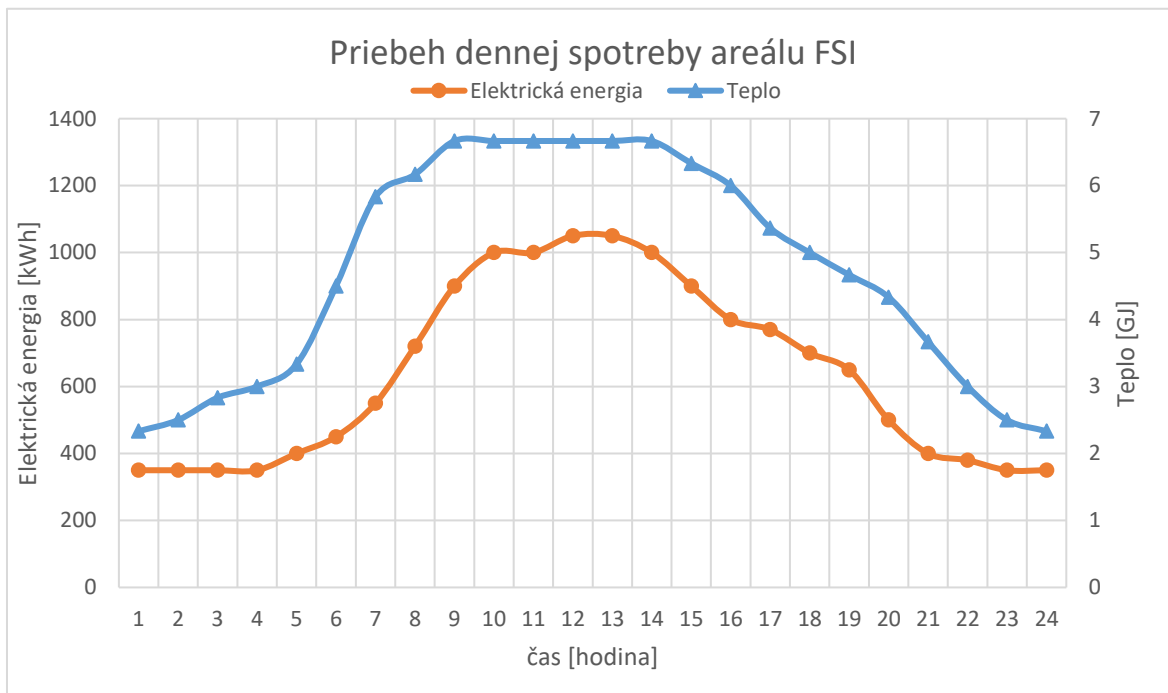
Pre porovnanie a charakterizáciu spotrieb energií bol ako posledný typový objekt vybraný areál FSI. Priestor strojnej fakulty pozostáva celkovo z 23 budov rôznych rozmerov, použitíach a tepelno-izolačných materiálov.

Hodnoty boli použité z merania odberu elektrickej energie a tepla zo siete. Vysoká škola disponuje aj fotovoltaickým horizontálnym systémom namontovaným na stene budovy A1



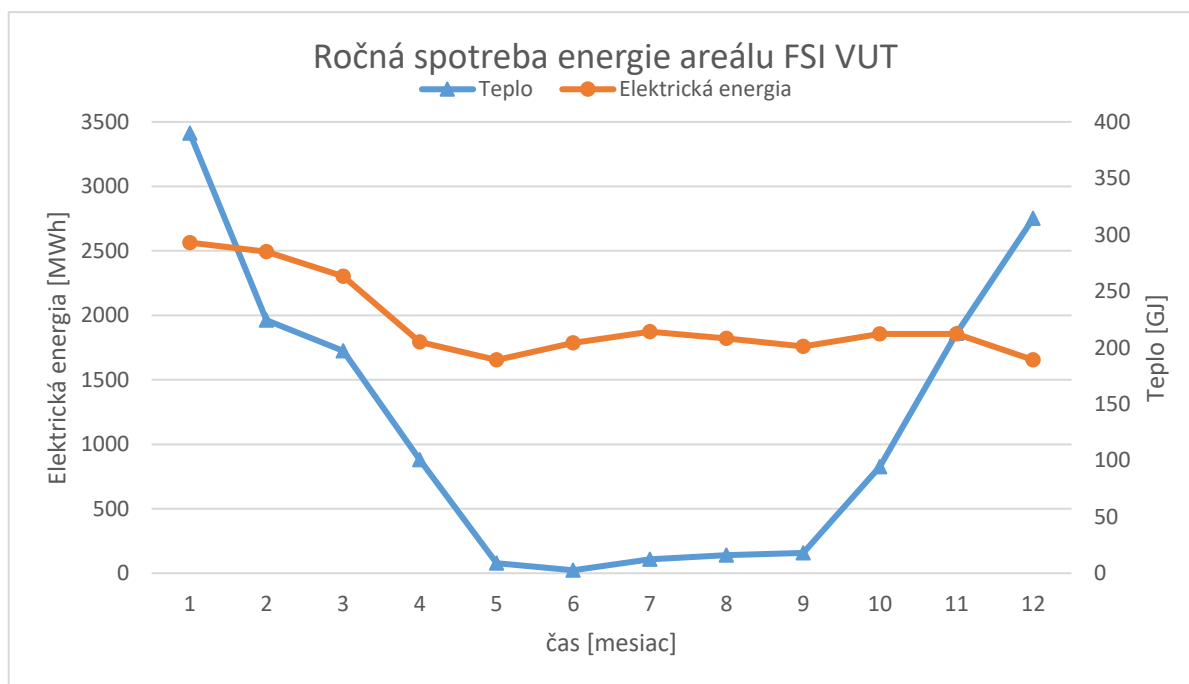
Obrázok 43 Hlavná budova A1

o výkone 40kW, ktorého elektrický prínos nie je počítaný k celkovej spotrebe elektriny, pretože sa jedná o hodnoty odčítané z elektromeru.



Obrázok 44 Graf dennej spotreby energie pre typový objekt č.4. [89]

Krivka grafu dennej spotreby sa zásadne odlišuje od kriviek pre obytné budovy, ktoré boli vysvetlené v predošlých modelových prípadoch. Hodinové hodnoty spotreby elektrickej energie boli odčítané z meradla, teplo bolo určené z mesačnej spotreby pre mesiac január. Vychádza sa z predpokladu, že kúrenie sa postupne spúšťa približne od 5 hodiny ránej, až na jeho maximálnu hodnotu, ktorá je takmer konštantná medzi 8-14, kedy prebieha väčšina vyučovania a akademickej práce. Zarovno so znižujúcim počtom užívateľov budovy sa znižuje



Obrázok 45 Graf spotreby energie počas roka pre typový objekt č.4. [89]

aj okamžitý tepelný výkon. Dáta boli odobrané z merania počas pracovného dňa, konkrétne stredy. Pre víkendy resp. sviatky sa krivky výrazne odlišujú. Spotreba elektrickej energie počas víkendu zostáva takmer nemenná na hodinovej báze.

U ročnej spotreby je vidieť znateľná spotreba tepla prevažne v zimných mesiacoch. Počas prázdnin síce počet užívateľov fakulty rapídne klesne, avšak, narozdiel od predošlých typových objektov sa v areály nachádza kompresorová klimatizácia, ktorá má výrazný vplyv na spotrebu elektrickej energie počas teplých dní.

5 Autonómnosť objektov

Z definície je autonómnosť vysvetlená ako nezávislosť na vonkajšom subjekte. Tento pojem avšak v energetike môže byť vyložený trochu inak a za autonómny je možné považovať aj systém, ktorý nepotrebuje byť pripojený k sieti. To znamená, že sa môže jednať aj o sústavu s kapacitným zásobníkom paliva, ako je napríklad drevo, nafta, alebo olej, ktoré je dovážané v určitých intervaloch. To značí, že je z dlhodobého hľadiska do určitej miery je závislé na dodávkach, avšak dokáže fungovať bez nich rádovo v týždňoch, alebo mesiacoch na základe objemu zásobníka. [90]

Takmer každý objekt, dokáže byť plne autonómny od dodávky tepla a elektrickej energie zo siete. Problém nastáva, či sa autonómnosť vyplatí z hľadiska rentability a návratnosti investície. U niektorých budov, ako sú napríklad vysokohorské chaty, malé oceánske ostrovy, popr. odľahlé oblasti je sebestačnosť nutnosťou fungovania aj napriek vysokým jednotkovým cenám za vyrobenú energiu. Avšak pre spotrebiteľa, ktorý zvažuje decentralizovaný a sebestačný systém hrá rentabilita dôležitú úlohu pri výbere technologického riešenia.

Pre každý z objektov je navrhnutých niekoľko technologických riešení, pomocou ktorých by sa dala autonómnosť realizovať. Pre dané návrhy bude následne posúdený stupeň autonómnosti, ktorý bude vyjadrovať pomer vyrobenej energie k celkovej potrebnej energii pre fungovanie, tkz. LOA (Level of autonomy).

$$LOA = \frac{\text{vyrobená energia}}{\text{spotrebovaná energia}} [-] \quad (5.1)$$

Pokiaľ hodnota stupňa dosiahne 1, znamená to, že systém je plne autonómny od siete, resp. dokáže fungovať Off-Grid. Čím menšie číslo od 1, tým horšie je systém navrhnutý z ohľadom na sebestačnosť, kde 0 znamená plný odber energii (elektrina a teplo) zo siete.

Pre riešenia bude ďalej posúdená rentability investície ROS (Rentability of system), ktorá bude posúdená pomocou kapitálových CAPEX a operatívnych OPEX nákladov počas životnosti systému, resp. zdroja.

5.1 Použité zdroje energie

Energetické zdroje vhodné pre ostrovne systémy môžu pracovať samostatne, alebo sú zapojené do hybridných systémov, vďaka čomu dokážu lepšie pokrývať spotrebu energii. Čisto fotovoltaický systém dokáže dodávať elektrickú energiu pokiaľ sú vhodné slnečné podmienky. Napriek tomu, že na výrobu energie vplýva aj difúzne svetlo, ktoré prechádza skrz oblaky, je tento podiel malý. Podľa grafov denných spotrieb uverejnených v kapitole 4 je vrchol spotreby elektriny o 19. hodine a v zimných mesiacoch nie je možné dodávať v tomto čase energiu priamo zo zdroja. Preto je u všetkých až na výnimku areálu FSI uvažovaný batériový akumulátor, aby dokázal uskladniť prebytočnú energiu a naopak ju dodať keď bude potrebná. Zapojenie FV a batérii nie vždy dokáže ekonomicky pokryť celkovú dennú spotrebu elektriny, hlavne v zimných mesiacoch keď je intenzita slnečného žiarenia menšia, je potrebný pre zachovanie autonómnosti použiť ďalší zdroj, ako je napríklad plynová elektrocentrála, kogeneračná jednotka popr. palivový článok. Pre pokrytie tepla v návrhu je použitá hlavne kombinácia solárnych termických kolektorov, ktoré ohrievajú TUV a hlavného zdroja, ako napr. kotol na tuhé palivo, alebo tepelné čerpadlo. V prípade kogeneračnej jednotky, ktorá

využívá aj odpadné teplo pri výrobe elektrickej energie, je možné jej zapojenie s termických ohrevom a dodatočným zdrojom tepla.

Fotovoltaický systém - u solárnej elektrárne je uvažovaný panel Jimko solar o výkone 270Wp a celkovej účinnosti 16,5%. Cena samotných panelov tvorí približne 45% celkových kapitálových nákladov na zaobstaranie systému. Plocha 1 panelu je 1,7m². [91][92]

Fotovoltaické systémy pozostávajú zo zapojenia požadovanej počtu FV panelov, to znamená že pokiaľ potrebujeme výkon 3kWp zapojíme 11 panelov 11.270Wp=2,97kWp a pod.

Kogeneračná jednotka - kogeneračná jednotka sa v malých aplikáciách neoplatí, pretože sa priamo v týchto výkonoch sériovo nevyrába. Preto je uvažovaná len u väčšej potrebe tepla resp. elektrickej energie. Pretože je potrebný neustály prívod paliva vo forme zemného plynu alebo LPG, tak pri návrhu je k dispozícii zásobník. Tým pádom je požiadavka na odpojenie od siete splnená, avšak pre jednoduchšie skladovanie je použité palivo LPG. [93]

Veterná turbína - Použitie micro veternej turbíny je v Českej republike značne obmedzené. Napriek rozdielnym rýchlostiam prúdenia vetra počas zimných a letných mesiacov, dosahuje rýchlosť v januári len 4m/s vo výška 10m nad zemou. Minimálna rýchlosť na spustenie komerčne navrhutej turbíny je 3,5m/s z toho plynie, že 1kW stroj by pri najlepších veternostných podmienkach dosahoval okamžitý výkon len približne 50W. Napriek tomu, že sa navrhujú aj pomaly bežné turbíny, použitie turbíny je špecifické pre danú lokalitu. [94]

Akumulácia elektrickej energie - Pre akumuláciu boli použité batérie PowerWall spoločnosti Tesla o kapacite 13,5kWh. Tesla udáva minimálnu životnosť približne 8000 cyklov, pri ktorej dôjde k maximálnemu poklesu kapacity o 20%. Je ich možné zapájať do seba a tým navýšiť kapacitu na požadované hodnoty. [62]

Solárny termický kolektor - Pre sezónny ohrev teplej úžitkovej vody sú uvažované oba typy kolektorov (doskový aj trubkový) spoločnosti Viessmann. [95]

Tepelné čerpadlo - Boli použité tepelné čerpadlá Zem-voda spoločnosti Ab-Therm, vďaka ich širokému výkonovému spektru pre rezidenčné aplikácie. SCOP u tejto kategórie sa celosezónne pohybuje okolo úrovne 3,15. [96]

Kotol na drevo - Je dodávaný spoločnosťou Dakon a je potrebné ho plniť palivom približne raz za deň podľa potreby tepla. Pre kotol je vždy uvažovaná ekonomická vzdialenosť skladu, ktorá je približne 60km. [97]

Kotol na pelety - Od spoločnosti Dakon, ktorý je zásobovaný automatizovaným zásobníkom schopným udržať kotol v prevádzke po dobu pár dní a v zdroj peliet je v blízkosti objektu kvôli dodávkam. [97]

Plynová elektrocentrála - U samostatných objektoch je možné použiť aj plynovú elektrocentrálu s malým výkonom, ktorá dokáže premenou LPG zo zásobníku vyrábať elektrickú energiu. Ovládanie je zabezpečené jednoduchou automatizáciou, ktorá zopne elektrocentrálu, kde sa bude kapacita batérii blížiť nule a vypne pri plnom nabití. [98]

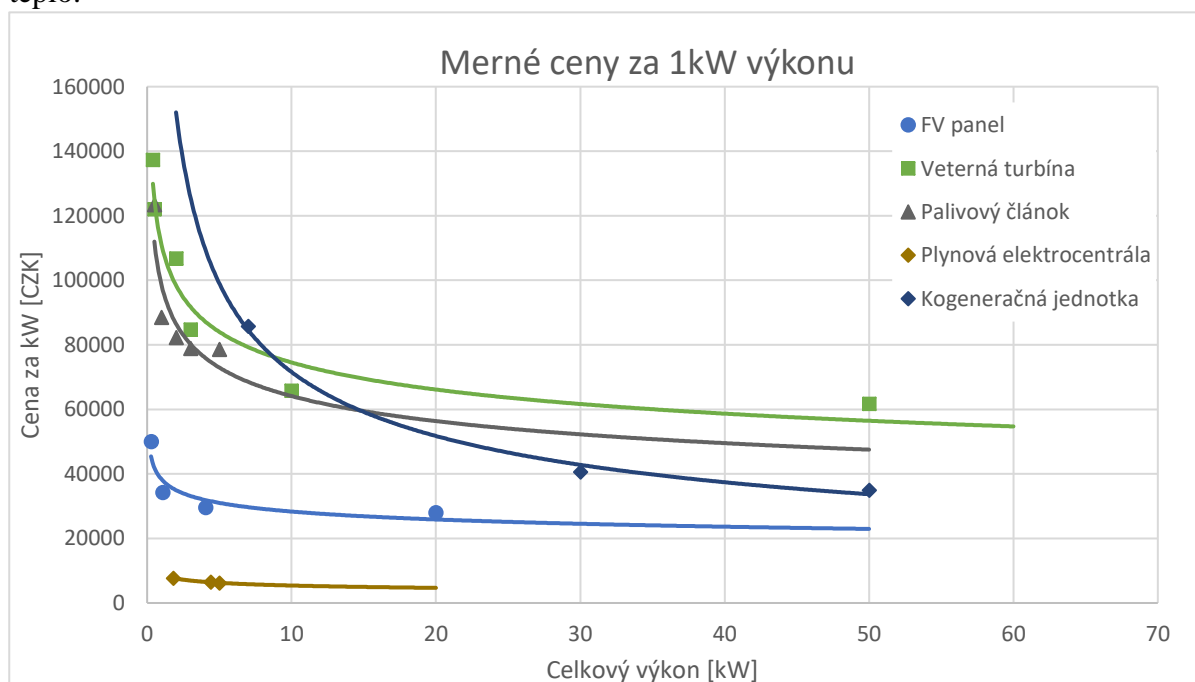
5.2 Krivky merných kapitálových nákladov

Pre určenie nákladov na zaobstaranie zdrojov je potrebné poznať reálne ceny z katalógov výrobcov, ktoré sú ponúkané často aj v iných menách. Pre určenie cien v CZK je použitý konverzný kurz z 23.3.2018.

Tabuľka 3 Konverzný kurz [98]

1	EUR	25,43	CZK
1	USD	20,58	CZK

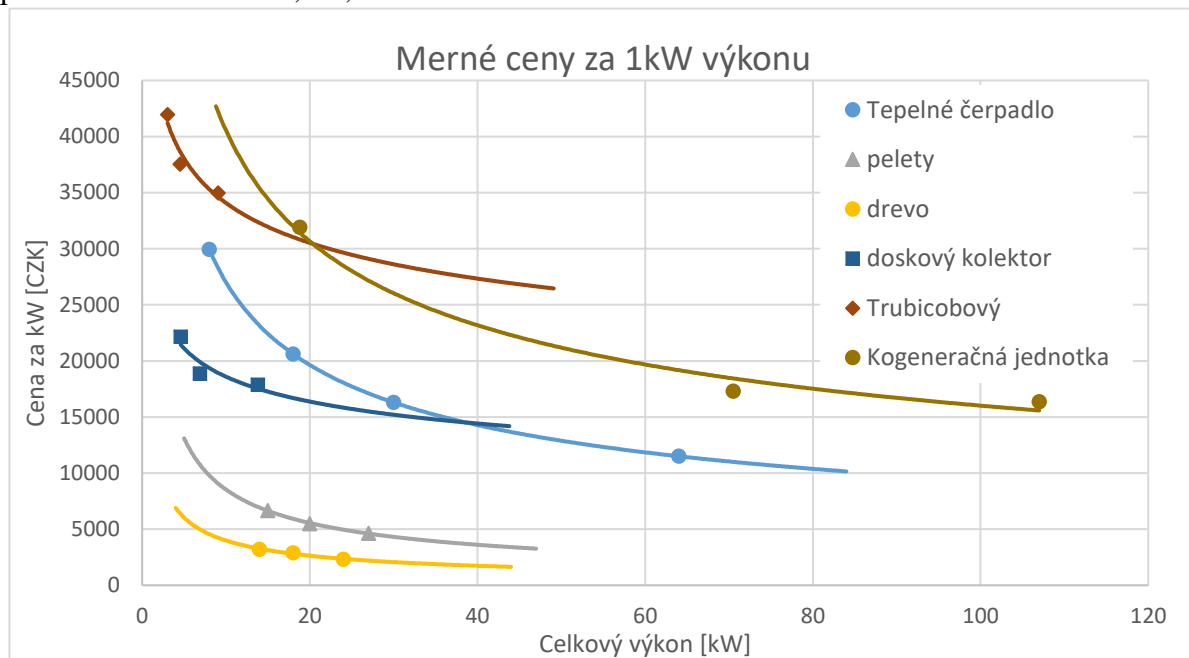
Na ostrovnú výrobu elektrickej energie vychádza najlacnejšie plynová centrála, avšak do ceny nie sú zahrnuté náklady na zásobník a palivo. V posledných rokoch výrazne klesá cena FV panelov, čo sa pozitívne odzrkadlilo na nákladoch na FV, ktoré sa od určitého výkonu pohybujú pod úrovňou 30000kč za 1kW inštalovaného výkonu. Obstarávacía cena palivového článku a veternej elektrárne je pomerne rovnaká, avšak ich použitie je značne rozdielne. K článku treba ešte prirátat' náklady na palivo a jeho zásobník, ale dokáže pracovať takmer nepretržite, nezávisle na okolitých podmienkach. U veternej elektrárne sú možnosti malé vplyvom zlých veterných podmienok na území ČR. Oba zdroje sa skôr oplatia pri väčších výkonoch vzhľadom na ich náklady. Vyjadrená je tiež aj cena pre kogeneračnú jednotku, kde krivka je znázornená len pre 1kw elektrického výkonu, teda treba ešte prirátat' využité odpadné teplo.



Obrázok 46 Krivky kapitálových nákladov pre $1kW_e$ [91] [92] [93] [98] [100] [101] [103] [104]

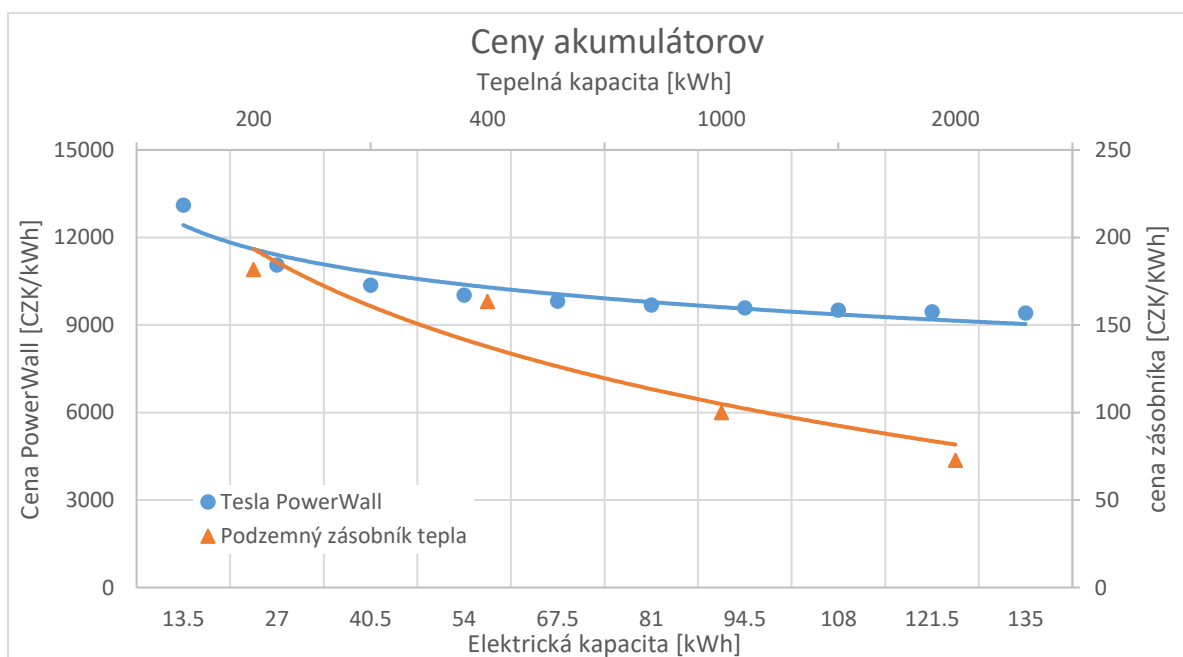
Pre ohrev TUV je možné použiť doskový, alebo trubicový termický kolektor, ktoré ohrievajú tepla v slnečných dňoch. Trubicový stojí takmer 2-násobok ceny doskového pre jeho zložitejšiu výrobu. Preto je na zváženie, ktorá investícia bude mať rýchlejšiu rentabilitu. Podľa krivky je kotol na drevo vhodný aj pre aplikáciu s nízkym tepelným výkonom, kvôli jeho relatívne nízkej cene. Kotol na pelety je podstatne drahší ako na drevo. Prevádzkové náklady sú taktiež vyššie, pretože jednotková cena tepla z peliet je väčšia ako z dreva. Ale je plne automatizovaný a palivo je kontinuálne podávané podávačom, preto vyžaduje menšiu obsluhu.

U tepelného čerpadla cena výrazne klesá s inštalovaným výkonom, preto je vhodnejšie skôr pre budovy s väčšími tepelnými stratami. Rozdiel ceny je znateľný pri použití plošného kolektora alebo vrtu. Značnú časť ceny tvoria aj výkopové práce, ktoré sú už taktiež započítané do merných nákladov. Krivka je zostrojená pre plošný kolektor a pri vrtoch treba výslednú hodnotu prenásobiť v rozsahu 0,2-0,4.



Obrázok 47 Krivky kapitálových nákladov pre 1kW, [93][95][96][97]

U akumulácie tepla v sezónnych akumulátoroch krivka exponenciálne klesá. Ich výstavba je vhodná skôr pre veľké objekty resp. mestské štvrte, ktorý vyžadujú veľké množstvo tepla počas vykurovacej sezóny. U vybraných batérii sa cena podľa výkonu príliš nelíši. Náklady na zásobník pre TUV sú započítané v krivke pre termický kolektor Obrázku 47, pretože sa väčšinou predávajú ako systém ohrevu s akumulátorom.



Obrázok 48 Krivky kapitálových nákladov pre 1kwh kapacity [54][62]

Pomocou dát z katalógových listov dodávateľov sú regresnou analýzou zostrojené krivky vývoja cien podľa inštalovaného výkonu. Tabuľka 4 nám dáva funkcie pre jednotlivé zdroje, pomocou ktorých sú určené potrebné kapitálové náklady pre požadovaný výkon.

Tabuľka 4 Rovnice merných kapitálových nákladov zdrojov

typ zdroja	rovnica
Fotovoltaický panel	$38286x^{-0,131}$
Palivový článok	$98423x^{-0,186}$
Veterná elektráreň	$110908x^{-0,173}$
Plynová elektrocentrála	$-8737,5x^{-0,208}$
Kogeneračná jednotka - elektrina	$210297x^{-0,468}$
Trubicový kolektor	$49141x^{-0,159}$
Doskový kolektor	$28316x^{-0,182}$
Kotol na drevo	$15803x^{-0,598}$
Kotol na pelety	$35569x^{-0,621}$
Teplné čerpadlo + výkopové práce	$77916x^{-0,46}$

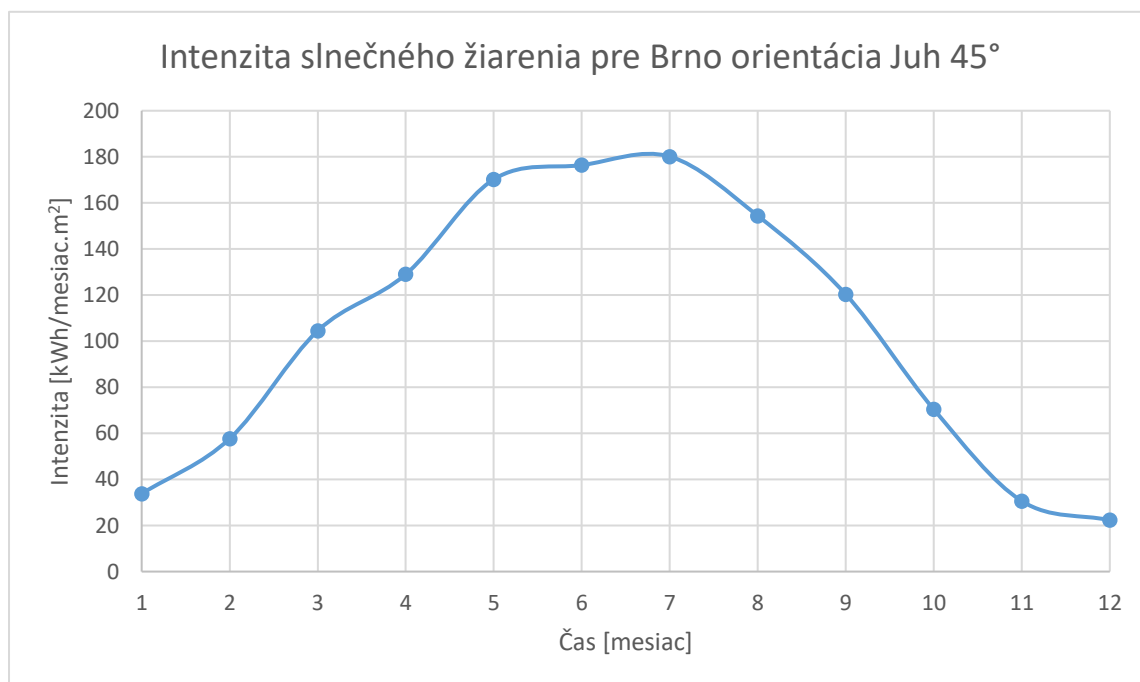
To isté platí aj pre akumulátory energií.

Tabuľka 5 Rovnice merných kapitálových nákladov akumulátorov

typ akumulátora	rovnica
Sezónny zásobník tepla	$-80,71\ln(x)+193,55$
Batérie	$12483x^{-0,135}$

5.3 Produkcia energie zo slnka

Pre výpočet elektrickej energie pomocou FV panelov a tepla získaného termickým ohrevom vody je potrebné poznať intenzitu slnečného žiarenia pre danú lokalitu. Dáta boli použité



Obrázok 49 Intenzita slnečného žiarenia pre oblasť Brno [105]

z celorepublikového priemeru pre orientáciu na Juh so sklonom 45° voči horizontálnej rovine. Táto konfigurácia nám dáva možnosť najoptimálnejšieho získania slnečného žiarenia počas roka. Z grafu je zreteľné, že v decembri je približne 9-násobne nižšia produkcia ako v júly. To je zapríčinené jednak krátkym dňom, uhlom dopadajúceho žiarenia, ale aj väčším počtom zamračených a neslnečných dní.

Pre výpočet tepla získaného termickým kolektorom počas jedného mesiaca je použitá rovnica

$$Q = 3,6 \cdot I \cdot \eta_s \cdot A \text{ [MJ]} \quad (5.2)$$

Tabuľka 6 Účinnosti kolektorov pri premenlivej tepelnej diferencii [106]

Mesiac	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Delta teploty	52	50,3	45,8	40,5	35,7	32,5	30,7	30,9	35,3	40,7	46	50,3
Trubicový	0,75	0,75	0,76	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,76	0,75
Plochy	0,7	0,71	0,74	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,73	0,71

Pri určení tepla potrebného pre TUV počas jedného mesiaca je vychádzané z kalorimetrickej rovnice

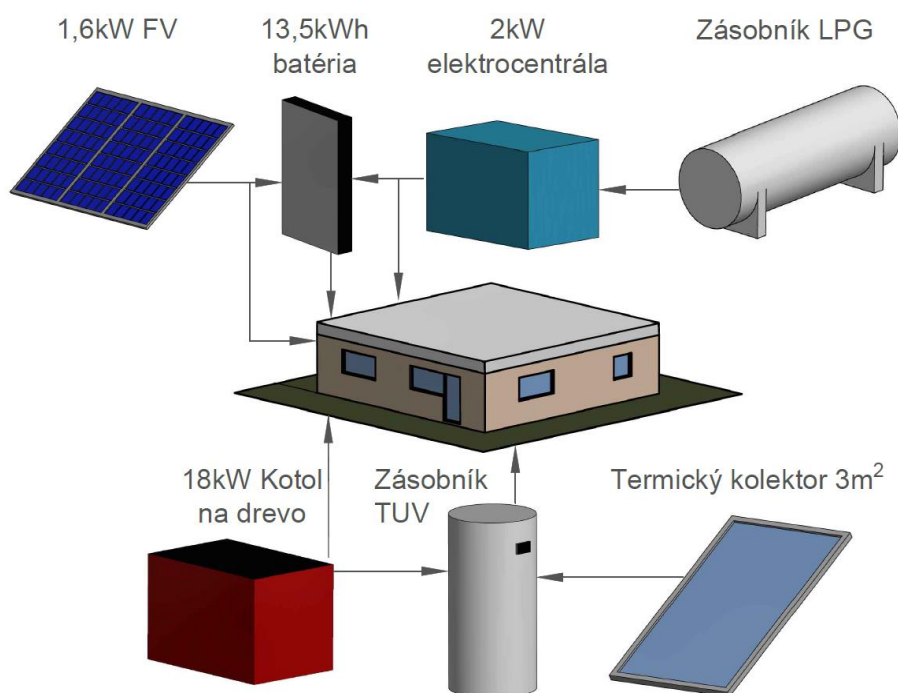
$$Q = c_p \cdot \rho \cdot V \cdot (t_2 - t_1) \text{ [J]} \quad (5.3)$$

Pre určenie elektrického výkonu, resp. produkcie elektriny za mesiac pomocou fotovoltaických panelov je použitý vzťah. Je uvažovaná konštantná účinnosť počas celého roka.

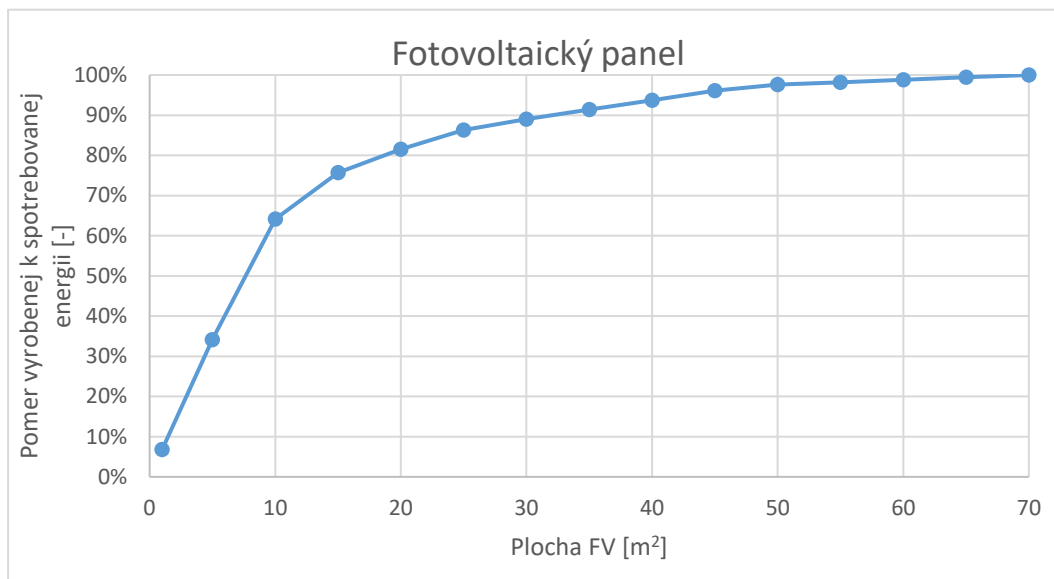
$$W_{FV} = I \cdot \eta_{FV} \cdot A \text{ [kWh]} \quad (5.4)$$

5.4 Starý dom

Pretože spotreba elektrickej energie je v starom aj pasívnom dome rovnaká, je dimenzovaný energetický návrh zdrojov pre elektrinu súčasne. Ten istý predpoklad bude platiť aj pre termický kolektor, vplyvom rovnakej spotreby teplej vody.



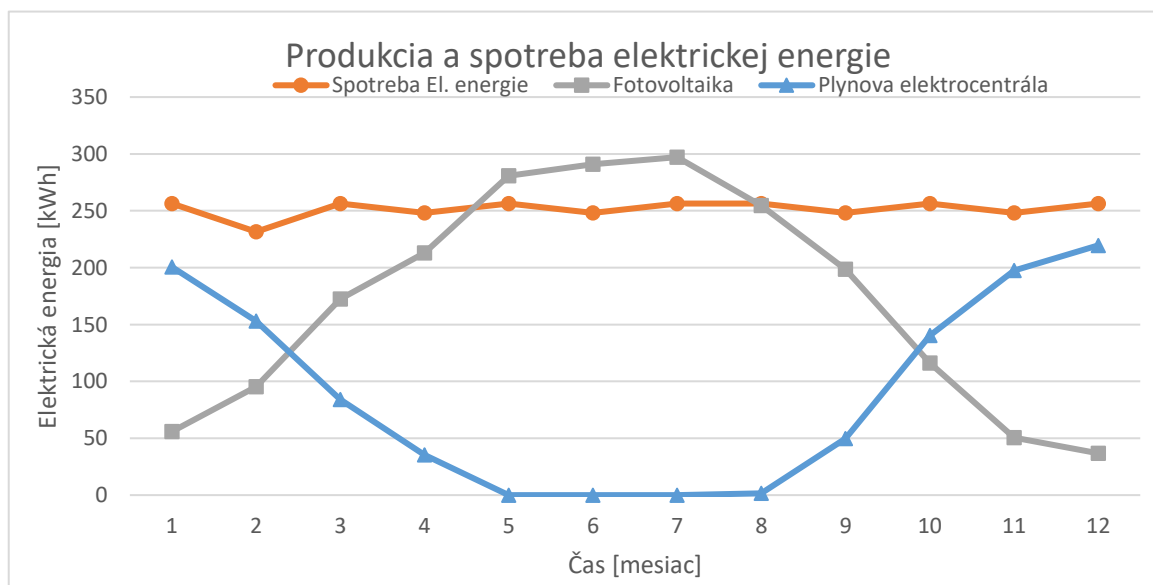
Obrázok 50 Schéma zapojenia pre starý dom



Obrázok 51 Závislosť autonómnosti na ploche FV panelu pre objekt č.1.

Na výrobu elektrickej energie v ostrovných systémoch sa často používa fotovoltaický panel. Pomocou grafu intenzity žiarenia (Obrázok 48) a vzorca 5.4 bol vytvorený graf závislosti ročnej sebestačnosti domu na ploche panelu. Jednotlivým navyšovaním plochy sa zvyšuje aj celková produkcia. V riešení je uvažovaný batériový zásobník o kapacite 13,5kWh, ktorý by mal zabezpečiť elektrickú energiu na 1,5 dňa (denná spotreba 8kWh) v prípade úplného nedostatku solárneho žiarenia. Na základe toho grafu bola vybraná plocha 10m² pre návrh systému, pretože do tohto bodu je značný nárast vyrobenej energie k celkovej ploche panelov. Pokiaľ by sme použili napríklad 2-násobnú plochu (20m²), síce by sme ňou navýšili výkon taktiež 2-násobne, ale nárast celkovej vyrobenej elektrickej energie by nebol rovnaký ako u výkonu. To je zapríčinené obmedzenou kapacitou batériových akumulátorov a dennou spotrebou, ktorá je približne 8kWh. Prebytočnú energiu by bolo nutné mariť.

Je zrejmé, že na zabezpečenie elektrickej energie výhradne z tohto zdroja by sme museli využiť značné množstvo solárnych panelov, pokiaľ by sme chceli zabezpečiť 100% elektriny

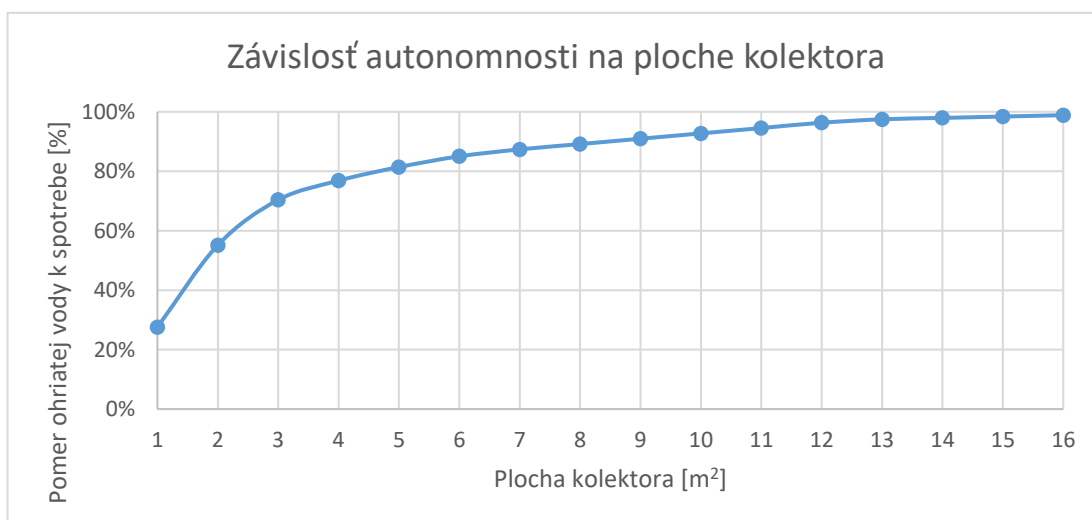


Obrázok 52 Spotreba elektrickej energie a zdroje počas roka pre objekt č.1.

počas kalendárneho roka. Ako rozumná možnosť sa javí kombinácia FV panelu a plynovej elektrocentrály, ktorá by fungovala prevažne v zimných mesiacoch, keď je intenzita slnečného žiarenia nedostatočná. Skvapalnený plyn dosahuje nižšie emisie ako naftový agregát, preto z environmentálneho hľadiska je vhodnejší.

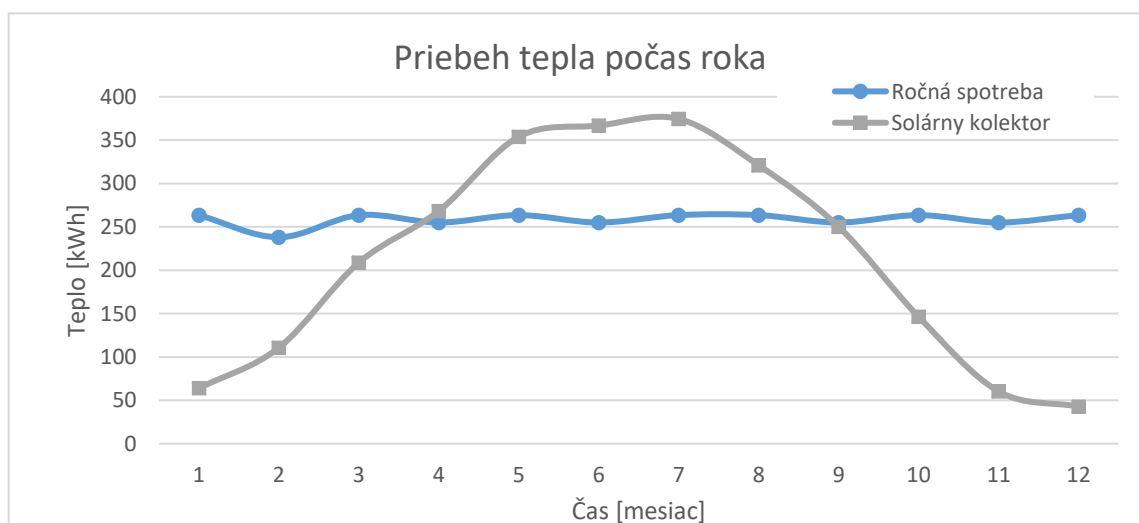
Prebytočná elektrická energia v lete by mohla byť použitá aj na ohrev TUV. Pretože, ale dodanie tepla je zabezpečené pomocou termických kolektorov, ktoré majú taktiež prebytok tepla v letných mesiacoch (Obrázok 53), tak toto doplnkové riešenie nemá význam.

Z Tabuľky 6 je vidieť, že účinnosť trubicových kolektorov je vyššia ako u doskových hlavne v zimných mesiacoch, avšak pomerne k kapitálovým nákladom, ktoré sú takmer 2 násobné je to zanedbateľné, preto budeme pri výpočte počítať jedine s doskovým solárnym kolektorom.



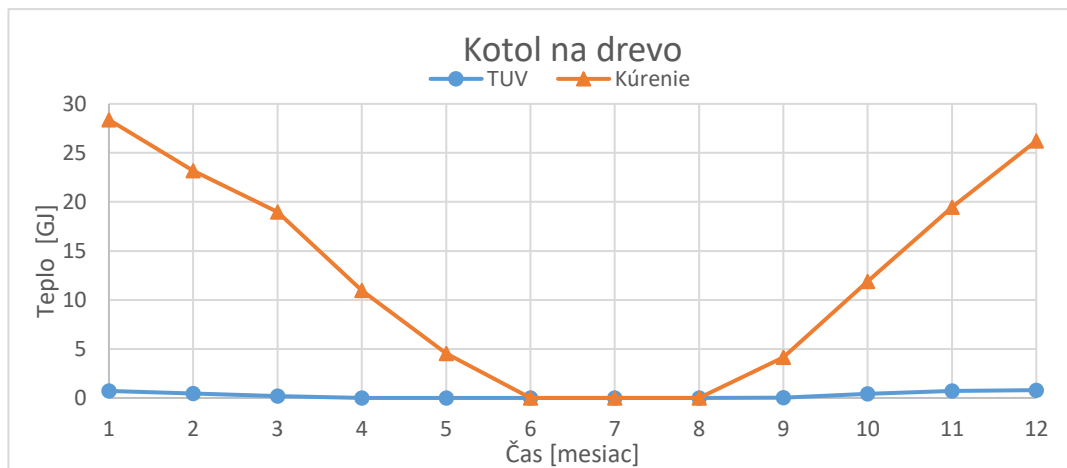
Obrázok 53 Závislosť autonómnosti na ploche termického panelu pre objekt 1.

Obrázok 53 vyjadruje závislosť pomeru ohriatej vody voči spotrebe ku ploche solárneho termického kolektora. Pokiaľ by sa jednalo o jediný zdroj na ohrev TUV, bolo by nutné mať približne 20m² plochy, aby sme dokázali pokryť ročnú spotrebu. Krivka prudko stúpa do 3m² a následne sa prírastok znižuje. To je zapríčinené presiahnutím potreby teplej vody, a nevyužitím celého tepelného výkonu v danom okamžiku.



Obrázok 54 Produkcia tepla termickým ohrevom a spotreba počas roka pre objekt 1.

Počas leta hodnota vyrobenej teplej vody presiahla krivku spotreby, čo má za následok nevyužitú energiu. Pokiaľ by sme zvyšovali plochu kolektorov, síce by sme zvyšovali pokrytie v chladnejších mesiacoch, avšak investícia by neúmerne rástla voči návratnosti. Na základe predošlého grafu bola zvolená plocha termického doskového kolektora 3m² pre objekt 1. a 2.

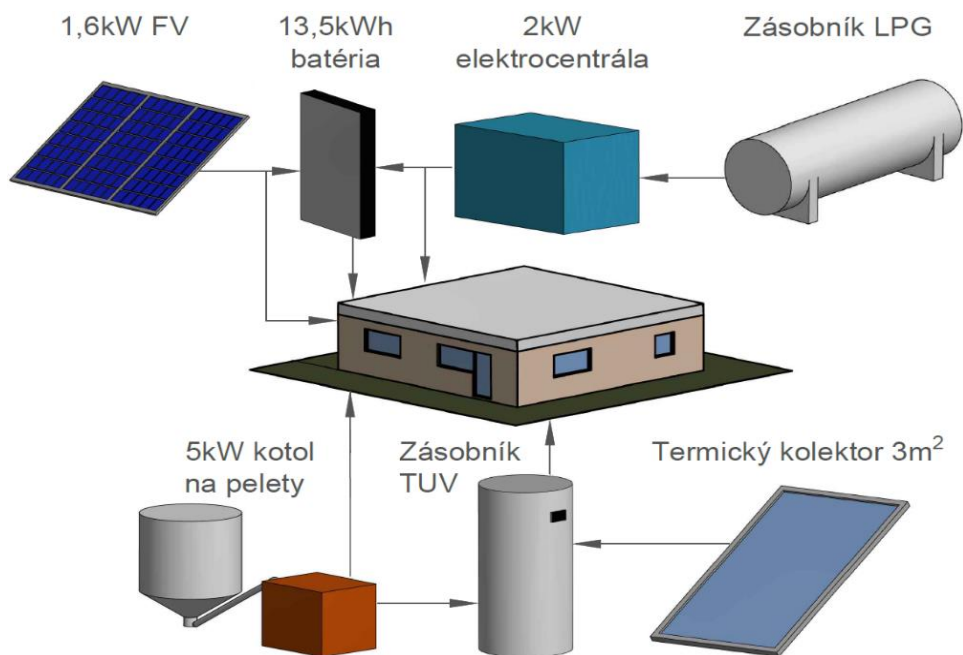


Obrázok 55 Pokrytie potreby tepla použitými zdrojmi pre objekt 1.

Pretože u starého domu, ktorý nie je zateplený, resp. izolovaný vzniká vysoká potreba tepla hlavne počas zimných mesiacov, ako zdroj môžeme použiť tepelné čerpadlo alebo kotol na biomasu. Výber je zúžený na kotol drevo, pretože kapitálové náklady a merná cena za 1MJ výhrevnosti je nižšia než u kotla na pelety. Pri použití tepelného čerpadla by bolo nutné dodávať dodatočnú elektrickú energiu pre jeho chod. Pretože výroba elektriny počas zimy je podstatne zložitejšia, toto riešenie nie je uvažované pre daný objekt, kvôli zvýšeniu autonómnosti.

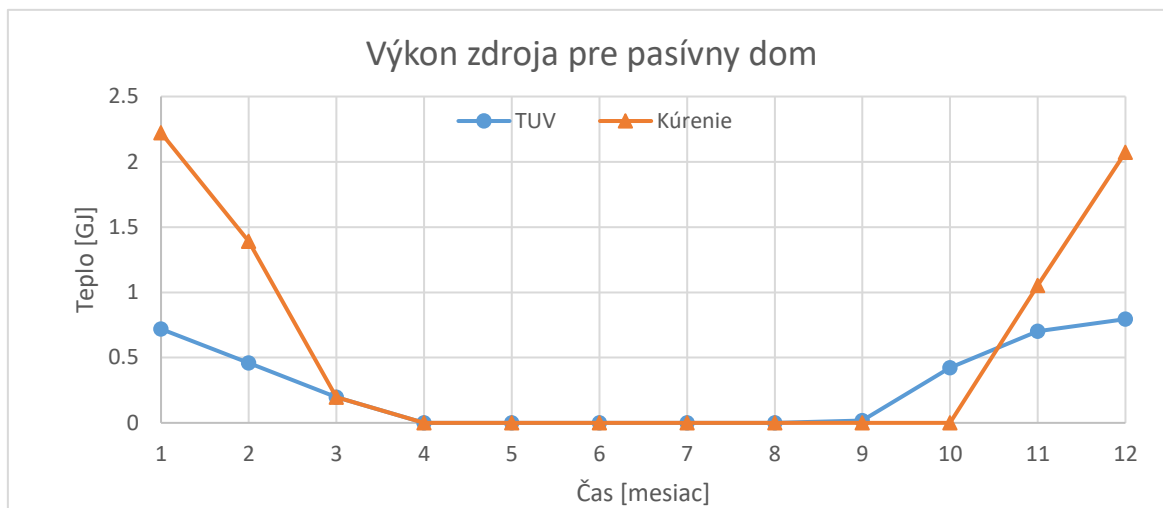
5.5 Pasívny dom

5.5.1 1. riešenie



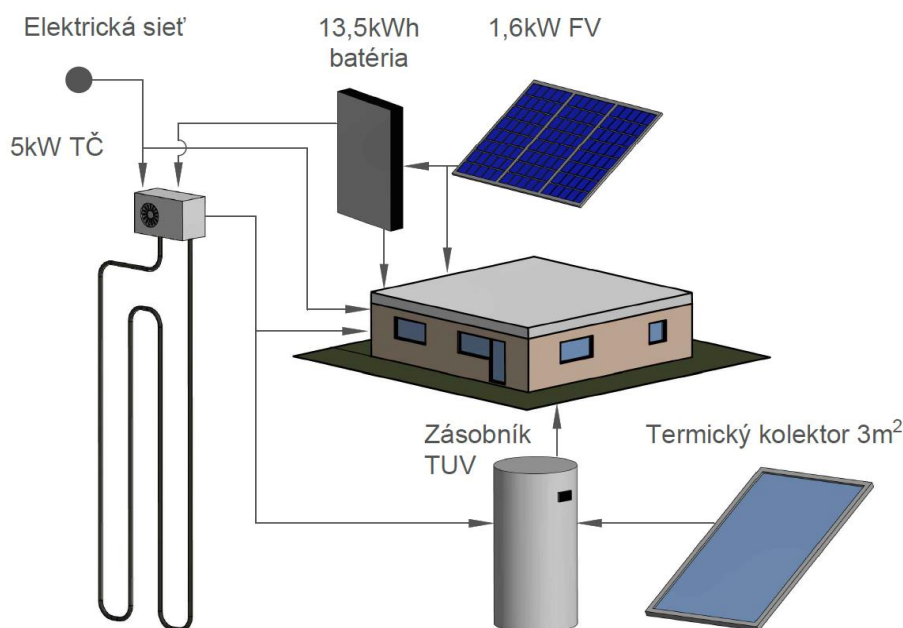
Obrázok 56 Schéma zapojenia zdrojov pre pasívny dom 1.

Pretože pre ohrev TUV je použitý rovnaký termický kolektor (plocha 3m^2) a taktiež aj FV systém s batériou je totožný (1,6kW FV a 13,5kWh kapacita batérie) je krivka pre výrobu elektrickej energie u pasívneho domu zhodná so starým domom. Náklady na teplo sú podstatne nižšie (porovnanie Obrázku 37 a 39) vplyvom zateplenia a izolácie, preto pre väčší komfort je použitý kotol na pelety, ktorý zabezpečí kontinuálnu dodávku tepla na pár dní bez nutnosti plnenia zásobníka, vďaka prítomnosti podávacie systému do kotla.



Obrázok 57 Pokrytie potreby tepla použitými zdrojmi objekt. 2. (obe riešenia)

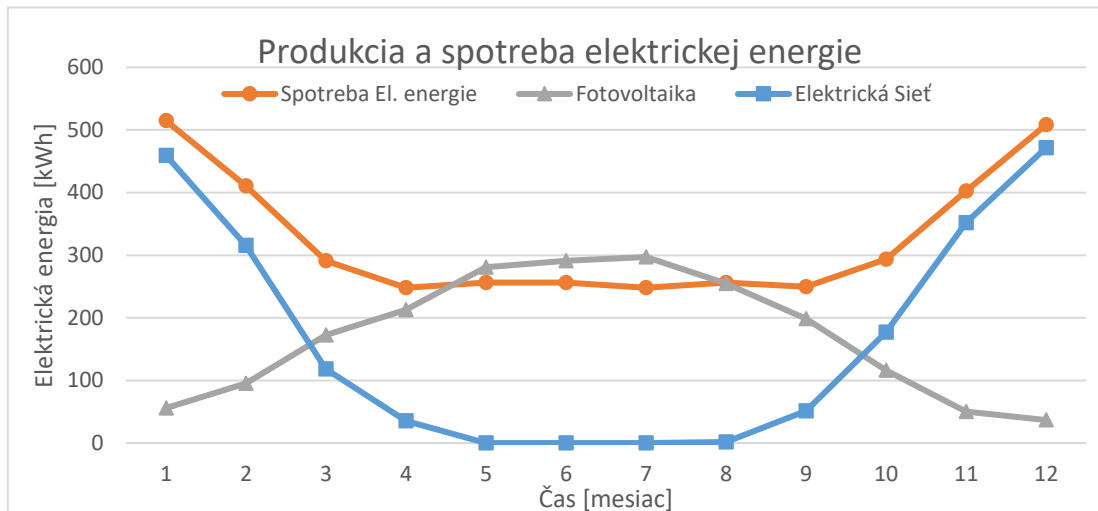
5.5.2 2. riešenie



Obrázok 58 Schéma zapojenia zdrojov pre pasívny dom 2.

U pasívneho domu by pri teplote -15°C došlo k maximálnej strate do okolia niečo okolo 3kW tepla za hodinu, vďaka čomu je možné použiť čisto len tepelné čerpadlo a nemusí sa kombinovať s iným zdrojom tepla. Krivka pokrytia tepla je totožná s kotlom na pelety (Obrázok 55). Pri použití tepelného čerpadla treba avšak zvážiť zvýšenú spotrebu elektrickej energie, ktorá pri ostrovnom systéme musí byť vyrobená iným zdrojom.

Zmena spotreby elektrickej energie (oranžová krivka) má klesajúcu tendenciu až do apríla, kde sa ustaví na takmer konštantnej hodnote až do septembra, a potom znova rastie. Tento výkyv je spôsobený príkonom tepelného čerpadla v zime. Rozdiel v spotrebe elektriny v porovnaní s 1. riešením je približne 800kWh ročne.



Obrázok 59 Spotreba elektrickej energie a zdroje počas roka pre objekt 2., riešenie 2.

5.6 Obytná štvrť

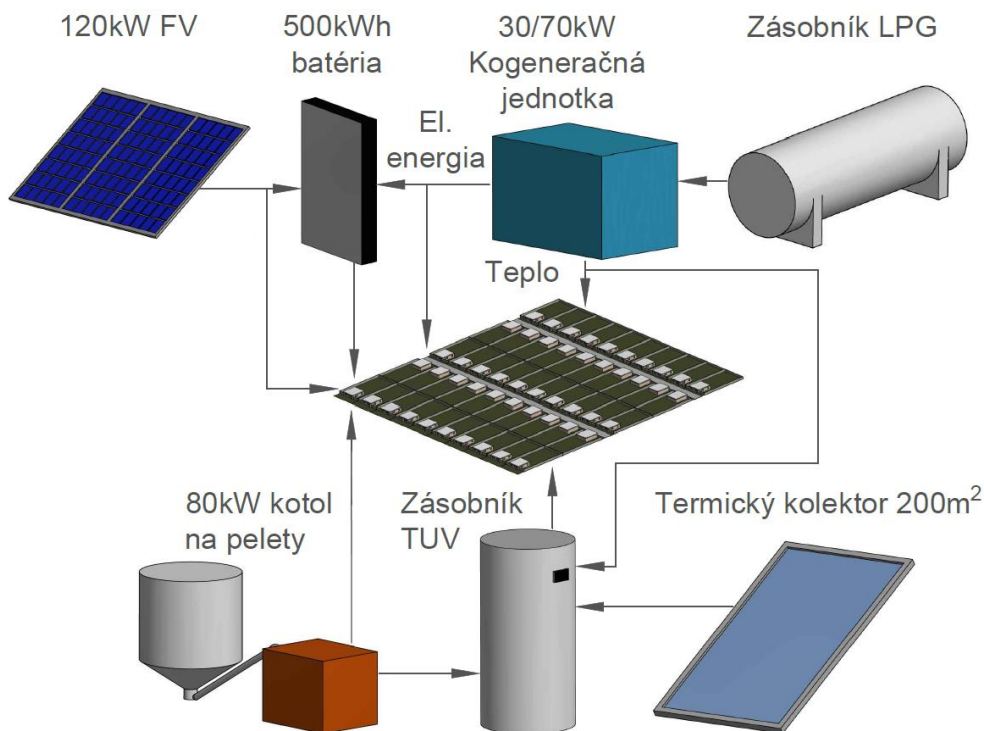
Pri štvrti s 50timi domami, bude príkon energie 50-násobne vyšší ako v predošlých prípadoch. V týchto výkonoch sa vyrábajú aj tzv. micro kogeneračné jednotky, ktoré produkujú elektrickú energiu a využité je aj odpadné teplo.

U obytnej štvrti sú možnosti použitia ostrovnych systémov väčšie, vzhľadom na väčší požadovaný tepelný a elektrický výkon. Sú uvažované 3 možnosti zapojenia hybridných zdrojov

1. Využitie solárneho termického kolektora na ohrev TUV, FV panely pre dodanie elektrickej energie počas leta, micro kogeneračná jednotka a záložný kotol na pelety.
2. Využitie solárneho termického kolektora na ohrev TUV, FV panely počas letnej prevádzky a na elektrolýzu vodíka, palivový článok a kotol na pelety.
3. Využitie solárneho termického kolektora na ohrev TUV, FV panely pre dodanie elektrickej energie počas leta, tepelné čerpadlo a plynová elektrocentrála pre výrobu elektriny počas zimy.

5.6.1 1.Riešenie

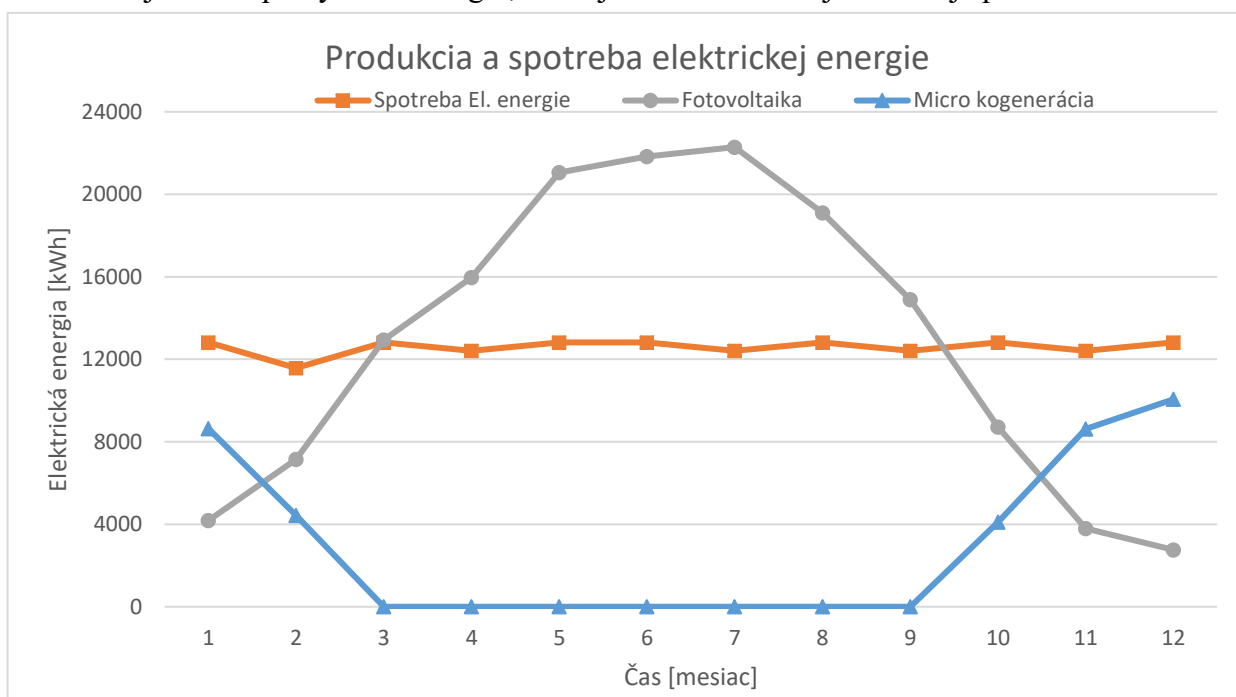
U prvého riešenia je využitý solárny termický kolektor o ploche 200m² na ohrev TUV. Výber celkovej plochy je tiež založený na prírastku produkcie voči výkonu (Obrázok 58). Pretože kogenerácia vyrába kombinovane teplo aj elektrickú energiu súčasne, je neekonomické aby vyrábala len elektrickú energiu (keď už FV nedokáže dodávať požadovaný výkon). Napriek tomu, že boli stanovené merné kapitálové náklady funkciami v tabuľkách 4 a 5, nie je vždy možné vybrať sériovo vyrábaný zdroj len na základe požadovaného výkonu. V katalógu spoločnosti TEDOM sa micro kogeneračná jednotka, ktorá dokáže pracovať so skvapalneným ropným plynom ponúka v najbližšom elektrickom výkone 30kW_e a tepelnom 70kW. Na základe tohto výberu bola stanovená plocha fotovoltaických panelov na 700m². Záložný



Obrázok 60 Schéma zapojenia zdrojov pre mestskú štvrť 1.

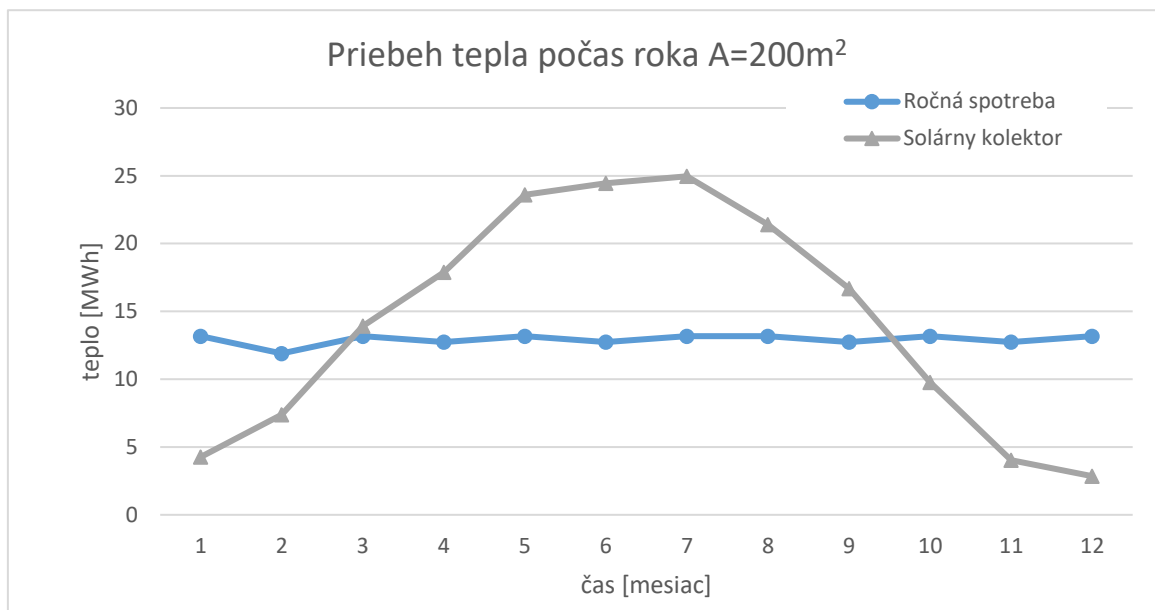
kotol, ktorý musí doplniť kogeneráciu na maximálny požadovaný tepelný výkon (150kW) funguje na pelety o výkone 80kW. Batériové uložisko o kapacite 500kWh, ktoré dokáže zabezpečiť elektrickú energiu pre celú komunitu na jeden deň. [93]

Podľa grafu FV panely spolu s batériami dokážu zásobovať elektrickou energiou systém od začiatku marca až po polovicu septembra. Spotrebu mimo toto obdobie bude vykrývať kogeneračná jednotka. Pretože kvôli maximálnemu využitiu kogenerácie bola určená plocha FV 700m² je vidieť prebytočnú energiu, ktorú je nutné mariť. Jej hodnota je približne 40MWh



Obrázok 61 Spotreba elektrickej energie a jej pokrytie pre objekt 3., riešenie 3.

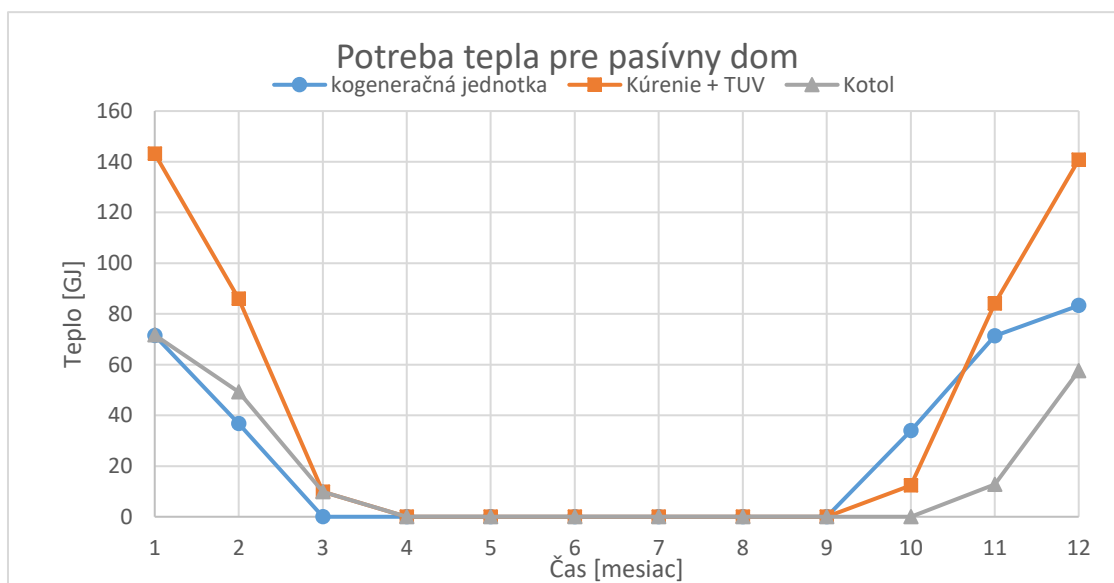
a pokiaľ by došlo v blízkej budúcnosti k zníženiu ceny za batérie, alebo k inému dlhodobému spôsobu uloženia elektrickej energie, kogeneračná jednotka by nemusela byť vôbec nainštalovaná.



Obrázok 62 Produkcia tepla solárnym ohrevom a spotreba počas roka pre objekt 3.

Termický kolektor by mal zabezpečiť pokrytie 13MWh mesačne na ohrev TUV pre obytnú zónu približne od začiatku Marca až do polovice Septembra s tým, že prebytočné teplo v lete nebude využité.

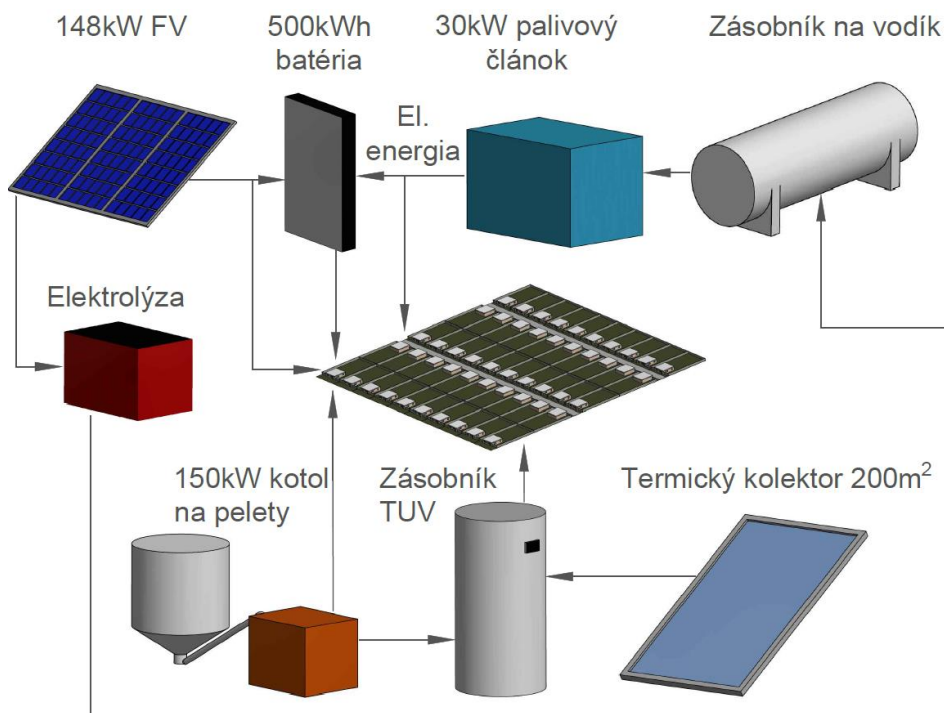
Graf znázorňuje potrebu tepla pre ohrev TUV a kúrenie pasívnych domov. Oranžová krivka je spotreba tepla, teda to čo musíme dodať z ostatných zdrojov mimo termického kolektora. Z grafu je zrejmé, že potreba tepla sa prejavuje až v polovici októbra, ale pokrytie elektrickou energiou je nutné riešiť už v polovici septembra, pretože fotovoltaická elektrárňa nedokáže zabezpečiť požadovaný výkon. V tomto období bude kogeneračná jednotka vyrábať len elektrickú energiu a odpadové teplo nebude využité, preto aj celková účinnosť systému je



Obrázok 63 Pokrytie potreby tepla použitými zdrojmi riešenia 1. objektu 3.

nižšia. Celkovo je potrebné dodať do systému 905GJ tepla, z ktorého 430GJ zabezpečí termický kolektor a zbytok je riešení mixom z kogeneračnej jednotky a kotla na tuhé palivá.

5.6.2 2.Riešenie



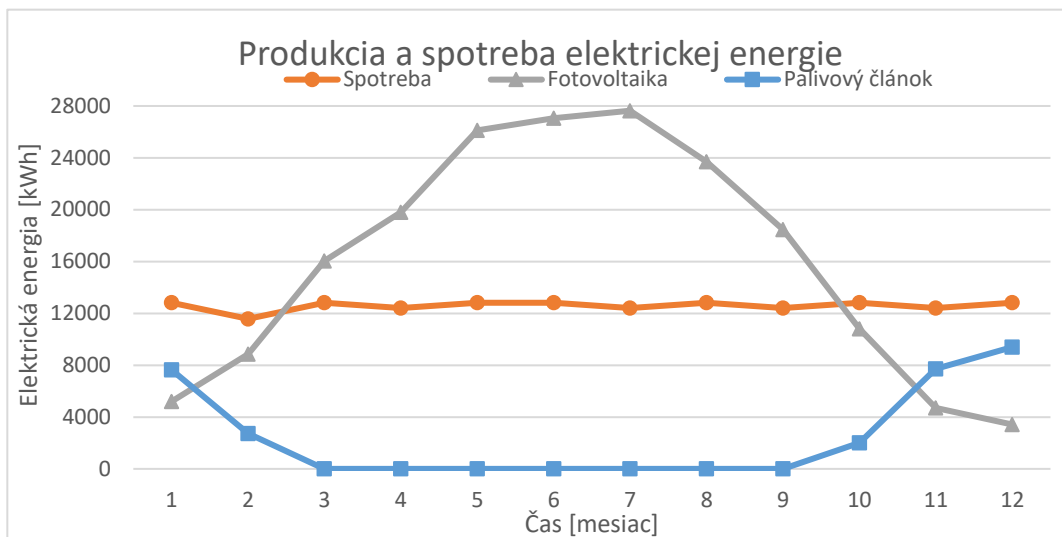
Obrázok 64 Schéma zapojenia zdrojov pre mestskú štvrť 2.

U tohto návrhu je celková ročná spotreba elektriny zabezpečená výhradne zo slnečného žiarenia. Počas prebytku el. energie v letných mesiacoch je pomocou elektrolýzy voda rozložená na vodík a ten je uskladnený v dlhodobom vodíkovom akumulátore pre zimné obdobie, kde bude použitý ako palivo do palivového článku. Preto je potrebná veľká plocha FV článkov, aby dokázala zabezpečiť dostatočné množstvo elektriny. Celkovo zastavaná plocha fotovoltaických panelov zaberie 900m². Ohrev TUV je rovnako, ako u 1. riešenia zabezpečený pomocou termického kolektora, ktorý má 200m². Vykurovanie a dodatočný ohrev TUV je riešený pomocou kotla na pelety, keď už termický kolektor nedodáva potrebné teplo.

Pretože premena vody na vodík elektrolýzou a výroba elektrickej energie v palivovom článku neprebíha so 100% účinnosťou sú uvažované účinnosti jednotlivých procesov. Zároveň je stanovený predpoklad, že sa vodík nebude zo zásobníku strácať a teda jeho množstvo bude závisieť výhradne na dodávke z elektrolýzy.

Tabuľka 7 Účinnosti palivového článku a elektrolýzy [107]

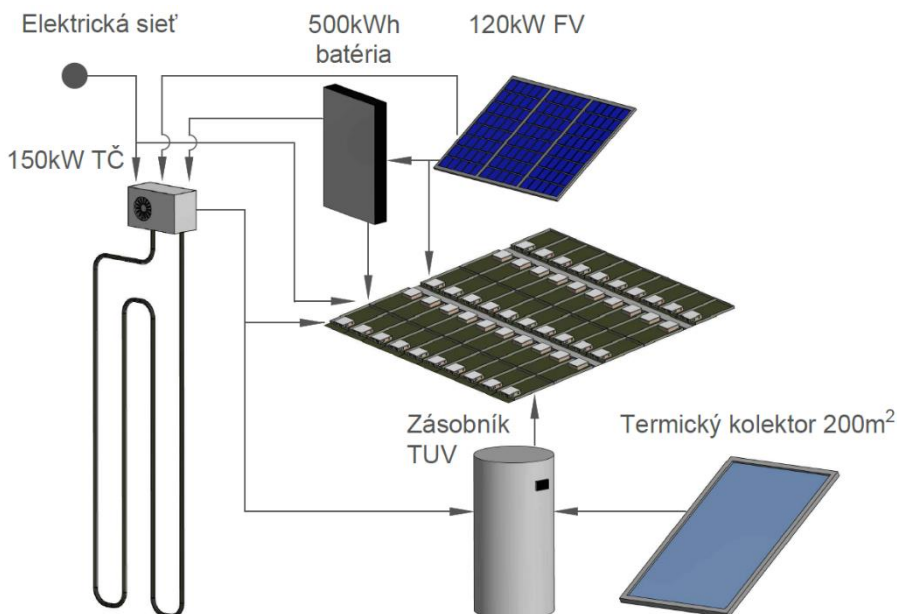
Proces	Účinnosť [-]
Elektrolýza	0,7
Palivový článok	0,6
Celý systém	0,42



Obrázok 65 Spotreba el. energie a jej zdroje pre objekt 3., riešenie 2.

Z grafu je vidieť, že od polovice februára do konca septembra, dokáže 900m² FV panelov zabezpečiť 100% dodávky elektrickej energie. Mimo toto obdobie bude elektrina získaná z palivového článku. Vplyvom relatívne nízkej absolútnej účinnosti (42%) procesu výroby elektrickej energie z palivového článku, je potrebný získať omnoho viac energie v lete, ako je spotreba obytnej časti. Celkovo musí FV elektrárňa vyrobiť 176MWh elektrickej energie s tým, že ročný príkon domácnosti je len 150MWh. Pokiaľ by bol ako jediný zdroj použitý FV panel, jeho celková plocha by bola 3500m² (skoro 4-krát viac ako navrhovaná) a vyrobil by 721MWh elektrickej energie ročne s tým, že pri spotrebe 150MWh by bol prebytok 571MWh.

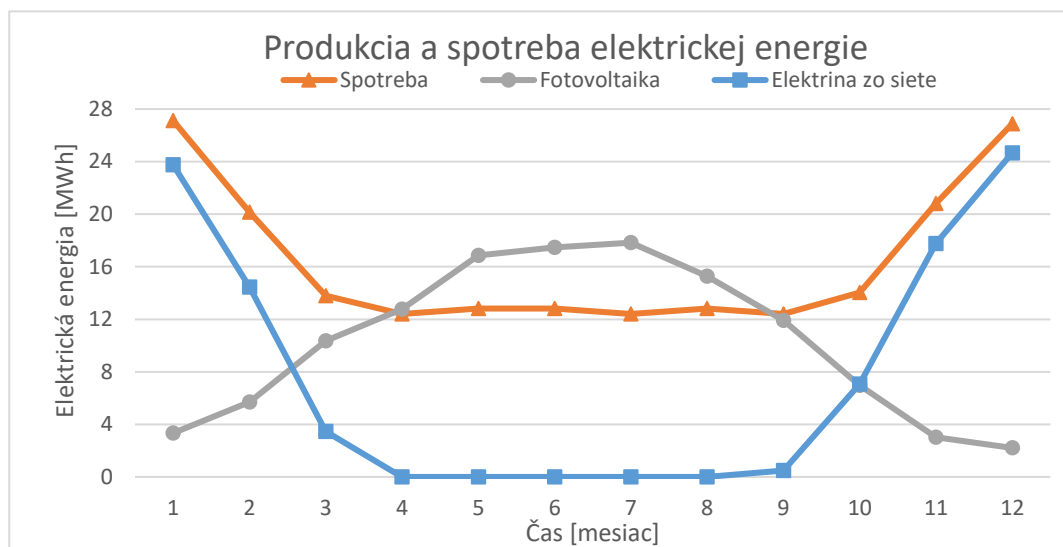
5.6.3 3.Riešenie



Obrázok 66 Schéma zapojenia zdrojov pre mestskú štvrť 3.

U posledného návrhového riešenia je rovnako, ako v predošlých použitý solárny termický ohrev o ploche 200m². FV systém je totožný s prvým riešením a zaberá plochu 700m², kde prebytočná energia je uložená v batériovom úložisku o kapacite 500kWh. Ako jediný zdroj

tepelnej energie je vybrané tepelné čerpadlo o maximálnom výkone 150kW. Pri priemernej teplote v mesiaci január, výkone bude dodávať čerpadlo približne 90kW tepelnej energie. Pri topnom faktore 3,15 je na prevádzku v týchto podmienkach potrebný elektrický príkon približne 29kW, preto elektrina bude odoberaná zo siete na úkor autonómnosti.

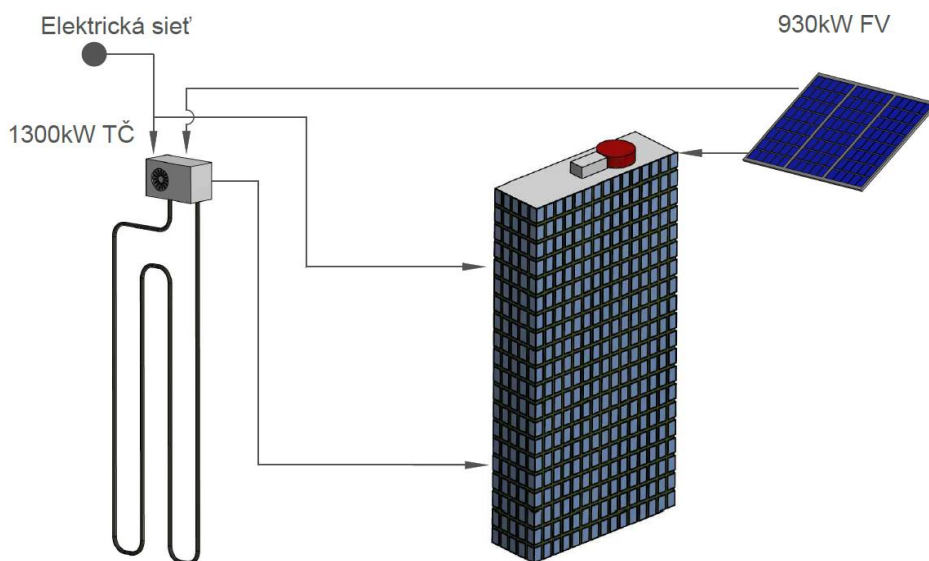


Obrázok 67 Spotreba el. energie a jej zdroje počas roka pre objekt 3., riešenie 3.

Z Obrázku 60, ktorý vykresľuje graf závislosti spotreby elektrickej energie a jej krytie zdrojmi, je viditeľný výrazný nárast spotreby v topnej sezóne, ktoré zapríčiňuje spomínané tepelné čerpadlo. Od apríla do septembra je štvrt' plne nezávislá na dodávkach elektrickej energie zo siete vďaka fotovoltaickým panelom. V mesiaci december je absolútny rozdiel medzi spotrebovanou a dodávanom energiou z FV 24,7MWh, percentuálne dokáže systém pokryť teda len 8% spotreby elektriny v danom období.

5.7 Areál FSI

Pre priestory Fakulty strojného inžinierstva už bolo navrhnutých niekoľko kogeneračných jednotiek pre zásobovanie teplom a elektrickou energiou, preto toto riešenie nebude uvažované, a ako jediný návrh je FV systém s plochou 6000m² a tepelné čerpadlo, ktorý bude zásobovať



Obrázok 68 Schéma zapojenia zdrojov pre areál FSI

teplom budovy počas roka. Pretože sa neuvažuje o batériovom úložisku elektrickej energie, je z investičného hľadiska najvhodnejšie vybudovanie FV zariadenia, ktoré svojou produkciou nepresiahne okamžitú spotrebu.

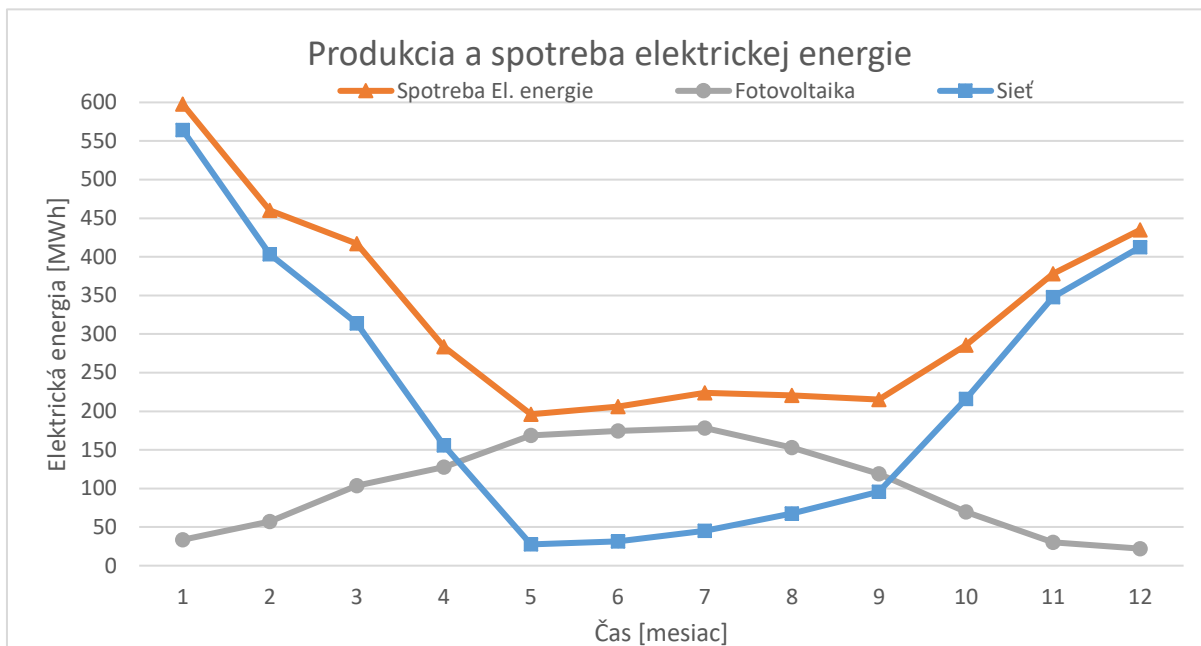


Obrázok 69 Pôdorys areálu FSI a umiestnenie FV panelov na strechy budov [108]

U predošlých riešení kde sa jednalo o veľmi malú plochu pre kolektory, nebolo potrebné riešiť kam umiestniť panely, pretože plocha striech mnohonásobne prevyšovala potrebnú plochu pre zdroje. Najvhodnejšie z hľadiska dopadajúceho žiarenia a investície do konštrukcie je umiestnenie všetkých 6000m^2 na budovy C1, C2 a C3. Ako jedno z najväčších výhod je naklonenie striech pod uhlom 40° voči horizontálnej rovine. Vyosenie od južnej orientácie je približne 10° . Celková plocha šikmých striech je 8000m^2 , vďaka čomu je možné inštalovať panely bez toho, aby sa zakrývali medzi sebou, a tým znižovali tkz. view factor.

Pri tomto množstvo panelov na strechách budov je nutné spraviť statický posudok, či je inštalácia bezpečná z hľadiska statického namáhania. Približné hmotnosť panelov s rámom je 13kg/m^2 .

Pre výrobu tepla je uvažované tepelné čerpadlo o tepelnom výkone $1,3\text{MW}$ a SCOP $3,15$ počas celej sezóny. Pri nižších teplotách je potrebné dozásobiť areál teplom zo sústavy. Je pravdepodobné, že čerpadlo nedokáže zabezpečiť areál teplom počas celého roka, hlavne kvôli chladnejším dňom ako je navrhovaná teplota, pretože pri výpočte sa vychádza z priemerných mesačných teplôt a nie denných maxím. Z grafu je vidieť, že v mesiacoch máj až júl dokáže FV elektrárň takmer úplne pokryť potreby elektrickej energie. Mimo toto obdobie sa jedná len o doplnkový zdroj a zbytok elektriny je braný zo siete. Pretože FV nie je najoptimálnejšie natočená voči južnej strane a taktiež sklon strechy nie je pod uhlom 45° , dá sa predpokladať, že výsledná produkcia by bola nižšia rádovo percentách.



Obrázok 70 Spotreba elektrickej energie a jej produkcia objektu č.4

5.8 Zhrnutie použitých technológií

V predošlých kapitolách bolo predstavených celkovo riešení energetickej samostatnosti pre typové objekty. Tabuľka 8 nám udáva súhrn všetkých použitých technologických riešení. Fotovoltaické panely boli doteraz uvádzané funkčnou plochou v m², kde dopadá slnečné žiarenie. Použitím vzorca 5.4 sú prepočítané na menovitý inštalovaný výkon. Termické kolektory sa zvyknú udávať vo funkčných plochách, avšak pokiaľ by sme chceli odhadnúť ich výkon, podľa Tabuľky 6 a intenzity slnečného žiarenia by sa jednalo približne o 1kW menovitého tepelného výkonu na m², resp. 3kW pre návrhy u objektov 1 a 2.

Tabuľka 8 Výkony jednotlivých zdrojov pre navrhované riešenia

Typ objektu	Jednotka	Starý dom	Pasívny dom		Zástavba			Areál FSI
			1	2	1	2	3	
Riešenie			1	2	1	2	3	
Solárny termický kolektor	m ²	3	3	3	200	200	200	
Batéria	kWh	13,5	13,5	13,5	500	500	500	
FV panel	kW	1,6	1,6	1,6	120	148	120	930
Palivový článok	kW					30		
Kotol na drevo	kW	18						
Kotol na pelety	kW		5		80	150		
Tepelné čerpadlo	kW			5			150	1300
Kogeneračná jednotka	kW _e /kW _t				30/70,5			
Plynová elektrocentrála	kW	2	2					

Pre dané zdroje a riešenia boli pomocou sumy z mesačných hodnôt počas roka vypočítané produkcie tepla a elektrickej energie. Vyššia spotreba elektrickej energie u riešení pre rovnaký typový objekt je zapríčinená príkonom tepelného čerpadla. Je zaujímavé, že termický kolektor

v prípade pasívneho domu za rok vyprodukuje podobné množstvo tepelnej energie, ako je primárny zdroj tepla.

Tabuľka 9 Spotreba a produkcia zdrojov autonómnych riešení

Typ objektu	Jednotka	Starý dom	Pasívny dom		Zástavba			Areál FSI
			1	2	1	2	3	
Riešenie			1	2	1	2	3	
Spotreba tepla	GJ	158,86	18,11	18,11	905,2	905,2	905,2	13922
Spotreba elektrickej energie	MWh	3	3	3,814	150	150	192	3918,5
Solárny termický kolektor	GJ	7,86	7,86	7,86	429,2	429,2	429,2	
FV panel	MWh	1,937	1,937	1,937	114,1	122	114,1	1237,2
Palivový článok	MWh					28		
Kotol na drevo	GJ	151						
Kotol na pelety	GJ		10,25		208	476		
Tepelné čerpadlo	GJ			10,25			476	13922
Kogeneračná jednotka	MWhe/GJ				35,9/268			
Plynová elektrocentrála	MWh	1,063	1,063					
Elektrická sieť	MWh			1,877			91,7	2681,3

5.9 Stupeň autonómnosti

Pre každé z technologických riešení je spravený level autonómnosti porovnaním vyprodukovanej spotrebovanej energie a požadovanej. Ako je možné vidieť z tabuľky, pre viac ako polovicu riešení je tento stupeň rovný 1, čo v praxi znamená úplnú autonómnosť na sieti. U druhého návrhu pre pasívny dom s použitým tepelného čerpadla by bolo značne nerentabilne používať plynovú elektrocentrálu pre výkon tepelného čerpadla, preto bola dosiahnutá len 65% sebestačnosť na dodávkach elektriny. Toto isté platí aj pre 3. riešenie zástavby rodinných domov. U areálu FSI sa nepočíta s akumuláciou elektrickej energie a zastavaná plocha FV panelmi je obmedzená na budovy C1-C3, preto sebestačnosť dosahuje úroveň 32% pri elektrickej energii a celkovo 66%. Pretože je, návrhová teplota pre čerpadlo len -2°C, hodnota bude pravdepodobne ešte nižšia.

Tabuľka 10 Level autonómnosti systému

Typ objektu	Starý dom	Pasívny dom		Zástavba			Areál FSI
		1	2	1	2	3	
LOA celom	1	1	0,87	1	1	0,8	0,66
LOA elektrická energia	1	1	0,65	1	1	0,55	0,32
LOA teplo	1	1	1	1	1	1	1

5.10 Náklady a rentability systémov

Jedno z najdôležitejších kritérií je samotná rentabilita systému, teda či sa oplatí sústava prevádzkovať. Pre porovnanie je použitý už zmienený parameter ROS, vyjadrený vzťahom

$$ROS = \frac{CAPEX + OPEX}{\text{cena energie} \cdot \text{spotreba}} [\text{rok}] \quad (5.5)$$

Preto je potrebné poznať ceny energií, kapitálových a operatívnych nákladov počas životnosti. Lokálne sa môžu náklady na palivo líšiť v závislosti od dodávateľa.

Tabuľka 11 Ceny za palivo [89][110][111][112]

Typ	Cena	Jednotka	Výhrevnosť [MJ]
Pelety	6500	tona	17
Dubové drevo	4700	tona	13,5
Elektrická energia	3976	MWh	
LPG	25920	tona	46,4
VUT FSI			
Elektrická energia	1750	MWh	
Teplo	488	GJ	

U typových objektov je pre vykurovanie uvažovaný elektrický kotol s účinnosťou 100% a elektrická energia je od dodávateľa ČEZ. Pre areál FSI je vychádzané z reálnych faktúr za teplo a elektrinu. Kapitálová cena pôvodného elektrického kotla nie je braná do úvahy.

Pre niektoré zdroje sú ponúkané štátom dotácie na ich zaobstaranie. Prevažne sa jedná o bytové jednotky, kde ceny za merný výkon sú podstatne vyššie ako u väčších zdrojov.

Tabuľka 12 Dotácie na zdroje [2]

Dotácie	Maximálne	Pomerovo k nákladom u zatepleného domu	Pomerovo k nákladom u nezatepleného domu
	kč	%	%
Kotol na drevo s ručným plnením	40000	75%	55%
Kotol na pelety s podávačom	80000	75%	55%
Tepelné čerpadlo Zem-voda	80000	75%	55%
Solárny termický systém	35000	75%	55%
FV systém >1700kWh/rok	70000	75%	55%

Pre výpočet rentability investície je potrebné vedieť životnosť daných systémov. V niektorých prípadoch sa potom jedná o úplný koniec životného cyklu zariadenia (napríklad FV, batéria) a niekedy je potrebná iba výmena určitých komponentov (u tepelného čerpadla stačí vymeniť kompresor popr. teplotnosné médium a systém môže ďalej pracovať, preto náklady na opravu nie sú tak vysoké, ako nákup nového zdroja, resp. systému.

Tabuľka 13 Životnosti [97] [112] [113] [114] [115] [116] [117]

životnosť	rokov
fotovoltaický panel	30
tepelné čerpadlo	20
kotol na biomasu	40
solárny kolektor	30
batéria	20
zásobník tepla pre TUV	25
Kogeneračná jednotka	10
Palivový článok + elektrolýza	20
Sezónny zásobník tepla	100

Pri výpočte nákladov pre jednotlivé zdroje sú uvažované náklady na cenu zdroja, príslušenstva, jeho montáže, prevádzkové náklady a dotácie z NZÚ. Ročné náklady na prevádzku zahrnujú zväčša servis a údržbu systému. U niektorých autonómnych systémov nie sú v kolónke montáž zahrnuté žiadne náklady. Neznamená na to, že montáž prebehne bezplatne, ale jej hodnota je už započítaná v inej položke, prevažne v kapitálových nákladoch.

Ceny sú uvedené v českých korunách a návratnosť v rokoch.

5.10.1 Starý dom

U starého objektu bez zateplenia sa návratnosť termického kolektora pohybuje na úrovni 5,5 roka, čo v porovnaní so životnosťou 30 rokov je veľmi dobrá hodnota. Bez dotácie by avšak návratnosť bola na úrovni približne 12 rokov, avšak stále by systém mal byť schopný prevádzky ešte 18 rokov. Náklady na palivo sú zapríčinené príkonom obehové čerpadla. Tým, že termický kolektor funguje prevažne v lete súčasne s fotovoltaiickými panelmi, tak pre zjednodušenie je uvažovaný predpoklad, že väčšiu časť roka je termický systém poháňaný prebytkom z fotovoltaiických panelov. Odhad ročných nákladov na 600kč je počas dní, kedy nedokáže FV pokryť spotrebu. U FV systému s batériovou akumuláciou by sa investícia mala navrátiť do 17,3 roka. Vzhľadom na životnosť batérii udávanou výrobcom 20 rokov sa ešte zmestíme do životnosti systému. Degradácia FV panelov a batérii vplyvom veku nie je uvažované, preto je pravdepodobné, že doba návratnosti bude o niečo vyššia, avšak FV panely majú životnosť až 30 rokov, to znamená že pri prevádzke 60 rokov dôjde k výmene batérii celkovo 3-krát a panelov len 2-krát. U kotla na drevo je návratnosť len pol roka a to je zapríčinený vysokými tepelnými stratami budovy a elektrickým kotlom, ktorý bol použitý v porovnaní pre návrh návratnosti. [118]

Tabuľka 14 Náklady a rentabilita systémov pre starý dom

STARÝ DOM	Cena zdroja	Montáž	Príslušenstvo	Ročné náklady na prevádzku	Ročné náklady na palivo	Výška dotácie	Návratnosť
Solárny termický kolektor	69500	8000			600	35000	5,53
FV panel	57600					43200	17,26
Batériový akumulátor	118500						
kotol na drevo	50000	10000	20000	500	62000	22000	0,51
Plynová elektrocentrála	15000	10000	70000	1000	9130	0	-16,09
Suma	295600	18000	90000	1500	71730	100200	

Pre starý dom a 1. riešenie pasívneho domu bola použitá elektrická plynová centrála, ktorej návratnosť sa nachádza v záporných číslach (-16,09). To znamená, že sa investícia do nej nikdy nevráti, kvôli vysokým nákladom na 1MWh vyrobenej elektrickej energie, a to konkrétne 8800kč len za palivo v porovnaní s 3794kč od ČEZ. Preto je toto riešenie vhodné jedine v prípade, pokiaľ nie je iná možnosť ako si energiu vyrábať.

5.10.2 Pasívny dom 1. riešenie

U kotla na pelety dôjde k splateniu investičných nákladov po približne 3,5 roku, čo je viac ako u nezatepleného objektu. Je to hlavne kvôli nízkym požiadavkám na teplo a vyšším

kapitálovým a operatívnym nákladom pre kotol na pelety. Na druhú stranu je avšak plne automatizovaný a nevyžaduje ručné plnenie palivom ako kotol na drevo. Výška dotácie na daný zdroj činní 75% z celkových zaobstarávacích nákladov. Pokiaľ by nebol kotol dotovaný, návratnosť by dosahovala približne 15 rokov, teda stále menej ako polovicu z celkovej životnosti. Rovnako ako v predošlom prípade, plynová elektrocentrála je v porovnaní s dodávkou elektriny stratová na jej autonómnej výrobe, nehovoriac o vysokých kapitálových nákladoch (súhrnne 95000, ktoré tvoria 21% z celkovej ceny hybridného systému.)

Tabuľka 15 Náklady a rentabilita pasívneho domu s kotlom

Typ zdroja	Cena zdroja	Montáž	Príslušenstvo	Ročné náklady na prevádzku	Ročné náklady na palivo	Výška dotácie	Návratnosť
Solárny termický kolektor	69500	8000			600	35000	5,53
FV panel	57600					43200	17,26
Batériový akumulátor	118500						
Kotol na pelety	85000	10000		500	4214	71250	3,59
Plynová elektrocentrála	15000	10000	70000	1000	9130		-16,09
Suma	345600	28000	70000	1500	13944	149450	

5.10.3 Pasívny dom 2. riešenie

Pri návrhu pasívneho domu s tepelným čerpadlom bola použitá elektrina zo siete. Veľkou nevýhodou čerpadla sú jeho vysoké merné kapitálové náklady pri nízkom výkone. Tým, že pasívny dom nepotrebuje dostávať veľa tepla, sa jeho návratnosť vyšplhala na úroveň 17 rokov aj poskytnutou dotáciou od štátu. Pri udávanej životnosti 20 rokov sa toto riešenie môže zdať hraničným a výhodnejší je kotol na pelety. Na druhú stranu, u tepelného čerpadla po 20 rokoch nie je nutné meniť celý systém, ale len niektoré prvky, preto kapitálové náklady na ďalších 20 rokov sú podstatne nižšie, avšak už nie je možné získať znova dotácie.

Tabuľka 16 Náklady a rentabilita pasívneho domu s tepelným čerpadlom

Typ zdroja	Cena zdroja	Montáž	Príslušenstvo	Ročné náklady na prevádzku	Ročné náklady na palivo	Výška dotácie	Návratnosť
Solárny termický kolektor	69500	8000			600	35000	5.53
FV panel	57600					43200	17.26
Batériový akumulátor	118500						
Tepelné čerpadlo	185000			1500	3571	80000	16.80
Suma	430600	8000	0	2500	4171	158200	

5.10.4 Rodinná zástavba

Nová zelená úsporám ponúka dotácie na decentralizované systémy len pre jednotlivé objekty, ako je napríklad rodinný dom. V niektorých prípadoch je možné zažiadať o podporu

na príslušných úradoch s tým, že výška dotácie pomerne variuje, preto pre jednoduchší výpočet finančná podpora nie je uvažovaná.

U riešení pre zástavby nie sú pre vykurovanie uvažované teplovodné rozvody, ale čisto len zdroje energie. Pri zarátaní otopnej sústavy a výmenníkových staníc do nákladov sa návratnosť podstatne zvýši. Mimo nákladov na tieto časti systému je potrebné aj rátať s tepelnými stratami v OS, preto je potrebný vyšší výkon centrálného zdroja a viacej vyrobeného tepla. Viac je tento problém riešení pri návrhu akumulátora tepla v 6. kapitole.

5.10.5 Zástavba 1. riešenie

Pre zástavbu boli uvažované celkovo 3 riešenia. U prvého použitie kogeneračnej jednotky so zásobníkom LPG má návratnosť do 10 rokov, teda je presne na hranici jej životnosti. Pokiaľ by bol použitý zemný plyn, návratnosť by bola podstatne nižšia, avšak technológia skladovania zemného plynu je výrazne zložitejšia. Po 10 rokov je možné previesť generálnu opravu a stroj funguje ďalej, takže ďalších 10 rokov by už malo byť z hľadiska nákladov pozitívnejších. Veľkou výhodou jednotky je jej výroba elektrickej energie aj počas zimných mesiacov, kde napr. FV nedokáže dodávať požadovaný výkon. FV panel v tomto riešení aj s batériovým akumulátorom dosahuje návratnosť okolo 11 rokov, a to hlavne vďaka klesajúcej mernej cene za kW výkonu, ktorá je vyššia ako u jedného objektu. Solárny termický kolektor, ktorý nie je dotovaný štátom má rovnakú návratnosť ako ten u objektu 1 a 2. Tento výsledok je dôvodom klesajúcich merných nákladov pri zvýšení celkového výkonu zdroja.

Tabuľka 17 Náklady a rentabilita zástavby s kogeneračnou jednotkou [120]

Typ zdroja	Cena zdroja	Montáž	Príslušenstvo	Ročné náklady na prevádzku	Ročné náklady na palivo	Výška dotácie	Návratnosť
Solárny termický kolektor	2159000	300000		30000			5,76
FV panel	2454000						11,35
Batériový akumulátor	2697000						
Kotel na pelety	188000	40000		1500	90000		1,58
Kogeneračná jednotka	820000	300000	100000	80000	229000		9,40
Suma	8318000	530000	100000	111500	319000		

5.10.6 Zástavba 2. riešenie

Je zaujímavé že u riešenia č.2. pre zástavbu, kde bol použitý FV systém o 200m² väčšej ploche sa návratnosť pohybuje približne v rovnakej hodnote a to 11,7 roka. Napriek tomu, že sa relatívny pomer spotrebovanej energie z FV s rastúcou plochou, teda výkonom znižuje ako opisuje Obrázok 51, tak aj klesá merná cena za výkon. Palivový článok je momentálne ešte v štádiu vývoja a jeho reálna aplikácia na tento typový objekt by znamenala návratnosť približne 23 rokov, čo pri optimistickej životnosti 20 rokov stále znamená nenávratnosť investície. Je predpoklad, že v budúcnosti sa náklady na palivový článok ešte znížia, tým pádom by sa tento zdroj mohol stať rentabilným. Je zaujímavé že kotel na pelety má návratnosť len 2 roky aj bez dotácie. Pri udávanej životnosti 40 rokov sa jedná o zaujímavú investičnú príležitosť.

Tabuľka 18 Náklady a rentabilita zástavby s palivovým článkom [121]

Typ zdroja	Cena zdroja	Montáž	Príslušenstvo	Ročné náklady na prevádzku	Ročné náklady na palivo	Výška dotácie	Návratnosť
Solárny termický kolektor	2159000	400000		30000			5,76
FV panel	2945000						11,68
Palivový článok	1570000	50000	1100000				23,19
Batériový akumulátor	2697000						
Kotol na pelety	240000	30000	50000	10000	196000		1,00
Suma	9611000	480000	1150000	40000	196000		

5.10.7 Zástavba 3. riešenie

Pri poslednom riešení pre zástavbu sa investícia do tepelného čerpadla vráti približne za 3,5 roka. V porovnaní s jedným pasívnym domom, kde návratnosť bola približne 17 rokov je znateľný hlavne úbytok mernej ceny za kW výkonu, ktorý sa odzrkadlil na investícii. Na rozdiel od predošlých riešení tento systém nie je plne autonómny, pretože vyžaduje značné množstvo elektrickej energie počas zimy práve na chod použitého tepelného čerpadla.

Tabuľka 19 Náklady a rentabilita zástavby s tepelným čerpadlom

Typ zdroja	Cena zdroja	Montáž	Príslušenstvo	Ročné náklady na prevádzku	Ročné náklady na palivo	Výška dotácie	Návratnosť
Solárny termický kolektor	2159000	400000		30000			5,76
FV panel	2454000						11,35
Batériový akumulátor	2697000						
Tepelné čerpadlo	3000000			20000	166000		6,77
Suma	9610000			20000	166000		

5.10.8 Areál FSI

Návratnosť FV systému bez batérii sa pohybuje pri optimistickom uvažovaní do 7 rokov. Nízka návratnosť vďaka hlavne relatívne vysokému celkovému výkonu systému. Tepelné čerpadlo o menovitom výkone 1300kW zvládne dodávať teplo pri maximálnej vonkajšej teplote -2°C a jeho návratnosť činí len 3,8 roka. V skutočnosti avšak bude musieť byť zálohované dodávkou tepla pri nižších teplotách ako je návrhová.

Tabuľka 20 Náklady a rentabilita

Typ zdroja	Cena zdroja	Montáž	Príslušenstvo	Ročné náklady na prevádzku	Ročné náklady na palivo	Výška dotácie	Návratnosť
FV panel	14530000						6,71
Tepelné čerpadlo	22000000			200000	2147250		3,8
Suma	36530000			200000	2147250		

6 Akumulátor tepla

V poslednej kapitole je navrhnutý zásobník tepla. Podľa predošlých kriviek spotrieb a kapitálových nákladov na akumulátory uvedených v kapitole 5, bol zvolený objekt č.3, teda mestská zástavba s 50 domami. U starého a pasívneho domu je podľa Obrázku 26 investícia značne nerentabilná, a teplo dokáže poskytnúť kotol na biomasu, alebo tepelné čerpadlo s vrtom popr. plošným kolektorom. U areálu FSI by mohol byť problém s miestom umiestnenia zásobníku vzhľadom na jeho veľkosť.

Výber bol zúžený na zásobníky typu STES, konkrétne TTES pre jeho vyššie izolačné vlastnosti vďaka uloženiu pod zemou a estetický aspekt, pretože sa nachádza pod povrchom zeme v porovnaní s akumulátorom PTES. Médium v nádrži je uvažovaná voda pre jej vysokú tepelnú kapacitu.

Návrhová teplota zásobníku je 85°C. Pod 65°C bude teplo priamo odvedené do výmenníku s otopnou sústavou. Pri nižšej teplote v akumulátore je teplota zvýšená tepelným čerpadlom na požadovaných 65°C, ktoré sú pri nedohreve 5°C potrebné, aby zabezpečili 60°C v OS.

Z tabuľky 9 vyplýva, že celkové potrebné teplo počas roka pre obytnú štvrť je 905,2GJ tepla. Akumulátor nemusí byť navrhnutý na rovnakú tepelnú kapacitu, pretože časť zabezpečia priamo solárne termické kolektory.

6.1 Distribučná sústava

Veľkosť zásobníku je potrebné navýšiť o energetické straty rozvodnej sústavy. Rýchlosť vody v otopných sústavách sa pohybuje približne od 0,3 -1,5m/s. Z toho je volených 1,5m/s. Pre túto rýchlosť je určený výpočet hmotnostného toku vody za sekundu podľa vzťahu. [122]

$$m = 0,86 \cdot \frac{Q}{(t_{in} - t_{out})} = 0,86 \frac{150 \cdot 10^3}{60 - 50} = 12900 \text{kg/h} = 3,58 \text{kg/s} \quad (6.1)$$

A teda objemový tok závisí na hustote strednej teploty v obehu. Návrhový tepelný spád je 60/50°C.

$$m = \rho_{55} \cdot Q \rightarrow Q = \frac{m}{\rho_{55}} = \frac{3,58}{985} = 3,63 \cdot 10^{-3} \text{m}^3/\text{s} \quad (6.2)$$

Priemer potrubia, na ktorý je napojený zdroj

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,63 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 1,5}} = 0,0555 \text{m} = 55,5 \text{mm} \quad (6.3)$$

Následné je priemer prepočítaný na najbližší rozmer od dodávateľa, teda 63mm. Pretože rýchlosť v potrubí závisí na priemere, znova sa určí rýchlosť v hlavnej vetve potrubia.[125]

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = 1,15 \text{ m/s} \quad (6.4)$$

Obdobným postupom sú riešené aj ostatné vetvy, ktoré slúžia na dopravu tepla k objektom. Celkovo sa hmotnostný tok rozdelí do 3 vedľajších vetiev v pomere 2/2/1. 2 vetvy zásobujú 20 domov a jedna 10.

Tabuľka 21 Rýchlosti vody v potrubí

Priemer trubky	mm	16	32	50	63
Rýchlosť	m/s	0,356	0,902	0,739	1,148

Pre jednotlivé vonkajšie teploty počas roka z Obrázku 35 sú určené dĺžkové súčinitele tepelnej vodivosti z konfigurátoru spoločnosti Logstor pre hĺbku 1,5m pod povrchom zeme.

Tabuľka 22 Tabuľka tepelných vodivostí OS [123]

straty [W/m]	Vonkajšia teplota												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ø/°C	-15	-2	-0,3	4,2	9,5	14,3	17,5	19,3	19,1	14,7	9,3	4	-0,3
[mm]													
16	8,89	7,24	7,02	6,45	5,78	5,17	4,76	4,53	4,56	5,12	5,80	6,47	7,02
32	11,8	9,61	9,32	8,56	7,67	6,86	6,32	6,02	6,05	6,80	7,71	8,51	9,32
50	14,56	11,86	11,51	10,57	9,47	8,47	7,80	7,43	7,47	8,38	9,51	10,61	11,51
63	20,40	16,61	16,12	14,81	13,26	11,86	10,93	10,40	10,46	11,75	13,32	14,86	16,12

Pomocou zástavbového výkresu č. 2018-4-1 uvedeného v prílohe boli nameraný celkové dĺžky potrubí pre jednotlivé použité priemery potrubia v otopnej sústave

Tabuľka 23 Celkové dĺžky OS

Priemer trubky	mm	16	32	50	63
Celková dĺžka potrubia	m	615	240	460	20

Pre dané potrubné dĺžky pomocou merných súčiniteľov tepelnej vodivosti bola zostrojená tabuľka okamžitých a mesačných tepelných strát systému pre priemerné mesačné teploty. Určenie úbytkov bolo zistené pre násobením príslušných dĺžok a im prislúchajúcich súčiniteľov tepelnej vodivosti z Tabuľky 23 pre špecifické teploty v priebehu roka.

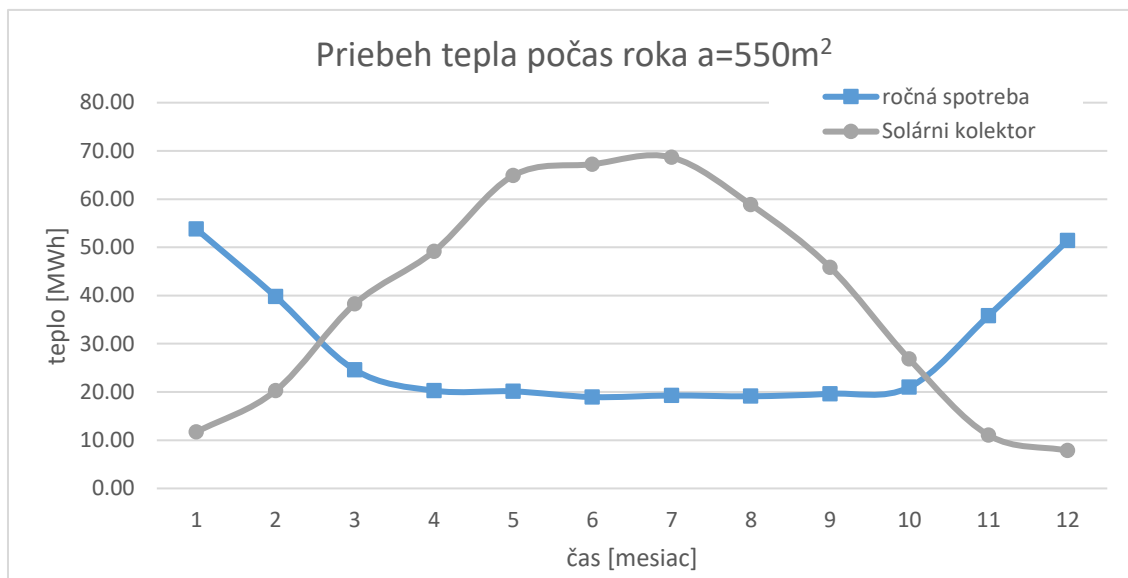
Tabuľka 24 Okamžité a mesačné tepelné straty otopného systému

ø			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
[mm]	°C	-15	-2	-0,3	4,2	9,5	14,3	17,5	19,3	19,1	14,7	9,3	4	-0,3
16	W	5467	4453	4317	3967	3555	3180	2927	2786	2804	3149	3567	3979	4317
32	W	2832	2306	2237	2054	1841	1646	1517	1445	1452	1632	1850	2042	2237
50	W	10192	8302	8057	7399	6629	5929	5460	5201	5229	5866	6657	7427	8057
63	W	408	332	322	296	265	237	219	208	209	235	266	297	322
Celkovo	kW	15,29	12,45	12,08	11,09	9,94	8,89	8,19	7,80	7,84	8,80	9,98	11,11	12,08
Za mesiac	GJ		33,35	29,22	29,72	25,77	23,82	21,22	20,88	20,33	23,58	26,74	28,81	32,35

Pre najnižšiu návrhovú teplotu -15°C budú straty približne 15,3kW tepelného výkonu. Preto je potrebné navýšiť aj výkon tepelného zdroja, aby po odpočítaní strát bol schopný dodávať 150kW. Prvotný návrh tepelného čerpadla je zvýšený na 165kW tepelného výkonu.

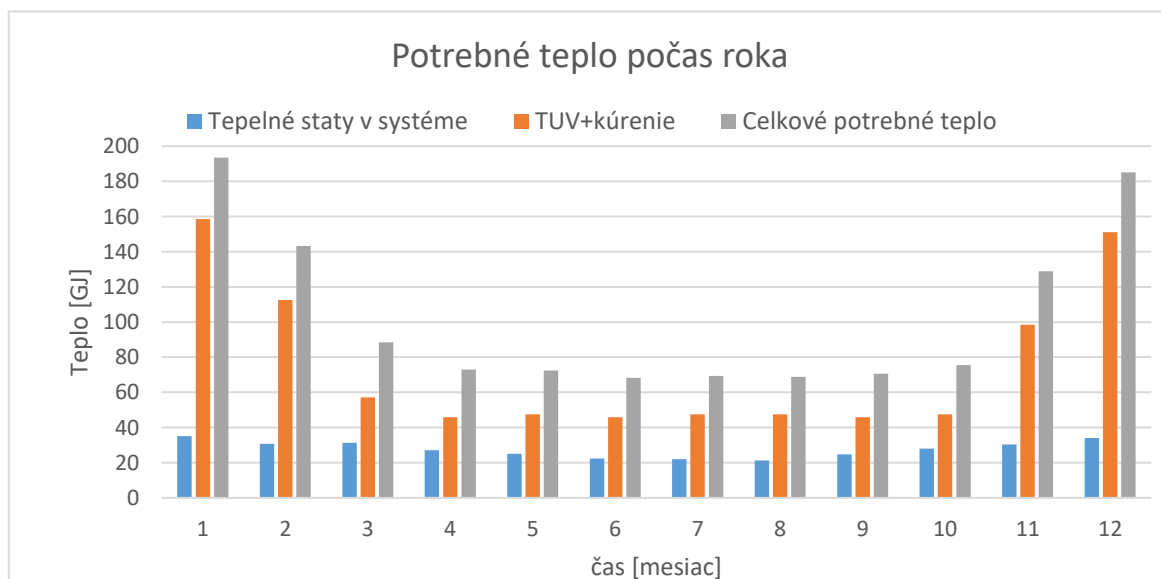
6.2 Potřebné teplo

Akumulátor bude nabíjaný solárnym termickým kolektorom prevažne počas slnečných dní. Návrh plochy kolektora je vytvorený z celkovej produkcie doskových kolektorov tepla počas roka, ktorá je približne o 30% vyššia ako celková spotreba počas roka. Predpokladá sa, že straty prestupom tepla z akumulátora sú približne 30% za rok. Veľkosť plochy termických kolektorov, ktoré by mali zabezpečiť teplo počas celého roka, je teda 550m². Pre porovnanie, v kapitole 5 bol navrhnutý termický ohrev pre TUV pre rovnakú zástavbu. Jeho plocha bola 200m² a teda skoro 3-krát menej, ako je potrebná pre zabezpečenie celkového tepla.



Obrázok 71 Graf výroby a spotreby tepla pre systém rodinných domov

Aj keď je maximálny návrhový výkon 165kW, pre ktorý pri teplote -15°C prislúchajú okamžité straty približne 15kW, čo nie je ani 10% celkových strát z výkonu, v maximálnom výkone systém operuje len ojedinele. Pre priemernú teplotu v Januári tvoria straty v OS približne 22% a v Októbri až 59%. Je to zapríčinené hlavne malým odberom tepla, aj keď teplá voda v systéme musí stále obiehať. Obrázok 72 je zostrojený pomocou Tabuľky 24 a Obrázku 42.



Obrázok 72 Pomer strát a potreby tepla pre TUV a vykurovanie

6.3 Teplota zeme

Pre výpočet strát akumulátora pod zemou je potrebné určiť teplotu okolitej zeme, v ktorej je nádrž uložená. Tá sa mení v závislosti na teplote okolitého vzduchu a akumulácii samotného tepla v zemi. Najteplejšia bude na začiatku topnej sezóny, pretože je vyhriata po lete a najchladnejšia po najstudenšom dni v roku. Čím hlbšie je akumulátor uložený, tým je menšia výchylka od priemeru.

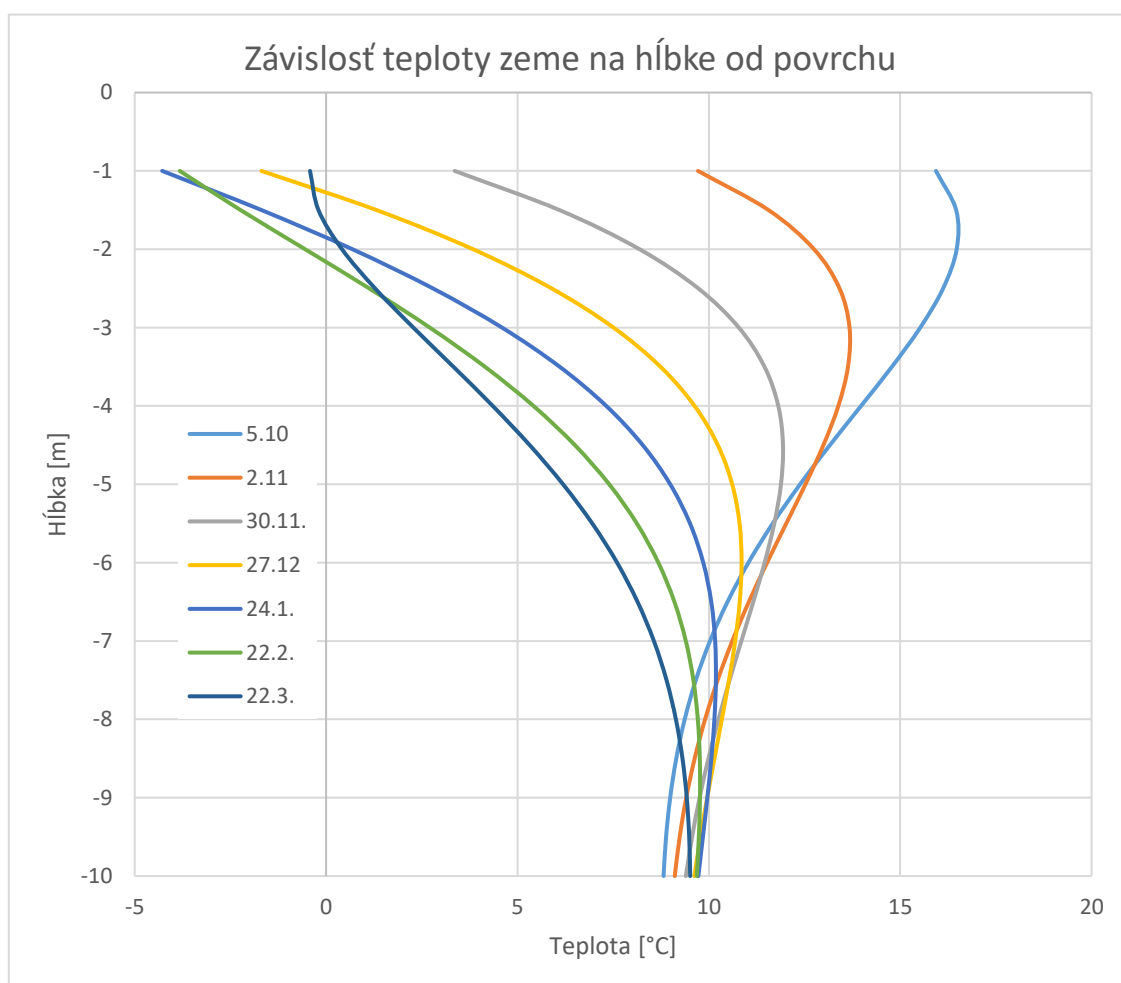
Teplota v rozličný deň pre rôznu teplotu sa určí zo vzťahu [124]

$$t(n, z) = t_0 - \Delta t \cdot e^{-\frac{z}{z_0}} \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot n - \frac{z}{z_0}\right) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (6.5)$$

Kde z_0 je vyjadrené ako

$$z_0 = \sqrt{\frac{365 \cdot e_H}{\pi}} \text{ [m]} \quad (6.6)$$

Pomocou daného vzorca boli určené týždenné teploty zeme v hĺbke od 1 do 10m. Pre naše teplotné podmienky a zvolenú zeminu začína nezámrazná hĺbka v 2m.



Obrázok 73 Závislosť teploty zeme na hĺbke a okolitej teplote vzduchu

Graf zobrazuje závislosť teploty na hĺbke a dátume, resp. čase od najchladnejšieho dňa, ktorý je určený teplotou -15°C počas 15. Januára. Ako je možné sledovať na krivkách, v hĺbke

približne 10m pod povrchom je už výchylka od strednej hodnoty teploty len minimálna, na rozdiel od 1m, kde pre návrhové topné obdobie variuje medzi -4°C až $+16^{\circ}\text{C}$, teda celkový rozdiel je až 20 stupňov.

6.4 Celkové potrebné teplo

Odhad COP čerpadla je dôležitý pre návrh objemu tepelného akumulátora. Jeho hodnota závisí na veľa faktoroch, ako napr. na teplote vo výparníku a kondezátore, chladive, účinnosti kompresora, stratách a pod.

Prvotný návrh je vybitie tepelného zásobníka na konci topnej sezóny do 5°C a zopnutie TČ pri 65°C , pretože pod touto teplotou nedokáže priamy výmenník pracovať. Stredná účinnosť tepelných čerpadiel sa pohybuje v rozsahu od 0,5-0,7 teda pre určenie COP je volená hodnota 0,6. Teplota vo výparníku je braná ako stredná hodnota chladiva počas sezóny a teda $60-0=30^{\circ}\text{C}$. 5°C rozdiel na strane výparníku je spôsobený návrhom nedohrevu o rovnakej teplotnej diferencie. [125]

$$COP_{odhad} = \eta \cdot \frac{T_K}{T_K - T_V} = 0,6 \cdot \frac{338,15}{338,15 - 303,15} = 6,3 \quad (6.7)$$

Pretože teplo odobrané zo zásobníku pri teplote 65°C a nižšej je vďaka tepelnému čerpadlu nižšie, ako teplo ktoré je potrebné, je určená pomer dodaného a odobraného tepla.[126]

$$COP = \frac{|q_{out}|}{W} = \frac{|q_{in}| + W}{W} \rightarrow \frac{q_{in}}{q_{out}} = 0,84 \quad (6.8)$$

Zo vzorca plynie, že na to aby sme dostali 1kW tepelného výkonu na výstupe z čerpadla, je potrebné dodať 0,84kW tepelného výkonu z akumulátora.

Napriek tomu, že tepelné čerpadlo potrebuje menej dodaného tepla vo výparníku, pri priamom odbere z akumulátora dochádza vo výmenníku k tepelným stratám. Celkovo je požadovaných 467,5GJ tepla, ktoré je počas topnej sezóny potrebné z akumulátora získať, preto sa volí odhad celkovej kapacity na úrovni 430GJ.

6.5 Použité materiály

Tepelný akumulátor pozostáva zo 4 hlavných materiálov. Voda je umiestnená v nerezovej nádrži o hrúbke steny 2mm. Tá je opretá o stenu zo železobetónu so silou 200mm po stranách a 200mm na vrchu a spodku nádrže. Plášť je odizolovaný 500mm hrúbkou sklenených granúl Okolo povrchu podstáv sa nachádza 400mm pórobetónového štrku.

Tabuľka 25 Materiály vodného zásobníka [127][128][129][130]

Použité materiály	Súčiniteľ tepelnej vodivosti	Hrúbka steny
	W/m.K	mm
Oceľ 1.4301	15	2
Sklenené granule	0,07	500
Pórobetónový štrk	0,08	400
Betón	1,58	200

Súčinitele tepelnej vodivosti sú uvažované konštantné pri celom výpočte, napriek tomu že sa ich hodnota môže mierne meniť s rozdielnymi teplotami.

Pre správny výpočet rozmerov akumulátora je nutné vedieť mimo celkového odberu tepla aj tepelné straty prostupom cez steny. Pre všetky plochy je potrebné si určiť súčiniteľ prostupu tepla, ktorý má pre rovinnú plocha nasledovný vzťah. [131]

$$K = \frac{1}{\sum_j \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_{in}}} = \left[\frac{W}{m^2} \cdot K \right] \quad (6.9)$$

A pre valcový plášť o polomeru r [131]

$$K_L = \frac{2 \cdot \pi}{\sum_j \frac{1}{\lambda_j} \cdot \ln \frac{r_{j+1}}{r_j} + \frac{1}{\alpha_{in} \cdot r_{in}}} = [W/m \cdot k] \quad (6.10)$$

Tabuľka 26 Súčinitele prostupu tepla pre navrhované steny

Plášť	Vrchná podstava	Spodná podstava
W/m.K	W/m ² .k	W/m ² .K
6,173	0,195	0,195

6.6 Rovnice prostupu tepla

U tepelného zásobníka neprebíha vybijanie ustálene. Preto je prostup tepla z akumulátora je braný ako prechodné vedenie s meniacou sa teplotou v čase. Pre zjednodušenie, je uvažované, že voda v nádrži je plne premiešaná a teda má konštantnú teplotu po celom objeme. Okrem zmeny teploty v zásobníku, sa mení aj teplota zeme s hĺbkou, mesiacom ale aj ohrievaním prostupom tepla priamo z akumulátora. Pri výpočte je použitý predpoklad, že teplo konvekciou ohrieva tepelne ovplyvnenú oblasť zeme 25% hodnoty delty práve teplôt zeminy a v akumulátore.

Stratové teplo pre podstavy sa určí zo vzťahu [131]

$$Q = K \cdot A \cdot (t_{in}(t) - t_{out}(depth)) = [W] \quad (6.11)$$

A pre plášť nasledovne [129]

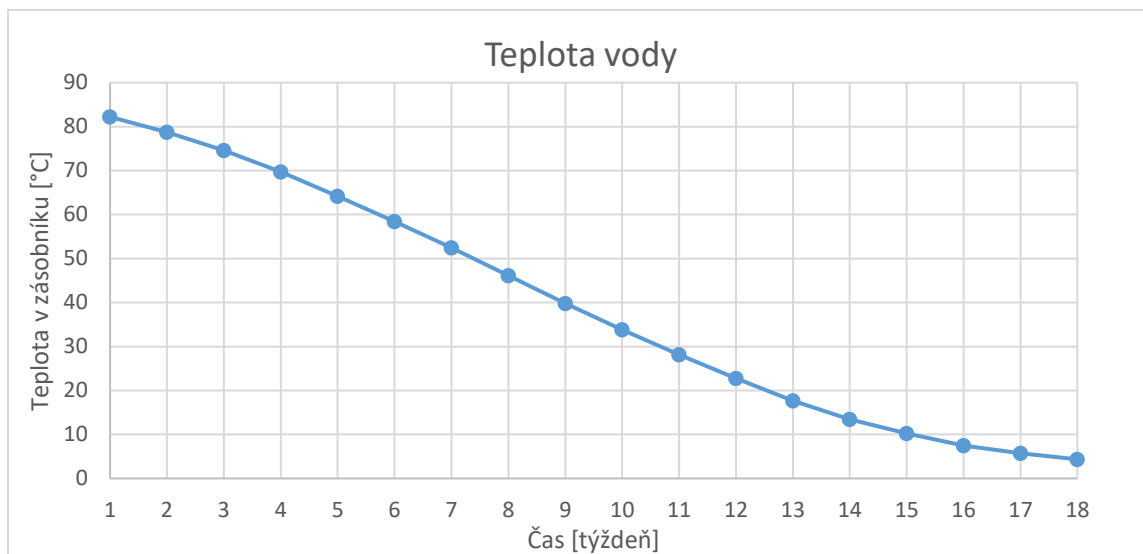
$$Q = \sum K_L \cdot l \cdot (t_{in}(t) - t_{out}(depth)) = [W] \quad (6.12)$$

Pre presnejší výpočet je povrch plášťa rozdelený na 0,5m úseky a parciálne je uskutočnený výpočet pre dané teploty zeme. Súčet daných strát prostupom nám potom udáva straty plášťa.

Celkovo je stratový výkon rovný súčtu všetkých strát, teda plášťom a podstavami.

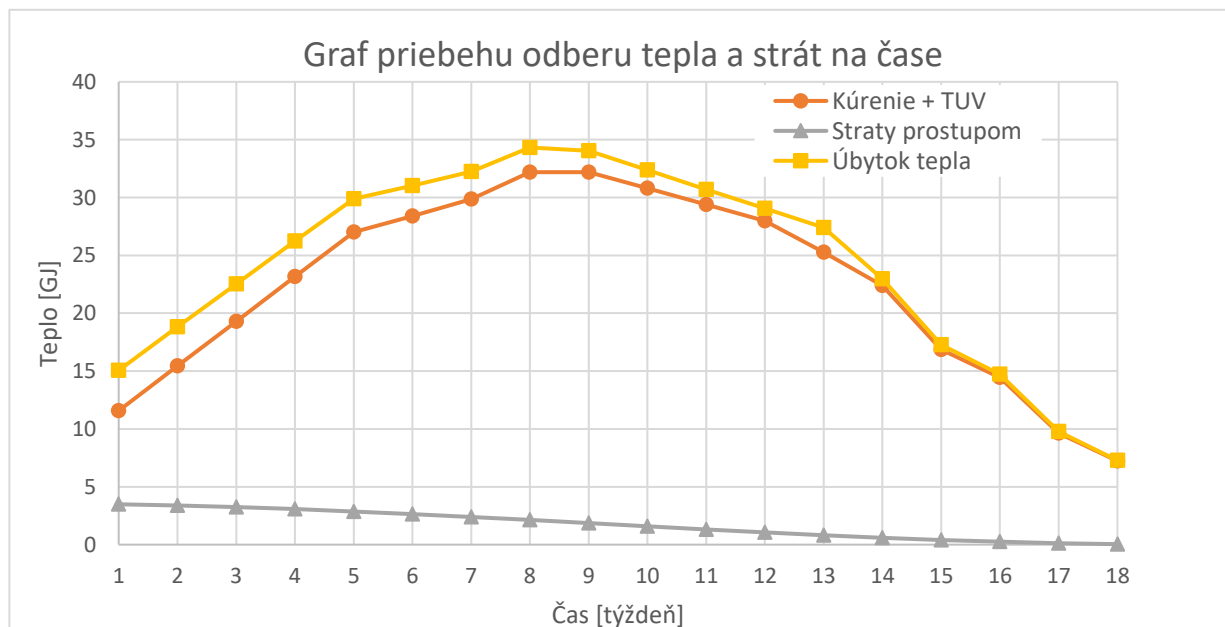
$$Q = \sum Q_i [W] \quad (6.13)$$

Z grafu je vidieť zmenu teploty v čase. Od začiatku topnej sezóny po 5. týždeň je teplo priamo odvedené čerpadlom do výmenníka s otopnou sústavou. Od 5. týždňa až po koniec sezóny je teplo zabezpečené tepelným čerpadlom.



Obrázok 744 Priebeh teploty v zásobníku počas topnej sezóny

Z kriviek odberu a strát tepla je zrejmé, že tepelné straty prostupom závisia na delte teplôt. Na začiatku sezóny, kde je teplota zásobníku 85°C dosahujú hodnoty 3,5GJ za týždeň a na konci sezóny, kde už je v akumulátore nízka teplota, a okolitá zem je ohriata práve stratami, sú takmer nulové. V prípade nižšej teploty v zásobníku ako v okolí, by mohli byť dokonca záporné, to znamená že by sa nádrž nabíjala z okolitej zeminy.



Obrázok 755 Straty prostupom a odber zo sezónneho zásobníka v topnej sezóne

6.7 Rozmery a kapacita zásobníku

Na základe strát prostupom a odberu tepla pre otopnú sústavu mestskej časti boli navrhnuté minimálne rozmery akumulátora. Zásobník má valcový tvar so zrezaným kuželom na vrchnej podstave.

Tabuľka 27 Rozmery zásobníku

Celková výška	9,5	m
Výška plášte	9,0	m
Priemer	13,4	m
Objem	1292,7	m ³
Plocha	661,32	m ²

Detailnejšie je rozmer zásobníku vyobrazený na výkrese č. 2018-4-1-3 prílohy č.3.

Mimo hlavného zásobníku, je pre zvýšenie účinnosti uvažovaný aj menší zásobník o kapacite 30m³, ktorý bude taktiež napojený na solárny termický kolektor. Je primárne zásobený teplom v zime, pretože jeho menšia tepelná kapacita umožňuje rýchlejšie nabitie na vysoké teploty.

6.8 Tepelné čerpadlo a výmenník

Pre daný tepelný akumulátor je potrebné určiť veľkosť výmenníku medzi chladivom a vodou. Ako výmenník posluží trubka v šróbovicovom tvare, ktorá bude vinutá odspodu smerom k povrchu. Napriek tomu, že výpočet akumulátora prebiehal pri uvažovaní plne premiešaného média, v skutočnosti bude zásobník stratifikovaný, a teda smer špirály zdola hore bude využívať práve teplotnú diferenciu. Pre výpočet dĺžky a priemeru je nutné poznať základné parametre TČ.

Tabuľka 28 Návrhové parametre TČ [132]

Chladivo			R134a
Vstupná teplota chladiva do výparníku	T_C	°C	0
Výstupná teplota vody z kondenzátoru	T_E	°C	65
Nedohrev v akumulátore	T_A	°C	5
Nedohrev v TČ	$T_{TČ}$	°C	5
Isoentropická účinnosť	η_{IS}	°C	0,8
Tepelný výkon	Q_C	°C	165
Tepelné straty kompresora	f_Q	%	6
Účinnosť regenerácie	η_T	-	0,5
Tlakové straty na potrubí	$\Delta p_{SL}, \Delta p_{DL}$	°C	1,2
Prehriate nasávaných pár	T_{SH}	°C	5
Podchladenie kvapaliny	T_{SC}	°C	0

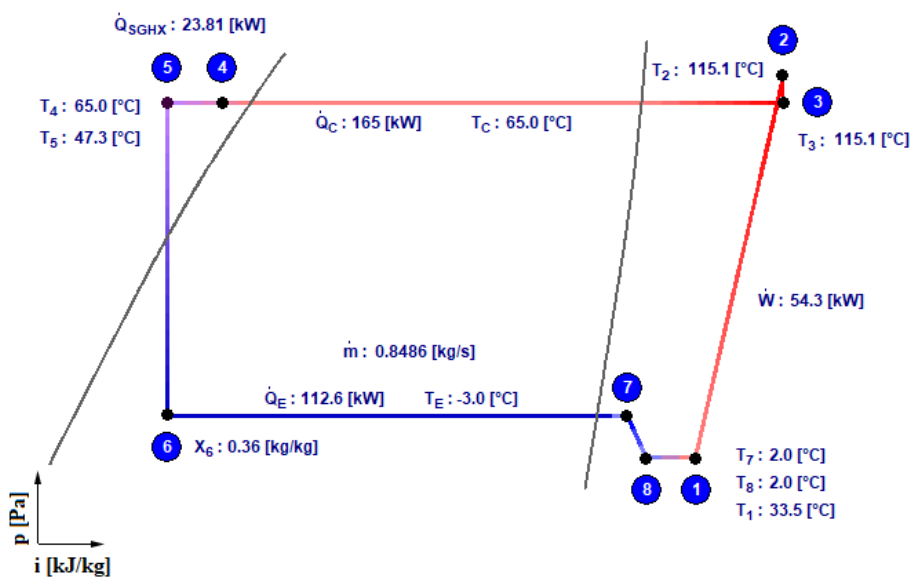
Výber daných hodnôt je odôvodnený typickými návrhovými hodnotami a odporúčaniami výrobcov. Pre konkrétne hodnoty z Tabuľky 29 je spravený výpočet obehu tepelného čerpadla a potrebných parametrov programom CoolPack, ktorý je určený pre návrh tepelných čerpadiel a klimatizácií. [133]

Obrázok 76 ukazuje vložené hodnoty do programu z Tabuľky 29 a pre ne vypočítané potrebné hodnoty pre zostrojenie obehu TČ.

CYCLE SPECIFICATION							
TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		SUCTION GAS HEAT EXCHANGER		REFRIGERANT	
T_E [°C]:	-3.0	ΔT_{SH} [K]:	5	Δp_{SL} [K]:	1.2	Thermal efficiency η_T	0.50
T_C [°C]:	65.0	ΔT_{SC} [K]:	0	Δp_{DL} [K]:	1.2		R134a
CYCLE CAPACITY							
Heating capacity \dot{Q}_C [kW]	165	\dot{Q}_E : 112.6 [kW]	\dot{Q}_C : 165 [kW]	\dot{m} : 0.8486 [kg/s]	\dot{V}_S : 289.47 [m ³ /h]		
COMPRESSOR PERFORMANCE							
Isentropic efficiency $\eta_{i,s}$ [-]	0.8	$\eta_{i,s}$: 0.800 [-]	\dot{W} : 54.3 [kW]				
COMPRESSOR HEAT LOSS							
Heat loss factor f_Q [%]	6	f_Q : 6.0 [%]	T_2 : 115.1 [°C]	\dot{Q}_{LOSS} : 3.258 [kW]			
SUCTION LINE							
Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K]	0.0	\dot{Q}_{SL} : 295 [W]	T_8 : 2.0 [°C]	$\Delta T_{SH,SL}$: 0.0 [K]			

Obrázok 76 Printscreen programu so zadanými a vypočítanými hodnotami

Pre dané vstupné hodnoty je vďaka programu určený aj obeh v p-i diagrame. Pre potreby návrhu výmenníku tepla medzi chladivom a vodou v akumulátore je braná najnižšia teplota v zásobníku počas topnej sezóny, a to je 5°C, resp. -3°C pri pripočítaní nedohreva medzi médiom v špirále a okolitou vodou.



Obrázok 77 p-i diagram obehu TČ

Ako je patrné z grafu, k vyparovaniu chladiva dochádza medzi bodmi 6-1. Chladivo vstupuje pri teplote -3°C do výparníku v 2-fázovej zmesi kvapalina-plyn, kde dochádza k vyparovaniu chladiva, a nárastu entalpie a teploty až na 2°C.

Pre určenie dĺžky špirály v nádrži je nutné poznať súčiniteľ tepelnej vodivosti medzi vodou a chladivom v trubke. Ten sa spočíta z nasledujúceho vzťahu. [131]

$$K_V = \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{\alpha_{in} \cdot r_{in}} + \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{r_{out}}{r_{in}} + \frac{1}{\alpha_{out} \cdot r_{out}}} = [W/m \cdot k] \quad (6.14)$$

Kde α_{in} je súčiniteľ prestupu tepla v trubici. Bežný výpočet pre jeho určenie nie je možný pre prúdenie v trubke aplikovať, pretože dochádza k prúdeniu viac-fázovej zmesi a aj k jej varu. Na základe odbornej literatúry je jeho hodnota volená na $\alpha_{in}=8000\text{W/m}^2\cdot\text{K}$. V prípade voľnej konvekcie v akumulátore je $\alpha_{out}=2000\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ rovnako ako pri výpočte strát prostupom z akumulátora do okolitej zeme. Predbežný návrh spočíva v počiatočnej rýchlosti zmesi vo výmenníku $v_c=0,2\text{m/s}$. [131]

Pomocou znalosti hustoty a z potrebného hmotnostného prietoku (uvedeného v Obrázku 77) bol program schopný určiť vnútorný priemer potrubia, ktorý je 75mm teda 75x1,9mm, podľa sériovo vyrábaného rozmeru z katalógu. [134]

PIPE DIMENSIONS			
PIPE SECTION	VELOCITY	PIPE DIAMETER (Internal)	Condition corresponds to
	[m/s]	[mm]	
Suction line	6.0	130.6	State Point #1
Discharge line	2.6	75.1	State Point #2
Liquid line	0.2	75.0	State Point #5

Obrázok 78 Vnútorný priemer výmenníku v zásobníku

Pre lepšie využitie tepla a kvôli zredukovaniu tepelne ovplyvnenej oblasti v zásobníku, bude hlavný tok chladiva v akumulátore rozdelený do 3 nezávislých špirálových výmenníkov, každom o 1/3 hmotnostného toku.

Prepočet na vetvu špirály je uskutočnený z prietochných prierezov potrubí, teda prírodné potrubie bude mať plochu

$$A_{VSTUP} = \frac{\pi D^2}{4} = 4418 \text{ mm}^2 \quad (6.15)$$

Každá vetva má prierez tretinový z hlavného, tým pádom 1472mm^2 . Pri prepočte prierezu na vnútorný priemer podľa upraveného vzorca 6.3 je výsledný priemer 43mm. Z katalógov výrobcov je vybraný najbližší priemer 40mm. Zmenou prietochného prierezu sa zmení aj rýchlosť média v systéme. To ovplyvní Reynoldsove číslo a v konečnom dôsledku aj súčiniteľ prestupu tepla pre nútenú konvekciu na strane chladiva. S tým, že došlo k výberu jeho hodnoty z odbornej literatúry, chybovosť súčiniteľu pri zmene rýchlosti je zanedbateľná. [134]

Pri tenkostennej trubke s hrúbkou steny 1,8mm bude vonkajší priemer rovný súčtu vnútorného priemeru a stien po oboch stranách.

$$d_{out} = 2 \cdot t + d_{in} = 2 \cdot r_{out} = 43,6\text{mm} \quad (6.16)$$

Teda vonkajší polomer je 21,8mm. Pre danú trubku z materiálu PE-HD prislúcha súčiniteľ tepelnej vodivosti $\lambda=0,5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. [134]

Následne je realizovaný výpočet súčiniteľu prostupu tepla pri nútenej konvekcii pomocou vzorca 6.14, kde všetky veličiny sú dosadené v základných jednotkách. Jeho hodnota z výpočtu je $K_L=31,17 \text{ W/m}\cdot\text{k}$ pre jednu vetvu tepelného výmenníku.

Zmena fáz má na teploty len minimálny vplyv, preto stredný tepelný logaritmickej spád sa spočíta z rozdielu teplôt medzi chladivom a vodou v zásobníku. [135][136]

$$\theta = \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{T_1 - T_{out}}{T_2 - T_{out}}} = 3,99^\circ\text{C} \quad (6.17)$$

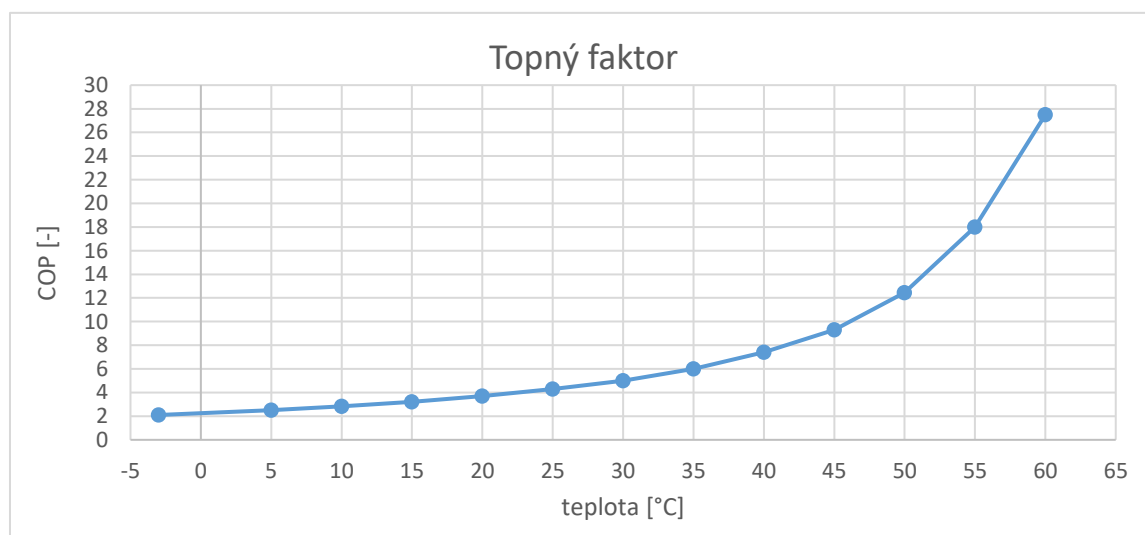
Úpravou vzorca tepelného výkonu je možné získať celkovú dĺžku jednej špirály trubky v akumulátore pri uvažovanej účinnosti 95%. [131]

$$Q = \frac{1}{3} \eta_v \cdot K_v \cdot L \cdot \theta \rightarrow L = \frac{Q}{\eta_v \cdot K_v \cdot \theta} = \frac{165000}{3,0,95 \cdot 31,17 \cdot 3,99} = 464,4\text{m} \quad (6.18)$$

Kde 1/3 vo vzorci udáva výkon jednej špirálovej vetvy. Geometria šróbovíc a ich uloženie v zásobníku tepla je zakótované vo výkrese prílohy 2018-4-1-3.

6.9 COP tepelného čerpadla

S tým, ako sa mení teplota v zásobníku počas sezóny, vplyvom strát a odberu, mení sa aj topný faktor. Jeho výpočet je uskutočnený zmenou vstupnej teploty v programe CoolPack, ktorým sa navrhoval celý obch TČ. COP je najvyšší pri teplote 60°C, pretože je závislý na vstupných a výstupných teplotách. Jeho hodnota dosahuje až 28. Na konci sezóny, kedy je zásobník už plne vybitý, bude pri uvažovanom nedohreve vstupná teplota média do výmenníku -3°C, a jej prislúchajúca hodnota topného faktor 2.



Obrázok 79 COP tepelného čerpadla

6.10 Spotreba elektrickej energie

Pre chod systému je potrebné dodávať elektrickú energiu, ktorá poháňa pracovné stroje. Nielen kompresor tepelného čerpadla koná prácu, ale aj obehové čerpadlo systému, termického kolektora a podobne.

Z Obrázku 75 je zobrazená hodnota množstva tepla za týždeň, pre ktorú platí prislúchajúca teplota z Obrázku 74. Pre danú teplotu je z Obrázku 79 určený topný faktor. Znalosťou týchto hodnôt je uskutočnený výpočet podľa vzorca 6.6.

Výsledná potrebná elektrická energia pre chod tepelného čerpadla je 21,15MWh. Pri výpočte sa nepočítalo so stratifikáciou, teda počítalo sa s konštantnou teplotou v celom zásobníku. Pri vhodnej stratifikácii by došlo k zvýšeniu účinnosti tepelného čerpadla o 15%, tým pádom by bolo potrebné len 18MWh elektriny. Mimo účinnosti je pravdepodobné, že by

sa zoplo TČ neskôr, preto odber z najteplejšej časti stratifikovaného zásobníka by mal byť schopný ísť priamo do výmenníku voda-voda. [137]

Tabuľka 29 Spotreba TČ v topnej sezóne

Týždeň topnej sezóny	Spotreba el. energie MWh
5	0,3
6	0,48
7	0,75
8	1,19
9	1,58
10	1,8
11	2,13
12	2,31
13	2,54
14	2,36
15	1,92
16	1,7
17	1,18
18	0,92
suma	21,15

Príkion čerpadla na pohon termických kolektorov je uvažovaný 5kW. Napriek tomu, že priemerný počet slnečných hodín je približne 1600, čerpadlo pracuje aj mimo ne, pretože časť slnečnej energie vie prejsť cez oblaky a pod. Tým pádom počet hodín je polovica z celkovej sumy za rok, 4380. Pri uvažovaní polovičného výkonu, teda aj príkonu bude celková elektrická energia nutná na chod termických kolektorov približne 11MWh. U stroja, ktorý čerpá priamo vodu zo zásobníka do výmenníku, je pracovné obdobie zhruba 4 týždne. Pretože je privádzacie potrubie krátke a výtlačná výška relatívne malá, podľa katalógových listov by malo stačiť čerpadlo o 2kW výkonu. Pri podobnom predpoklade ako u termického kolektora, a teda, že odhad spotreby je uskutočnený s polovičným priemerným príkonom, je spotreba 1,3MWh.

Pretože je zásobník tepla pripojený na otopnú sústavu, ktorá zásobuje 50 rodinných domov, je potrebná energia aj na chod tejto sústava. Systém beží nepretržite celý rok (8760 hodín) pri predpoklade výkonu čerpaceho stroja 10kW je teda celková spotreba elektrickej energie 87,6MWh.

Súčtom týchto jednotlivých spotrieb je získaná celkové množstvo elektrickej energie pre vykurovanie a ohrev TUV. Jeho hodnota je 121MWh.

6.11 Ekonomické zhodnotenie

Ako jedno z hlavných kritérií pri návrhu systému je návratnosť investície. V niektorých prípadoch, pokiaľ nie je možné objekty pripojiť k sieti, môže byť projekt uskutočnený aj pri stave, kedy nedôjde k návratnosti investície a bude prerábať každým rokom. V prípade, že sa jedná o osamostatnenie od centrálnych zdrojov je dôležitá čo najnižšia návratnosť investície.

Pre výpočet rentability bude braný celý systém ako celok. Preto do kapitálových nákladov mimo zásobníku spadá aj termický kolektor, a potrubie centrálného zásobovania s výmenníkmi.

Jednotlivé ceny boli získané na základe komunikácie s dodávateľmi, alebo z kriviek kapitálových nákladov určených v kapitole 5.2.

Tabuľka 30 Kapitálové náklady na investíciu [138]

CAPEX	Počet [ks]	Cena [kč]	Celkovo [kč]
Zásobník s príslušenstvom	1	3300000	3300000
Tepelné čerpadlo	1	500000	500000
Hlavný výmenník	2	50000	100000
Trubka OS ø63	20	1400	28000
Trubka OS ø50	460	1100	506000
Trubka OS ø32	240	700	168000
Trubka OS ø16	615	500	307500
Výmenník v objekte	50	3000	150000
Solárny termický kolektor	1	1900000	1900000
Príslušenstvo			1000000
Dodatočná práca			2000000
Celkovo			9959500

Celkové kapitálové náklady na výstavbu zásobníku so systémom dopravy tepla presiahnu 10 miliónov korún. Najvyššia položka je samotný akumulátor, ktorý tvorí tretinu z ceny. Približne 1/3 vyjde aj samotná otopná sústava a ani nie pätinu stojí termický kolektor. Ten dokáže za rok vytvoriť až 1692GJ. V lete na priamo zásobuje mestskú štvrť po dobu 8 mesiacov a pre ohrev TUV dodá približne 605GJ. Narozdiel od neho, tepelný zásobník dodá okolo 470GJ tepla, avšak kapitálová cena je približne 4 milióny, teda dvojnásobok.

Tabuľka 31 Operatívne náklady

OPEX	Počet [ks]	Cena [kč]	Celkovo [kč]
Elektrická energia	121	3974	480850
Údržba a obsluha	1	150000	150000
Celkovo			630850

Pomocou kapitálových a operatívnych nákladov je určená návratnosť investície, ktorá vychádza zo vzorca 5.5. Návratnosť investície je vzťahnutá k 2 prípadom.

1. Každý z domov má elektrický kotol
2. Je vybudované centrálné zásobovanie teplom z teplárne

Tabuľka 32 Náklady systémov na teplo [139][141]

	Počet	CAPEX [kč]	OPEX na 1GJ [kč]	OPEX ročne [kč]
1. Elektrický kotol	1	12000	1100	19921
	50	600000	1100	995720
2. Centrálné zásobovanie	1	3200000	662	599242

Pre elektrický kotol je uvažovaná 100% premena elektrickej energie na tepelnú rovnako ako v kapitole 5.

K návratnosti investície dôjde, keď sa budú celkové náklady (CAPEX+OPEX) rovnať cenám z porovnávaných zdrojov, teda

$$CAPEX_{DS} + OPEX_{DS} \cdot t = CAPEX - OPEX \cdot t \quad (6.19)$$

Resp., pri úprave vzťahu je získaný vzťah pre rok v ktorom dôjde k splateniu investície

$$t = \frac{CAPEX_{DS} - CAPEX}{OPEX - OPEX_{DS}} = [rok] \quad (6.20)$$

V porovnaní s elektrickým kotlom, ktorý je situovaný zvlášť v každom z objektov dôjde k návratnosti investície do 26 rokov. Podľa tabuľky 13, ktorá udáva priemernú životnosť častí pre autonómne objekty je vidieť, že životný cyklus tepelného čerpadla je len 20 rokov, teda menej ako je doba návratnosti. Avšak na rozdiel od TČ majú ostatné prvky omnoho vyššiu životnosť, kde v prípade trubiiek pre OS a zásobníku je to až 100 rokov. V porovnaní s centrálnym zásobovaním teplom z teplárne, nedôjde k návratnosti investície, pretože operatívne náklady pre systém (630850kč) sú vyššie ako nakupované teplo (599424kč).

Tabuľka 33 Návratnosť

Návratnosť	čas
1	25,65
2	-213,85

ZÁVER

Diplomová práca sa zaoberala ostrovnými systémami a ich reálnou aplikáciou. Celkovo boli vybrané 4 objekty, na ktorých sa realizovala autonómnosť na dodávkach energii. Z nich bolo zistené, že rozdiel spotreby tepla medzi nezatepleným a pasívnym domom dosahuje až 86%, napriek tomu, že konzumpcia elektrickej energie je totožná.

Na základe určených charakteristických kriviek spotreby konkrétnych objektov, bolo navrhnutých 7 technologicky odlišných riešení, ktoré pokrývali potrebu tepla a elektrickej energie. Tie pozostávali z hybridných systémov, ktoré kombinovali kotle na biomasu, tepelné čerpadlo, kogeneračnú jednotku, termický solárny ohrev, fotovoltaickú elektrárňu, elektrocentrály a palivový článok. Bolo dokázané, že 100% autonómnosť je dosiahnuteľná, avšak vychádza to drahšie, ako odoberanie časti energie zo siete. Najväčší problém, je získanie elektrickej energie počas zimy, kedy nedopadá dostatočné slnečné žiarenie na prevádzku spotrebičov. U objektov veľkosti rodinného domu bol tento problém vyriešený zapojením plynovej elektrocentrály, avšak jej operatívne náklady takmer 3-násobne prevýšili cenu elektriny zo siete. Preto u budov tohto typu je pri zabezpečení elektrickej energie oveľa výhodnejšia aplikácia čiastočnej sebestačnosti, ktorá s podporami z NZÚ dosahuje veľmi priaznivé návratnosti. U mestskej zástavby boli navrhnuté 3 z celkových 7 riešení. Pri zapojení s kogeneračnou jednotkou, ktorá vyriešila problém dodávky elektrickej energie v zime bola dosiahnutá celková návratnosť plne autonómneho systému na dodávkach zo siete pod hranicou životnosti systému. U použitia palivového článku, ktorý v súčasnosti nepatrí medzi bežné komerčne využíva zdroja energii, bola jeho návratnosť 25 rokov spolu s elektrolýzou vody, ktorá vznikala pri prebytku z FVE. Pokiaľ by došlo k využitiu odpadného tepla z procesu, je pravdepodobné, že by sa návratnosť priblížila k životnosti, ktorá je 20 rokov. Pre rodinné domy bolo zistené, že investícia do decentralizovaného zdroja tepla má rýchlu návratnosť. Výnimku tvorilo tepelné čerpadlo zapojené do okruhu s pasívnym zdrojom, hlavne kvôli vysokým nákladom na zaobstaranie a nízkou spotrebou tepla. V poslednom návrhu pre zástavbu bol použitý čiastočne autonómny systém, ktorý znova potvrdil, že čiastočná sebestačnosť je výhodnejšia z hľadiska rentability, ako úplná. U všetkých týchto objektov sa návratnosti z FVE a batériových akumulátorov pohybovali na úrovni 11 rokov. Ako posledný objekt bol zvolený areál FSI, kde bola použitá fotovoltaická elektrárňu na budovách C1-C3, ktoré sú vhodné orientované pre jeho aplikáciu. Bez použitia batérii dosahovala doba splatnosti investície necelých 7 rokov. U tepelného čerpadla o výkone 1,3MW sa návratnosť zместila do 4 rokov, avšak je potrebné zvážiť, či by bol k dispozícii dostatočne veľký pozemok na vyvrtanie vertikálnych vrtov. Bolo dokázané, že merná cena za jednotku výkonu, resp. jednotku kapacity klesá s celkovým výkonom, resp. kapacitou a preto je aplikácia ostrovných systémov vhodnejšia pre objektu s väčšou spotrebou energii.

Vzhľadom k predošlým zisteniam nákladov spojených s výkonom zdrojov bola pre návrh tepelného akumulátora vybraná rodinná zástavba s 50 domami. Pre podzemný zásobník tepla typu TTES naplnený vodou o objeme 1294m³, ktorý bol uložený pod povrchom zeme bol spravený výpočet strát a jeho tepelná kapacita dosiahla hodnotu 467,5GJ. Tento zásobník bol zásobovaný teplom zo solárneho termického kolektora o ploche 550m². Maximálna teplota na začiatku topnej sezóny sa vybijala z 85°C až na 5°C. Do 65°C je teplo odoberané priamo zo zásobníku a pri nižších teplotách bol výstup zvýšený pomocou tepelného čerpadla na požadované parametre. Pretože sa jednalo o zástavbu, bol spravený jednoduchý návrh otopného systému, ktorý zabezpečuje dodávku tepla pre rodinné domy. Porovnaním ekonomickej

návratnosti plne sebestačného systému, bol zistený výsledok zhodnotenia investície v porovnaní s elektrickými kotlami 26 rokov. Pri uvažovaní tepla z teplárne sa systém nikdy nezaplatí, pretože operatívne náklady boli vyššie ako pri priamej kúpe tepla. Mohol za to hlavne vysoký príkon obehového čerpadla, ktorý za rok spotreboval až 87,6MWh elektrickej energie.

Z výsledkov diplomovej práce plynie, že vhodný návrh ostrovného systému je kritický pri zhodnotení investície. Vo všeobecnosti platí, že výhodnejšie vychádzajú ostrovné systémy s čo najvyšším energetickým príkonom a to aj napriek dotáciám pre rodinné domy. V súčasnosti sa ako najrozumnejšie javí kombinácia ostrovných zdrojov energie a siete samotnej. Realizácia 100% autonómneho systému je až krajnou možnosťou. Pri súčasnom trende znižovania kapitálových nákladov a zvyšovania účinnosti vďaka R&D by, ale v budúcnosti mohli hrať decentralizované systémy výraznú úlohu v energetickom mixe.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮV

- [1] *Státní energetická koncepce* [online]. Department 32400, 2015 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument158059.html>
- [2] *Nová zelená úsporám* [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2018 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/vyse-podpory-3-vyzva/>
- [3] Italy recovering from big blackout. *Cnn.com* [online]. Řím: CNN, 2003 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://edition.cnn.com/2003/WORLD/europe/09/28/italy.blackout/index.html>
- [4] Power utilities. *Pwc* [online]. pwc [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/energy-utilities-resources/power-utilities.html>
- [5] WEAVER, John. The math, and evidence all around you, that shows shared autonomous vehicles powered by solar power and batteries are inevitable. *Electrek* [online]. 2016 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://electrek.co/2016/05/19/the-math-and-evidence-all-around-you-that-shows-shared-autonomous-vehicles-powered-by-solar-power-and-batteries-are-inevitable/>
- [6] Roční zpráva o provozu ES ČR. In: *Energetický regulační úřad* [online]. Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2017 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/-/vyrocni-zprava-eru-za-rok-2016>
- [7] KABELE, Richard. *Ekofórum: Trhy s podpůrnými službami* [online]. (CZ.2.17/3.1.00/32102), 95 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://keke.vse.cz/wp-content/uploads/2011/06/110503_trhy_pps_komplet_final_public.pdf
- [8] Solar energy. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: https://simple.wikipedia.org/wiki/Solar_energy
- [9] 50% increase of solar energy efficiency. *Steemit* [online]. 2017 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://steemit.com/science/@aximot/50-increase-of-solar-energy-efficiency>
- [10] VOBOŘIL, David. Fotovoltaické elektrárny – princip funkce a součásti, elektrárny v ČR. *Oenergetice* [online]. 2016 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti>
- [11] MAEHLUM, Mathias. Which Solar Panel Type is Best? Mono- vs. Polycrystalline vs. Thin Film. *Energyinformative* [online]. 2017 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/>
- [12] GAUGAN, Richard. The Effects of Temperature on Solar Panel Power Production. *Sciencing* [online]. 2017 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://sciencing.com/effects-temperature-solar-panel-power-production-19442.html>
- [13] AL-SHOWANY, Ehsan. The Impact of the Environmental Condition on the Performance of the Photovoltaic Cell. *Sciencepublishinggroup* [online]. Kirkul: Northern Technical University, 2016, 2016 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://article.sciencepublishinggroup.com/html/10.11648.j.ajee.20160401.11.html>
- [14] BURDNETT, Richard. There has never been a better time to install solar panels!. *Renewableenergyhub* [online]. 2014 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z:

- <https://www.renewableenergyhub.co.uk/blog/there-has-never-been-a-better-time-to-install-solar-panels>
- [15] MAEHLUM, Mathias. The Real Lifespan of Solar Panels. *Energyinformative*[online]. 2014 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://energyinformative.org/lifespan-solar-panels/>
- [16] LOZANOVA, Sarah. Are Solar Panels Recyclable?. *Earth911* [online]. 2017 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://earth911.com/eco-tech/recycle-solar-panels/>
- [17] Solar Thermal Technology - How it works. *Weatherenergy* [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.weatherenergy.co.uk/solar-thermal/how-it-works>
- [18] Solární kolektor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia*[online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sol%C3%A1rn%C3%AD_kolektor
- [19] Flat-Plate Solar panel. *Sunflower-solar*[online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: http://www.sunflower-solar.com/index.php?act=content&scheduler_id=8361
- [20] STICKNEY, Briston. Innovations and Advances in Solar Thermal Systems. *Homepower* [online]. 2012 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.homepower.com/articles/solar-water-heating/domestic-hot-water/innovations-and-advances-solar-thermal-systems>
- [21] Solar thermal collector. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_thermal_collector
- [22] REHART Arkimedean screw generator. Prominiera Shpk [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.prominiera.com/en/products/view/4>
- [23] DOLINSKÝ, Filip. Projekt turbin pro malou vodní elektrárnu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 53 s., 4 přílohy. Vedoucí práce doc. Ing. Miloslav Haluza, CSc
- [24] LAIKA, Viktor. Turbína SETUR. *Mve.energetika*[online]. olomoucko [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/jineturbiny/setur.htm>
- [25] Vodná elektraren bezlopatková SETUR 120W/12 - 24 V. *Ekosolar.eshop-zdarma*[online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://ekosolar.eshop-zdarma.cz/index.php?s=product&id=851>
- [26] Heat pump. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_pump
- [27] Energy Conversion and Heat Engines (With a little bit of Thermodynamics). *Mpoweruk*[online]. Chester: Woodbank Communications, 2005- [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: http://www.mpoweruk.com/heat_engines.htm
- [28] Topný faktor COP - účinnost tepelného čerpadla. *Abeceda-čerpadel* [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/topny-faktor-cop-ucinnost-tepelneho-cerpadla>
- [29] BRANDTON, Nigel, Brett a Hawkes. *A review of domestic heat pumps* [online]. 2012 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Average-heating-coefficient-of-performance-for-air-and-ground-source-heat-pumps-left-and_255759857

- [30] Chegg [online]. Chegg, 2003- [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/t-s-diagram-heat-pump-given--reversing-valve-allows-heat-pump-operate-heating-cooling-mode-q20584975>
- [31] KABRHEL, Michal. *Obnovitelné zdroje energie Budovy a energie* [online]. In: . Praha: ČVUT Fakulta stavební [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: http://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/16/bue/06_07_tepelne-cerpadlo_tisk.pdf
- [32] The Different Types of Heat Pumps. *Renewableenergyhub* [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.renewableenergyhub.co.uk/heat-pumps-information/the-different-types-of-heat-pumps.html>
- [33] GROUND SOURCE HEAT PUMPS: HORIZONTAL COLLECTORS VS. VERTICAL BOREHOLES. *Mesh-energy* [online]. Hants, 2017 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.mesh-energy.com/ground-source-heat-pumps-horizontal-collectors-vs-vertical-boreholes>
- [34] Ground Source Heat Pumps. *Renewableenergyhub* [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.renewableenergyhub.co.uk/heat-pumps-information/ground-source-heat-pumps-gshp.html>
- [35] Veterná energia. *Oze.stuba* [online]. Bratislava: Fakulta elektrotechniky a informatiky FEI STU [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.oze.stuba.sk/oze/veterna-energia/>
- [36] BRADBURY, Les. Power curve. *Wind-power-program* [online]. Plymouth [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.wind-power-program.com/popups/powercurve.htm>
- [37] Savonius wind turbine. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Savonius_wind_turbine
- [38] JASMIN, Jessie. Untitled. In: *Prezi* [online]. 2015 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://prezi.com/uiqocg7I9b1o/>
- [39] In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-04-13].
- [40] Wind turbine clipart. *Moziru* [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://moziru.com/explore/Wind%20Turbine%20clipart%20vertical%20axis/>
- [41] Aerodynamics of blade of HAWT. *Slideshare* [online]. 2015 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/kinjal2112/aerodynamics-of-blade-of-hawt>
- [42] Diesel generator. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_generator
- [43] NOUR, Mutasim a Golbarg ROHANI. *Prospect of stand-alone PV-diesel hybrid power system for rural electrification in UAE* [online]. 2014 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/286049971_Prospect_of_stand-alone_PV-diesel_hybrid_power_system_for_rural_electrification_in_UAE. Heriot-Watt University.
- [44] Kogenerační jednotky. *Tedom* [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/kogeneracni-jednotky/lpg/>
- [45] SMOKER, Justin a Jacob PESSIA. Small Scale Cogeneration Including Automotive Applications. *Me1065.wikidot* [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z:

- <http://me1065.wikidot.com/small-scale-cogeneration-including-automotive-applications>
- [46] Kogenerácia. *Ecb2* [online]. Bratislava [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.ecb2.sk/kogeneracia/>
- [47] POSPÍŠIL, Jiří a Jan FIEDLER. Chladicí obehы trigenerace dalkové chlazení. *Vetrani.tzb-info* [online]. 2011 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/7910-chladicí-obehy-trigenerace-dalkove-chlazení>
- [48] Fuel Cell Basics. *Americanhistory* [online]. Smithsonian Institution, 2017 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://americanhistory.si.edu/fuelcells/basics.htm#q1>
- [49] What You Need for a Fuel Cell Powered Home. *Fuelcellsetc* [online]. 2015 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://fuelcellsetc.com/2015/03/what-you-need-for-a-fuel-cell-powered-home/>
- [50] KUBICA, Juraj. *NÁVRH MODELU PALIVOVÉHO ČLÁNKU* [online]. Bratislava, 2005 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://diplomovka.sme.sk/zdroj/2731.pdf>. Bakalárska práca. Slovenská technická univerzita. Vedoucí práce František Janíček.
- [51] BHATTACHARYYA, Rupsha, Apurva MISRA a SANDEEP. Photovoltaic solar energy conversion for hydrogen production by alkaline water electrolysis: Conceptual design and analysis. *Sciencedirect* [online]. 2017 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890416310664>
- [52] Ako vybrať zdroj na biomasu. *Siea* [online]. bratislava: Slovenská inovačná a energetická agentúra [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.siea.sk/letaky/c-260/ako-vybrat-zdroj-na-biomasu/>
- [53] LETCHER, Trevor. *Storing Energy with Special Reference to Renewable Energy Sources*. Durban: Elsevier, 2016. ISBN 978-0-12-803440-8.
- [54] MANGOLD, Dirk a Laure DESCHAINTE. *Seasonal thermal energy storage Report on state of the art and necessary further R+D* [online]. Stuttgart: SHC, 2015 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://task45.xn--ieashc-dg0c.org/fact%E2%80%9090sheets>
- [55] MATUŠKA, Tomáš. Zásobníky tepla s řízeným teplotním vrstvením (stratifikací). *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/156-zasobniky-tepla-s-rozenym-teplotnim-vrstvenim-stratifikaci>
- [56] *HYDROGEN FAQs* [online]. 2012- [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.merlin.unsw.edu.au/energyh/hydrogen-faqs>
- [57] UNITED STATES OF AMERICA. *Hydrogen Storage*. In: . ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY. Dostupné také z: <https://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>
- [58] UNITED STATES OF AMERICA. *Physical Hydrogen Storage*. In: . ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY. Dostupné také z: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/physical-hydrogen-storage>
- [59] SHARMA, S.D a Kazunobu SAGARA. Latent Heat Storage Materials and Systems: A Review. *International Journal of Green Energy*. Lodon: Taylor & Francis, 2007, , 1-56. DOI: 10.1081/GE-200051299. ISSN 0197-1522 print / 1543-5083.

- [60] OSTRÝ, Milan. Akumulace tepla při změnách skupenství. *Chempoint*[online]. Brno: Vysoké učení technické, 2012 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/akumulace-tepla-pri-zmenach-skupenstvi>
- [61] TUNÇBILEK, Kadir, Ahmet SARI, Sefa TARHAN, Gazanfer ERGÜNEŞ a Kamil KAYGUSUZ. *Lauric and palmitic acids eutectic mixture as latent heat storage material for low temperature heating applications*[online]. Elsevier, 2005 [cit. 2018-04-13]. DOI: 10.1016/j.energy.2004.05.017. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544204002944>
- [62] Stratherm® · L (Latent Heat Storage System). *Taikisha-group* [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.taikisha-group.com/service/stratherml.html>
- [63] *Pcmproducts* [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.pcmproducts.net/Phase-Change-Material-Solutions.htm>
- [64] *Lithium oim* [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: http://www.rathboneenergy.com/articles/sanyo_lionT_E.pdf
- [65] *Powerwall* [online]. 2018 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: https://www.tesla.com/sites/default/files/pdfs/powerwall/Powerwall%202_AC_Datash eet_en_northamerica.pdf
- [66] MUOIO, Danielle. 10 home batteries that rival Tesla's Powerwall 2. *Businessinsider* [online]. 2017 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.businessinsider.com/rechargeable-battery-options-compete-tesla-2017-5#simpliphis-batteries-can-be-combined-to-make-a-battery-pack-as-large-as-you-need-the-company-recently-partnered-with-solar-installer-civicsolar-to-provide-a-comprehensive-energy-system-14>
- [67] [Http://energystorage.org/energy-storage/technologies/sodium-sulfur-nas-batteries](http://energystorage.org/energy-storage/technologies/sodium-sulfur-nas-batteries) [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/sodium-sulfur-nas-batteries>
- [68] *Energy storage, clean and simple: Introducing the first safe and sustainable battery* [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://aquionenergy.com/technology/deep-cycle-battery/>
- [69] HOLINGEROVÁ, Soňa. Zástupci ČEZ Distribuce a Enedis jednali v Praze o smart grid projektu INTERFLEX, který odstartuje v lednu 2017. In: *Cez* [online]. CEZ, 2016 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/5805.html>
- [70] ANDERSON, Richard. Heat pumps extract warmth from ice cold water. *Bbc* [online]. 2015 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.bbc.com/news/business-31506073>
- [71] THURSTON, Charles. Solar Builder Project of The Year Winner: Fort Madison Middle School. *Solarbuildingmag* [online]. 2016 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://solarbuildermag.com/news/solar-builder-project-year-2016-winner-roof-mount/>
- [72] *Solarmarstal* [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.solarmarstal.dk/firmaprofil/billedarkiv>
- [73] *What the future looks like!* [online]. Zurich, 2016 [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <http://new.abb.com/news/detail/644/what-the-future-looks-like>
- [74] E.ON implements a stand-alone grid solution in Sweden: illage of Simris supplied entirely with locally produced, renewable energy. *Eon*[online]. 2017 [cit. 2018-04-14].

- Dostupné z: <https://www.eon.com/en/about-us/media/press-release/2017/eon-implements-a-stand-alone-grid-solution-in-sweden.html>
- [75] Simris 360 video – byn som ska bli självförsörjande på förnybar energi från sol och vind. In: *Youtube* [online]. eon, 2017 [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=hmfLyT53-hU>
- [76] *Brno* [online]. Brno: ČHMU, 1939- [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=brno>
- [77] *Ako znížiť spotrebu elektriny v domácnosti* [online]. Slovenská inovačná a energetická agentúra [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.siea.sk/letaky/c-4499/ako-znizit-spotrebu-elektriny-v-domacnosti/>
- [78] FRANK, Milena. *Analyse der Eigenbedarfsdeckung durch PV- und KWK-Anlagen in Wohnhäusern* [online]. Darmstadt: TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT, 2015, , 96 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/strom/Eigenbedarfsdeckung_PVKWK_MilenaFrank_IWU_TUD_2015.pdf
- [79] ANDERSEN, Frits, Mattia BALDINI, Lars HANSEN a Lyngje JENSEN. *Households' hourly electricity consumption and peak demand in Denmark*. Lyngby, 2017. University of Copenhagen.
- [80] VYMĚTALÍK, Vladimír. Návrh obvodové stěny s vnějším tepelněizolačním kompozitním systémem. *Stavba.tzb-info* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/127-navrh-obvodove-steny-s-vnejsim-tepelneizolacnim-kompozitnim-systemem>
- [81] ZMRHAL, Vladimír. Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1. *Tzb-info* [online]. 2012 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>
- [82] KRIPPELOVÁ, Zuzana a Jana PERÁČKOVÁ. AKÁ JE SPOTREBA TEPLEJ VODY NA OBYVATEĽA V BYTOVOM DOME?. *Asb* [online]. Bratislava: TZB SvF STU, 2014 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.asb.sk/tzb/energie/aka-je-spotreba-teplej-vody-na-obyvateľa-v-bytovom-dome>
- [83] *Energetická náročnosť budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápěný prostor, Modul M3-3*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [84] Podnebie Brno. *Meteoblue* [online]. 2006- [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: https://www.meteoblue.com/sk/po%C4%8Dacie/predpove%C4%8F/modelclimate/brno_%C4%8Cesk%C3%A1-republika_3078610
- [85] CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL. *Větrání a klimatizace*. Brno: press Brno, 1993. ISBN 80-901574-0-8.
- [86] BERANOVSKÝ, Jiří a Jan TRUXA. *Alternativní energie pro váš dům*. 2. ERA group, 2003. ISBN 80-865178-9-6.
- [87] *An investigation into CHP deployment in Glasgow* [online]. 2009 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/08-09/Sustainable_Glasgow/analysis_hotwater.html. University of Strathclyde.
- [88] Konštrukcia pasívneho domu. *Fordom* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.fordom.sk/files/Image/Konstrukcia-ForDom-Pasiv.pdf>

- [89] BURAN, Petr. *ENERGETICKÉ ZÁSOBOVÁNÍ AREÁLU TECHNICKÁ 2*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
- [90] Autonómnosť. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://sk.wikipedia.org/wiki/Auton%C3%B3mia>
- [91] *Solar-eshop* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.solar-eshop.sk/p/6/>
- [92] *Olim* [online]. 2017 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://olim.us/16331/ideas/beautiful-solar-panel-cost-from-solar-panel-costs-pie-chart/>
- [93] *Tedom* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/kogeneracni-jednotky/lpg/>
- [94] *VĚTRNÉ POMĚRY BRNA A OKOLÍ* [online]. Brno, 2012 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/357306/prif_b/BP.pdf. Bakalárska práca. MASARYKOVA UNIVERZITA. Vedoucí práce Doc. RNDr. Petr Dobrovolný, CSc.
- [95] Kompaktný cenník 2016 SK. *Tzbmarket* [online]. Viessmann, 2016 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: http://www.tzbmarket.sk/cenniky/viessmann_kompakt_sk_2016.pdf
- [96] *Tepelná čerpadla* [online]. MasterTherm, 2015 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: http://abtherm.sk/wp-content/uploads/2018/03/MasterThermSK_Katalog_2018.pdf
- [97] CENÍK VÝROBKŮ 2018. *Dakon* [online]. 2018 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: https://www.dakon.cz/wp-content/uploads/2018/01/Dakon_cenik_01_2018_A4.pdf
- [98] *Heron 2012* [online]. heron [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: http://www.elektrocentrally-obchod.com/dokumenty/heron_2012.pdf
- [99] *Denní kurz* [online]. 2018 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: http://www.cnb.cz/cs/financni_trhy/devizovy_trh/kurzy_devizoveho_trhu/denni_kurz.jsp
- [100] *Fuel cell stacks* [online]. Texas [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.fuelcellstore.com/fuel-cell-stacks>
- [101] *Vertikálne turbíny* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: http://www.solariss.sk/Vertikalne-turbiny-c26_0_1.htm
- [102] *Znížime prevádzkové náklady vášho nového domu na minimum* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.ivt.sk/sk/kolko-tepelne-cerpadlo-usetri>
- [103] KOŠINOVÁ, Kateřina. *Projekt snížení energetické náročnosti ve společnosti Interhotel Moskva a.s.* [online]. Zlín, 2014 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/28351/ko%C5%A1inov%C3%A1_2014_dp.pdf?sequence=1. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati. Vedoucí práce Ing. Petr Svěrák.
- [104] ŠTAMPACH, Jakub. *Návrh kogenerační jednotky pro rodinný dům* [online]. Plzeň, 2014 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/14226/1/bakalarska%20prace-final.pdf>. Bakalárska práca. Západočeská univerzita. Vedoucí práce Ing. Emilu Dvorskému, CSc.
- [105] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. 1. Praha: Malina, 1994. ISBN 80-900759-5-9.

- [106] <http://www.quest.sk/solarne-kolektory/vyber-solarnych-kolektorov/ploche-alebo-trubicove/>. *Quest* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.quest.sk/solarne-kolektory/vyber-solarnych-kolektorov/ploche-alebo-trubicove/>
- [107] LEHMAN, P.A. a C.E. CHAMBERLIN. Design of a photovoltaic-hydrogen-fuel cell energy system. *Design of a photovoltaic-hydrogen-fuel cell energy system* [online]. 1991, , 349-352 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/036031999190172F>
- [108] *Google maps* [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://www.google.sk/maps>
- [109] *Elektrina: Cenik* [online]. Plzeň: ČEZ, 2017 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2018/moo/web_cenik_elektrina_dobu_neurcitou_moo_2017_12_eondi.pdf
- [110] Palivové dřevo. *Optimtop* [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://www.optimtop.cz/palivove-drevo-rovnane-dub-delka-33-cm-13-prmr-2/>
- [111] *Ceny LPG* [online]. mbenzin [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://www.mbenzin.cz/Ceny-LPG>
- [112] VILLALUZ, Kathleen. Researchers Found a Way to Increase the Lifetime of Tesla's Batteries to 20 Years. *Interestingengineering* [online]. 2017 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://interestingengineering.com/researchers-found-way-increase-lifetime-tesla-batteries-20-years>
- [113] Servis a životnost tepelných čerpadel. *.tzb-info* [online]. PZP HEATING, 2017 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/16173-servis-a-zivotnost-tepelnych-cerpadel>
- [114] BECHNÍK, Bronislav. Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti. *Tzb-info* [online]. 2011 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>
- [115] *Viessmann* [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://www.viessmann.sk/sk/informacie-pre/zivotnost-solarnych-kolektorov.html>
- [116] *Jaká je životnost mikroelektrárny (kogenerační jednotky)?* [online]. onsite [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://www.onsite.cz/faq/jaka-je-zivotnost-zarizeni/>
- [117] MAHLIA, T.M.I. a P.L. CHAN. *Renewable and Sustainable Energy Reviews: life cycle cost analysis of fuel cell based cogeneration system for residential application in Malaysia* [online]. Elsevier, 2011, , 416-426 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110002212>
- [118] MATUŠKA, Tomáš. Ekonomika solárních tepelných soustav I. *Tzb-info* [online]. 2011 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/7072-ekonomika-solarnich-tepelnych-soustav-i>
- [119] *Zásobníky na skladování LPG* [online]. Vpsr [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: http://eshop.vpsr.cz/zasobniky-na-skladovani-lpg#!/zasobniky-na-skladovani-lpg?sort=price&lp=&cat=0&q=&from=12#pager_cont
- [120] BENEŠ, Michal. *Využití kogenerační jednotky pro developerské projekty* [online]. Praha, 2014 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/23723/F3-DP-2014-Benes-Michal-prace.pdf>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické.

- [121] JACOBS, Jeffrey. *Economic Modeling of Cost Effective Hydrogen Production From Water Electrolysis by Utilizing Iceland's Regulating Power Market* [online]. Island, 2016 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://skemman.is/bitstream/1946/23812/1/Jeffrey%20Jacobs.pdf>. Diplomová práce. Reykjavík University. Vedoucí práce Einar Jón Ásbjörnsson.
- [122] KABRHEL,, Michal. *Dimenzování teplovodních otopných soustav*. Praha: České vysoké učení technické.
- [123] Logstor calculator. *Logstor* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://www.logstor.com/catalogues-and-documentation?lang=1737&type=1613>
- [124] *Cableizer* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: https://www.cableizer.com/tools/soil_temperature/
- [125] ZOTTL, Andreas, Roger NORDMAN a Marek MIARA. *Benchmarking method of seasonal performance* [online]. , 20 [cit. 2018-05-20]. DOI: IEE/08/776/SI2.529222. Dostupné z: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/sepemo-build_benchmarking_seasonal_performance_of_hp_en.pdf
- [126] Coefficient of performance. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient_of_performance
- [127] *Geberit* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://www.geberit.cz/vyrobky/zasobovaci-systemy/potrubni-systemy/geberit-mapress-nerezova-ocel/>
- [128] *PORAVER® – TECHNICAL DATA: LIGHTWEIGHT AGGREGATE ACCORDING TO ASTM C330, C331, C332* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://www.poraver.com/us/technical-data-poraver/>
- [129] *PROPERTIES OF GEOCELL FOAM GLASS GRAVEL* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.geocell-schaumglas.eu/en/products/foam-glass-gravel/properties/>
- [130] Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů. *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu>
- [131] HASAL, P., I. SCHEIDER a D. ŠNITA. *Chemické inženýrství*. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2007. ISBN 978-80-7080-002-7.
- [132] JAŠEK, FRANTIŠEK. *Návrh tepelného čerpadla voda-voda* [online]. Brno, 2012 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/13256>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.
- [133] *CoolPack* [online]. Copenhagen: Technical University of Denmark [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.en.ipu.dk/Indhold/refrigeration-and-energy-technology/coolpack.aspx>
- [134] *Holms & Holms* [online]. Denmark [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.holmholm.dk/en/plastic-info/wall-thickness/>
- [135] *Thermodynamics and Propulsion: Heat Exchangers* [online]. Massachusetts Institute of Technology [cit. 2018-05-20].
- [136] M.H. Yang, R.H. Yeh a P.H. Shih. *Study of logarithmic mean temperature difference method applied to heat exchangers with phase-change* [online]. Taiwan, 2014 [cit.

- 2018-05-20]. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/287280471_Study_of_logarithmic_mean_temperature_difference_method_applied_to_heat_exchangers_with_phase-change
- [137] Rothuizen, E., Elmegaard, B., Markussen, W. B., Madsen, C., Olesen, M. F., & Sølvesten, M. Ø. (2015). *High efficient heat pump system using storage tanks to increase COP by means of the ISEC concept - Part 1: Model validation. In Proceedings of the 24th IIR International Congress of Refrigeration International Institute of Refrigeration.* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z:
http://orbit.dtu.dk/files/119688915/ISECManuscript_submitted.pdf. Denmark technical university.
- [138] *Vymeniky-tepla* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.vymeniky-tepla.cz/vymenik-tepla-cenik/>
- [139] *Kúreniezen* [online]. Košice: ZEN - Zelená energia [cit. 2018-05-20]. Dostupné z:
<http://www.kurenienzen.sk/kurenie/eshop/28-1-Elektricke-vykurovanie/402-3-Vykondo-10-kW>
- [140] *Cena tepla* [online]. Brno: Teplárny [cit. 2018-05-20]. Dostupné z:
<https://www.teplarny.cz/cena-tepla>

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

Skratka	Význam
ATES	Aquifer thermal energy storage
BTES	Borehole thermal energy storage
CAPEX	Capital Expenditure
ČEPS	Česká prenosová sústava
COP	Coefficient of performance
ČR	Česká republika
CZK	Česká koruna
El.	Elektrický
ERU	Energetický regulačný úrad
EU	Európska únia
FSI	Fakulta strojního inženýrství
FV	Fotovoltaika
FVE	Fotovoltaická elektrárň
LOA	Level of autonomy
LPG	Liquified petrol gas
N	Negatívny
Napr.	Napríklad
NZÚ	Nová zelená úsporám
OPEX	Operational Expenditures
OS	Otopná sústava
OZE	Obnoviteľné zdroje energie
P	Pozitívny
PCM	Phase change materials
PE-HD	Polyethylen-high density
Popr.	Poprípade
PTES	Pit thermal energy storage
R&D	Research and development
ROS	Rentability of system
SCOP	Seasonal coefficient of performance
SIEA	Slovenská inovačná a neergetická agentúra
Skratka	Význam
STES	Sensible Thermal Energy Storage
TČ	Tepelné čerpadlo
Tkz.	Tak zvaný
TTES	Tank thermal energy storage
TUV	Teplá užitková voda
USA	United states of America

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV

Symbol	Význam	Jednotka
A	Plocha	m ²
C _p	Koeficient veternej turbíny	-
c _p	Merná tepelná kapacita	kJ/kg
d	Priemer	m ²
e _h	Tepelná vodivosť zeme	m ² /deň
H	Hrúbka	m
I	Intenzita	kWh/mesiac
L	Dĺžka	m
l	Výška	m
m	Hmotnostný tok	kg/s
n	Počet dní	-
P	Výkon	W
p	Tlak	Pa
q	Teplo	kJ
Q	Objemový tok	m ³ /s
r	Polomer	m
s	Entropia	kJ/kg.K
t	Teplota	°C
T	Teplota	K
U	Súčiniteľ prostupu tepla	W/m ² .K
v	Rýchlosť	m/s
V	Objem	m ³
z	Hĺbka	m
α	Súčiniteľ prestupu tepla	W/m ² .K
η	Účinnosť	-
θ	Stredný tepelný logaritmický spád	°C
λ	Súčiniteľ tepelnej vodivosti	W/m.K
ρ	Hustota	kg/m ³
ω	Uhlová frekvencia	1/deň

ZOZNAM POUŽITÝCH INDEXOV

Index	Význam
in	Vstup
out	Výstup
55	Teplota 55°C
0	Aritmetický priemer
DS	Decentralizovaný systém
C	Výparník
E	Kondenzátor
A	Nedohrev v akumulátore
TČ	Nedohrev v TČ
IS	Izoentropická účinnosť
C	Tepelný výkon
Q	Tepelné straty kompresora
T	Účinnosť regenerácie
SL	Suction line
DL	Discharge line
SH	Prehriate nasávaných pár
SC	Podchladenie kvapaliny

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1 Princíp fungovania fotovoltaického panelu a jeho konštrukcia [9]	14
Obrázok 2 Graf závislosti zníženia účinnosti na zanesení plochy PV [13]	15
Obrázok 3 Ročný vývoj cien inštalovaného výkonu vo Wattoch [14]	16
Obrázok 4 Graf vývinu účinností jednotlivých technológií pre PV [10]	16
Obrázok 5 Schéma princípu solárneho kolektora [17]	17
Obrázok 6 Doskový a trubkový solárny kolektor [19][20]	17
Obrázok 7 Závislosť produkcie na delte teploty [21]	18
Obrázok 8 Model šnekovej turbíny [22]	19
Obrázok 9 Turbína SETUR [24] [25]	19
Obrázok 10 Princíp funkcie tepelného čerpadla [27]	20
Obrázok 11 Graf závislosti topného faktoru na delte teplôt [29]	21
Obrázok 12 Obeh tepelného čerpadla v T-s [30]	21
Obrázok 12 Tepelné čerpadlo na princípe vrtu a plošného kolektora [33]	22
Obrázok 13 Závislosť výkonu na rýchlosti vetra [36]	23
Obrázok 14 Smer toku vetra a šróbovicová turbína [37][38]	24
Obrázok 15 Typy Dárriusových rotorov [39]	24
Obrázok 16 Smer toku vetra na turbínu s axiálnym vstupom [40]	25
Obrázok 17 Graf závislosti účinnosti na okamžitom výkone [42]	25
Obrázok 18 Schéma kogeneračnej jednotky [45]	26
Obrázok 19 Princíp funkcie absorpčného obehu [47]	26
Obrázok 20 Princíp fungovania palivového článku [50]	27
Obrázok 21 Schéma systému palivového článku a elektrolýzy [51]	27
Obrázok 22 Kotel na pelety a splynovací kotel [52]	28
Obrázok 23 Krivka technológií pre akumuláciu energie [53]	30
Obrázok 24 Typy podzemných sezónnych tepelných zásobníkov [53]	31
Obrázok 25 Závislosť kapitálových nákladov na objeme tepelného zásobníka [54]	32
Obrázok 26 Zásobník na TUV [55]	32
Obrázok 27 Rez zásobníkom na vodík [58]	33
Obrázok 28 Konštrukcia a trubky zásobníku latentného tepla [62][63]	34
Obrázok 29 Strojovňa tepelných čerpadiel [70]	36
Obrázok 30 Pohľad na FV panely [71]	37
Obrázok 31 Letecký pohľad na solárne kolektory [72]	37
Obrázok 32 Plne sebestačný rodinný dom s použitými technológiami [73]	38
Obrázok 33 Pohľad na hybridný systém veternej a FV elektrárne [75]	38
Obrázok 34 Priemerné mesačné teploty vzduchu [76]	39
Obrázok 35 Rozmerový model typového objektu	40
Obrázok 36 Graf dennej spotreby energie pre typový objekt. č.1.	41
Obrázok 37 Graf spotreby energie počas roka pre typový objekt č.1.	42
Obrázok 38 Graf dennej spotreby energie pre typový objekt. č.2	43
Obrázok 39 Graf spotreby energie počas roka pre typový objekt č.2.	44
Obrázok 40 Graf dennej spotreby energie pre typový objekt. č.3.	44
Obrázok 41 Graf spotreby energie počas roka pre typový objekt č.3.	45
Obrázok 42 Hlavná budova A1	45
Obrázok 43 Graf dennej spotreby energie pre typový objekt. č.4. [89]	46
Obrázok 44 Graf spotreby energie počas roka pre typový objekt č.4. [89]	46

Obrázok 45 Krivky kapitálových nákladov pre $1kW_e$ [91] [92] [93] [98] [100] [101] [103] [104]	50
Obrázok 46 Krivky kapitálových nákladov pre $1kW_t$ [93][95][96][97]	51
Obrázok 47 Krivky kapitálových nákladov pre $1kwh$ kapacity [54][62]	51
Obrázok 48 Intenzita slnečného žiarenia pre oblasť Brno [105]	52
Obrázok 49 Schéma zapojenia pre starý dom	53
Obrázok 50 Závislosť autonómnosti na ploche FV panelu pre objekt. č.1.	54
Obrázok 51 Spotreba elektrickej energie a zdroje počas roka pre objekt č.1.	54
Obrázok 52 Závislosť autonómnosti na ploche termického panelu pre objekt 1.	55
Obrázok 53 Produkcia tepla termickým ohrevom a spotreba počas roka pre objekt 1.	55
Obrázok 54 Pokrytie potreby tepla použitými zdrojmi pre objekt 1.	56
Obrázok 55 Schéma zapojenia zdrojov pre pasívny dom 1.	56
Obrázok 56 Pokrytie potreby tepla použitými zdrojmi objekt. 2. (obe riešenia)	57
Obrázok 57 Schéma zapojenia zdrojov pre pasívny dom 2.	57
Obrázok 58 Spotreba elektrickej energie a zdroje počas roka pre objekt 2., riešenie 2.	58
Obrázok 59 Schéma zapojenia zdrojov pre mestskú štvrť 1.	59
Obrázok 60 Spotreba elektrickej energie a jej pokrytie pre objekt 3., riešenie 3.	59
Obrázok 61 Produkcia tepla solárnym ohrevom a spotreba počas roka pre objekt 3.	60
Obrázok 62 Pokrytie potreby tepla použitými zdrojmi riešenia 1. objektu 3.	60
Obrázok 63 Schéma zapojenia zdrojov pre mestskú štvrť 2.	61
Obrázok 64 Spotreba el. energie a jej zdroje pre objekt 3., riešenie 2.	62
Obrázok 65 Schéma zapojenia zdrojov pre mestskú štvrť 3.	62
Obrázok 66 Spotreba el. energie a jej zdroje počas roka pre objekt 3., riešenie 3.	63
Obrázok 67 Schéma zapojenia zdrojov pre areál FSI	63
Obrázok 68 Pôdorys areálu FSI a umiestnenie FV panelov na strechy budov [108]	64
Obrázok 69 Spotreba elektrickej energie a jej produkcia objektu č.4	65
Obrázok 70 Graf výroby a spotreby tepla pre systém rodinných domov	74
Obrázok 71 Pomer strát a potreby tepla pre TUV a vykurovanie	74
Obrázok 72 Závislosť teploty zeme na hĺbke a okolitej teplote vzduchu	75
Obrázok 735 Straty prostupom a odber zo sezónneho zásobníka v topnej sezóne	78
Obrázok 744 Priebeh teploty v zásobníku počas topnej sezóny	78
Obrázok 75 Printscreen programu so zadanými a vypočítanými hodnotami	80
Obrázok 76 p-i diagram obehu TČ	80
Obrázok 77 Vnútny priemer výmenníku v zásobníku	81
Obrázok 78 COP tepelného čerpadla	82

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1 Použité materiály pre objekt č.1 [80]	41
Tabuľka 2 Vlastnosti materiálov pre pasívny dom [88]	43
Tabuľka 3 Konverzný kurz [98]	50
Tabuľka 4 Rovnice merných kapitálových nákladov zdrojov	52
Tabuľka 5 Rovnice merných kapitálových nákladov akumulátorov	52
Tabuľka 6 Účinnosti kolektorov pri premenlivej tepelnej diferencii [106]	53
Tabuľka 7 Účinnosti palivového článku a elektrolyzy [107]	61
Tabuľka 8 Výkony jednotlivých zdrojov pre navrhované riešenia	65
Tabuľka 9 Spotreba a produkcia zdrojov autonómnych riešení	66
Tabuľka 10 Level autonómnosti systému	66
Tabuľka 11 Ceny za palivo [89][110][111][112]	67
Tabuľka 12 Dotácie na zdroje [2]	67
Tabuľka 13 Životnosti [97] [112] [113] [114] [115] [116] [117]	67
Tabuľka 14 Náklady a rentabilita systémov pre starý dom	68
Tabuľka 15 Náklady a rentabilita pasívneho domu s kotlom	69
Tabuľka 16 Náklady a rentabilita pasívneho domu s tepelným čerpadlom	69
Tabuľka 17 Náklady a rentabilita zástavby s kogeneračnou jednotkou [120]	70
Tabuľka 18 Náklady a rentabilita zástavby s palivovým článkom [121]	71
Tabuľka 19 Náklady a rentabilita zástavby s tepelným čerpadlom	71
Tabuľka 20 Náklady a rentabilita	71
Tabuľka 21 Rýchlosti vody v potrubí	73
Tabuľka 22 Tabuľka tepelných vodivostí OS [123]	73
Tabuľka 23 Celkové dĺžky OS	73
Tabuľka 24 Okamžité a mesačné tepelné straty otopného systému	73
Tabuľka 25 Materiály vodného zásobníka [127][128][129][130]	76
Tabuľka 26 Súčinitele prostupu tepla pre navrhované steny	77
Tabuľka 27 Rozmery zásobníku	79
Tabuľka 28 Návrhové parametre TČ [132]	79
Tabuľka 29 Spotreba TČ v topnej sezóne	83
Tabuľka 30 Kapitálové náklady na investíciu [138]	84
Tabuľka 31 Operatívne náklady	84
Tabuľka 32 Náklady systémov na teplo [139][141]	84
Tabuľka 33 Návratnosť	85

ZOZNAM PRÍLOH

- 1 Výkres A2 2018-4-1-1 Otopná sústava zástavby
- 2 Výkres A2 2018-4-1-2 Schémy obehov
- 3 Výkres A2 2018-4-1-3 Tepelný akumulátor