

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra mechaniky a strojnictví



Diplomová práce

**Tepelná bilance a spotřeby energie v rodinném domě
s téměř nulovou spotřebou energie NZEB**

Bc. Jan Schovánek

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Tepelná bilance a spotřeby energie v rodinném domě s téměř nulovou spotřebou energie NZEB vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Schovánek

Technologická zařízení staveb
Zařízení v agropotravinářském komplexu

Název práce

Teplná bilance a spotřeby energie v rodinném domě s téměř nulovou spotřebou energie NZEB

Název anglicky

Heat balance and energy consumption in a family house with almost zero energy consumption NZEB

Cíle práce

Stanovit a analyzovat roční spotřeby neobnovitelné energie a produkce energie z obnovitelných zdrojů energie v rodinném domě s téměř nulovou spotřebou (NZEB). Dále stanovit a analyzovat výkonovou bilanci zdrojů a spotřebičů energie v daném objektu. Specifikovat energetické, ekonomické a environmentální přínosy energetického systému s NZEB.

Metodika

1. Struktura práce by se co nejvíce měla přiblížit schématu:

A. Úvod; B. Materiál a metody; C. Výsledky; D. Diskuse; E. Závěr. V práci lze slučovat kapitoly D a E.

2. Součástí diplomové práce bude sestavení literární rešerše věnující se zdrojům a spotřebám energie v rodinných domech s téměř nulovou spotřebou energie (NZEB). Dále výkonovým bilancím zdrojů a spotřebičů energie, energetickým, ekonomickým a environmentálním přínosům energetických systémů rodinných domů s NZEB v ČR a zahraničí.

Diplomant popíše a zhodnotí realizovaný energetický systém. Zhodnotí výkonovou bilanci zdrojů a spotřebičů energie. Stanoví roční spotřeby neobnovitelné energie a produkce obnovitelné energie. Specifikuje energetické, ekonomické a environmentální přínosy energetického systému.

3. Práci je vhodné doplnit fotografiemi, schémata, grafy a tabulkami. Jednotlivé kapitoly a podkapitoly práce, rovnice, tabulky a obrázky je nutno číselně označovat a na toto značení se v textu odkazovat. Nedílnou součástí práce je i obsah, abstrakt, seznam použitých zkratk a symbolů, obrázků, tabulek a literatury. Práce může být doplněna přílohami.

4. Při vypracování diplomové práce je nutno dbát na respektování citačních pravidel dle ČSN ISO 690:2011.

5. Vedoucího práce je nutno čtvrtletně seznamovat s postupem zpracování zadaného tématu.

Doporučený rozsah práce

40-50 str.

Klíčová slova

fototermitické solární panely, tepelná čerpadla, akumulace energie, nízkoteplotní zdroje energie, obnovitelné zdroje energie.

Doporučené zdroje informací

BANKS D. An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling. Chichester, West Sussex: 2012, 491 p., ISBN 978-0-470-67034-7.

BELLIDO C. R., FARGALLO A. P., PEREZ I. O. Zero-Energy Buildings. London: IntechOpen, 2020, 146 p. ISBN 1789852455. 20, 146 p.

Firemní dokumentace a podklady – <http://www.tzb-info.cz>
https://scholar.google.cz/scholar?q=Publications+Nearly+zero-energy+buildings&hl=cs&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar

MATUŠKA T., SEDLÁŘ J., STRAKA T. Hodnocení tepelných čerpadel ve světle nové legislativy. Praha: STP-sekce Alternativní zdroje energie, 2016, 120 s. ISBN 978-80-02-02662-4.

PETRÁŠ D., TEUCHNEROVA M. Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. Bratislava: Jaga 2008, 207 s. ISBN 978-80-8076-069-4

TYWONIAK J. Nízkoenergetické domy 3. Praha: Grada, 2012, 204 s. ISBN 978-80-247-3832-1

TZB Haustechnik. Vedecko-technický recenzovaný časopis z oblasti TZB a techniky prostředí. Bratislava: JAGA GROUP, s.r.o. ISSN 1210-356X.

Vytápění, větrání, instalace. Odborný recenzovaný časopis. Praha: Společnost pro techniku prostředí, ISSN 1210-1389.

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 1. 2. 2022

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 12. 02. 2023

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce prof. Ing. Radomírovi Adamovskému, DrSc za odborné vedení a rady při zpracování diplomové práce. Mé poděkování patří také majiteli objektu za ochotu a poskytnutí důležitých podkladů, Dominikovi Lenochovi za odborné rady při zpracování naměřených dat, paní Ing. Martině Orlické za korekturu textu a mým blízkým za podporu v průběhu studia.

Tepelná bilance a spotřeby energie v rodinném domě s téměř nulovou spotřebou energie NZEB

Heat balance and energy consumption in a family house with almost zero energy consumption NZEB

Souhrn

Diplomová práce se zabývá vytápěním, ohřevem teplé vody a akumulací energie. Teoretická část se věnuje principům energetických zdrojů, energetickým a výkonovým bilancím. Dále se věnuje akumulaci vyrobené elektrické a tepelné energie. Seznamuje čtenáře se systémovými řešeními využívaných v praxi. Praktická část se věnuje vyhodnocení naměřených dat ze systému, který byl navržen a provozován pro potřeby výzkumu. Stanovuje spotřeby neobnovitelné a obnovitelné energie v objektu.

Summary

The thesis deals with the issue of heating, hot water production, and energy storage in buildings, with a focus on family houses. The theoretical part discusses the principles of operation of energy sources, energy and power balances. It also addresses the possibilities of storing produced electric and thermal energy. Introduces the reader to system solutions used in practice. The practical part evaluates the measured data from the system, which was designed and operated for research purposes. It determines the consumption of non-renewable and renewable energy in the building.

Klíčová slova:

Fototermické solární panely, tepelná čerpadla, akumulace energie, nízkoteplotní zdroje energie, obnovitelné zdroje energie

Keywords:

Photothermal solar panels, heat pumps, energy storage, low-temperature energy sources, renewable energy sources.

1	ÚVOD	9
2	CÍL PRÁCE A METODIKA	10
3	TEORETICKÁ VÝCHODISKA	11
3.1	Princip fotovoltaické elektrárny	11
3.1.1	Úvod do vzniku fotovoltaických panelů	11
3.1.2	Současné fotovoltaické panely	12
3.2	Tepelné čerpadlo – princip, parametry	15
3.2.1	Součásti a princip tepelného čerpadla s kompresorem.....	15
3.2.2	Součásti a princip sorpčního tepelného čerpadla	17
3.2.3	Výpočet parametrů funkce tepelného čerpadla	18
3.3	Akumulace elektrické energie	19
3.4	Akumulace tepelné energie	21
3.5	Využití vyrobené elektrické energie.....	24
3.6	Tepelná bilance.....	25
4	VÝSLEDKY	27
4.1	Stručný popis objektu	27
4.2	Popis použitých zařízení	28
4.2.1	Instalovaná fotovoltaická elektrárna	28
4.2.2	Instalované tepelné čerpadlo	28
4.2.3	Instalovaná akumulční nádoba	28
4.2.4	Používaná měřicí a regulační technika.....	28
4.3	Princip a zapojení systému	29
4.4	Naměřená data	32
4.5	Vyhodnocení naměřených dat	36
4.5.1	Vyhodnocení výroby fotovoltaické elektrárny.....	36
4.5.2	Vyhodnocení funkce tepelného čerpadla.	37
4.5.3	Vyhodnocení teplot z teplotních sond.....	38
4.5.4	Roční spotřeby neobnovitelné a obnovitelné energie v objektu	38
4.5.5	Výkonová bilance využívaných zdrojů energie.	40
4.5.6	Ekonomické posouzení systému	43
5	DISKUSE.....	48
6	ZÁVĚR.....	51
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	54

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

SCOP – Sezonní topný faktor provozu tepelného čerpadla

MaR – Měření a regulace, v souvislosti se schématem zapojení a regulací systému

FVE – Fotovoltaická elektrárna

NZEB – Budova s téměř nulovou spotřebou neobnovitelné energie.

1 ÚVOD

Diplomová práce se zabývá současnou problematikou hospodaření s elektrickou a tepelnou energií v rámci rodinných domů. Práce se zaměřuje na využití malých fotovoltaických elektráren v součinnosti s tepelnými čerpadly pro vytápění a ohřev teplé vody. Zvyšováním životních standardů a technické i technologické vyspělosti se zvyšují nároky na technická zařízení budov. Technická zařízení budov je obor, který se zaměřuje na technická zařízení a systémová řešení používaná v objektech. Jejich vzájemná kombinace tvoří z hlediska uživatele objektu skryté systémy, které budují celkový dojem z objektu. Svou činností mohou výrazně ovlivňovat míru spokojenosti pobývajících osob, tzv. pohodu prostředí. Zároveň ovlivňují energetickou, ekologickou a ekonomickou zátěž provozovaného objektu.

Teoretická část diplomové práce prezentuje principy, technologická řešení a v neposlední řadě požadavky, které jsou kladené na jednotlivé prvky systémů i na systém jako celek. V teoretické části je čtenář seznámen s možnostmi akumulace a přímého využití elektrické energie, principem fotovoltaického jevu, základní konstrukcí fotovoltaických panelů, principem funkce tepelného čerpadla a jeho základními částmi. V jiných státech jsou platné odlišné normy a je nutné je při navrhování systému technických zařízení staveb respektovat.

Praktická část navazuje na teoretickou část. Řeší efektivitu, energetickou a ekonomickou náročnost provozovaného řešení v konkrétní realizaci. Je hodnoceno využití malé fotovoltaické elektrárny v kombinaci se složitějším systémem akumulace vyrobené energie. Systém akumulace a nakládání s vyrobenou energií je stěžejní, jeho návrh do velké míry ovlivňuje efektivitu systému a jeho funkci obecně. Jedná se o rodinný dům v okrese Chrudim v Pardubickém kraji. Objekt slouží pro trvalý pobyt 4 osob.

2 CÍL PRÁCE A METODIKA

Praktická část této práce bude vypracována na základě praktických a teoretických poznatků z prostudované literatury. Hlavní zdroje, ze kterých byly čerpány odborné materiály, budou uvedeny v seznamu zdrojů. Literatura se bude týkat odborných článků, knih, skript, zabývajících se návrhem, popisem a funkcí jednotlivých systémů zakomponovaných do energetického hospodářství řešeného systému. Konkrétně fotovoltaickým systémům, tepelným čerpadlům, ohřevu teplé vody, akumulaci energie a využití energie zemního masivu.

V práci bude řešeno:

- ✓ Principy fotovoltaických elektráren a tepelných čerpadel.
- ✓ Možnosti přímého využití vyrobené elektrické energie.
- ✓ Varianty akumulace elektrické a tepelné energie.
- ✓ Funkce tepelného čerpadla a možnost napojení na fotovoltaickou elektrárnu.
- ✓ Energetické posouzení provozu domu s téměř nulovou spotřebou energie – NZEB

Cílem práce je na základě analýzy provozovaného systému:

- ✓ Návrh způsobu zpracování a vyhodnocení velkého množství dat z měření.
- ✓ Vyhodnocení energetických potřeb objektu, tepelná a výkonová bilance.
- ✓ Ekonomické zhodnocení variant provozovaných systémů.
- ✓ Posouzení enviromentálních přínosů systémů NZEB

3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

Součinnost systému zapojených do nakládání s energií jak tepelnou, tak elektrickou, je stěžejní pro jeho optimální funkci. Je tedy důležité sledovat technologické novinky, testovat jejich parametry i v praxi nejenom v laboratoři. Zvážit jejich přínos na sledované parametry systému a po důkladném otestování ulehčit jejich implementaci do praxe ve stávajících i v budoucnu vznikajících systémech.

3.1 Princip fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické elektrárny jsou sledovaným a čím dále více využívaným řešením snižování energetické náročnosti provozů, napříč odvětvími. Vývoj a provedení panelů jde neustále kupředu.

3.1.1 Úvod do vzniku fotovoltaických panelů

Historie takzvaného fotovoltaického jevu začíná u jevu fotoelektrického a je datována do roku 1839. Fotoelektrický jev byl poprvé zdokumentován fyzikem Alexandrem Endmundem Bequerelem. Při pokusech v laboratoři, kdy na dvou kovových elektrodách, které byly pod napětím umístěné v kapalině vedoucí elektrický proud po osvětlení vzrostl proud. Samozřejmě od tohoto pozorování v laboratoři byla ještě dlouhá cesta k funkčnímu fotovoltaickému článku v podobě, jakou známe dnes. Na tento historický milník navázali v roce 1876 William Grylls Adams a Richard Evans Day, dělali pokusy s platinou a selenem, zde se poprvé setkáváme s fotovoltaickým jevem na přechodu PN. V tomto případě došlo k naměření zvýšeného napětí i proudu v obvodu bez zapojení vnějšího zdroje elektrické energie. [1,2]

„Fyzikální princip fotoelektrického jevu teoreticky popsal Albert Einstein roku 1905. Za předpokladu, že na elektromagnetické pole aplikoval kvantovou teorii, kterou Max Karl Ernst Ludwig Planck publikoval na přelomu století. Z Einsteinova vysvětlení vyplývá, že energie uvolněného elektronu závisí pouze na frekvenci záření (energií fotonů) a počet elektronů na intenzitě záření (počtu fotonů).“ [2]

V roce 1954 byl sestaven první funkční fotovoltaický článek na bázi křemíků. Jak se dá předpokládat vzhledem k počátkům této technologie, měl článek relativně malou účinnost, kolem 5 %, a jeho výroba byla zdlouhavá, relativně nepřesná a finančně náročná. I přes tyto neduhy byly fotovoltaické články úspěšně používány jako zdroj energie pro zařízení vysílané na oběžnou dráhu Země. Pro civilní využití a rozšíření technologie byly příliš nákladné. [1,2]

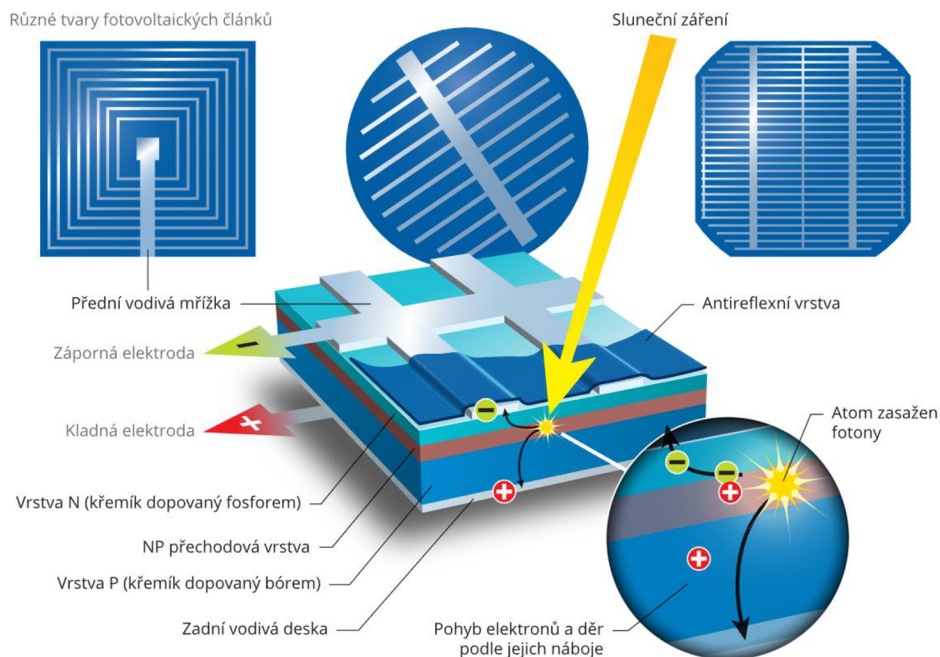
Dále našly fotovoltaické články uplatnění v lokalitách, kde nebyla vybudována infrastruktura pro distribuci elektrické energie a tím se začaly objevovat první ostrovní systémy. Tedy malé oblasti, či jednotlivá odběrná místa do jisté míry nezávislá na distribuční síti.

Další významný pokrok ve vývoji fotovoltaických článků můžeme přiřknout vlivu uměle vyvolané energetické ropné krize, která se dostala na vrchol v roce 1973. Organizace zemí vyvážející ropu uvalila embargo na export ropy do zemí, které uznali jako politicky problematické. Z tohoto důvodu velmi prudce stoupla cena za barel ropy a nepřímo se tak poukázalo na důležitost energetické nezávislosti a podporu výzkumu v oblasti energetiky. [3]

3.1.2 **Současné fotovoltaické panely**

Fotovoltaický panel je složen z několika kusů modulů a modul je složen z několika kusů fotovoltaických článků

Od první generace fotovoltaických křemíkových panelů se dostáváme skokem k současnému stavu, pro tuto práci není stěžejní do detailů znát historický vývoj a technologie používané pro výrobu panelů. Jejich stručné rozdělení a základní složení si přiblížíme pro představu o tématu a možném budoucím směru. Schématický náčrt fotovoltaického panelu viz (Obr. 1).



Obr. 1 - Schéma fotovoltaického panelu [5]

„Základem fotovoltaického článku je PN přechod. Spodní P vrstva je nejčastěji tvořena plátkem krystalického křemíku s příměsí bóru. Na vrchní straně je nanášena vrstva polovodiče typu N, například křemík dotovaný indiem. Na rozhraní vrstev vzniká PN přechod s jednosměrným průchodem volných elektronů z vrstvy P do vrstvy N. Elektrony, uvolněné dopadajícími fotony, se pak hromadí v horní vrstvě N a tvoří napětový potenciál mezi vrstvami o velikosti přibližně 0,6 V. Připojením vhodných elektrod se může toto stejnosměrné napětí využít.“ [5]

Amorfní fotovoltaické články

Výrobní proces spočívá ve využití vhodné sloučeniny křemíku a jejímu postupnému rozkladu ve vodíkové atmosféře. Jako tato sloučenina se používá silan či dichlorsilan. Tento způsob vede k nanášení tenké vrstvy křemíku s malou příměsí vodíku na nosič, nosič může být skleněný, kovový, plastový nebo speciální. Tento typ článků je možné implementovat do materiálů, které se běžně používají pro stavbu budov, například střešní krytina nebo hydroizolační pásy. Vrstva, která je nanášena na nosič, je amorfní, což znamená, že nemá pravidelnou krystalickou mřížku a obsahuje příměs. [4,5]

„Amorfni křemik má účinnost 6–9 %, kadmium-telurid 9–11 %, CIS (měď-indium-diselenid) a CIGS (měď-indium-galium-diselenid) dosahují účinnosti kolem 10–12 %.“ [5]

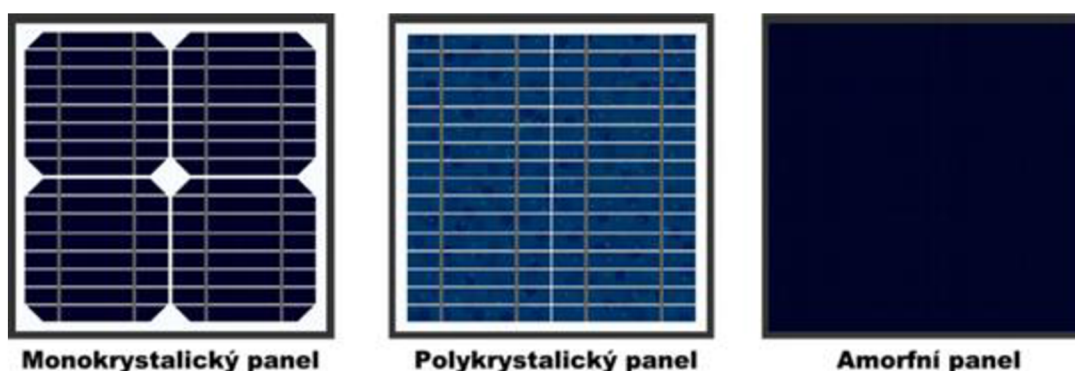
Polykrystalické články

Technologie se oproti amorfním článkům liší, a to metodou výroby tenké vrstvy křemíku. V tomto případě je křemík roztaven a formován do Ingotů, které jsou rozřezány a dále zpracovávány na wafery, následuje difundování PN vrstvami a vytváření kontaktů. Účinnost panelu se běžně pohybuje od 12-18 %. [4,5]

Monokrystalické články

Tyto články se vyrábějí z monokrystalického křemíku. Monokrystalický křemík se získává tzv. Czochralského procesem, kdy je v nádobě umístěn krystal křemíku a za vysokého tlaku a teploty je přidáván další, tím dochází k růstu monokrystalu. Po vytažení z nádoby se dále opracovává, tvaruje a řeže. V tomto procesu je vysoký nárok na čistotu křemíků. Jejich účinnost se pohybuje od 14 do 20 %. [4,5]

Fotovoltaické panely jsou níže (Obr. 2) porovnány dle vzhledu, který panelu dává způsob jeho výroby, konstrukce nosné a krycí vrstvy a konstrukce rámečku.



Obr. 2 - Porovnání vzhledu fotovoltaického modulu [5]

Vývoj fotovoltaických článků jde stále kupředu, v dnešní době se již vyrábějí a testují panely z organických materiálů, téměř průhledné panely, flexibilní panely a další. Neustále dochází k posouvání kvality výroby, zvyšování účinnosti a snižování výrobních nákladů.

3.2 Tepelné čerpadlo – princip, parametry

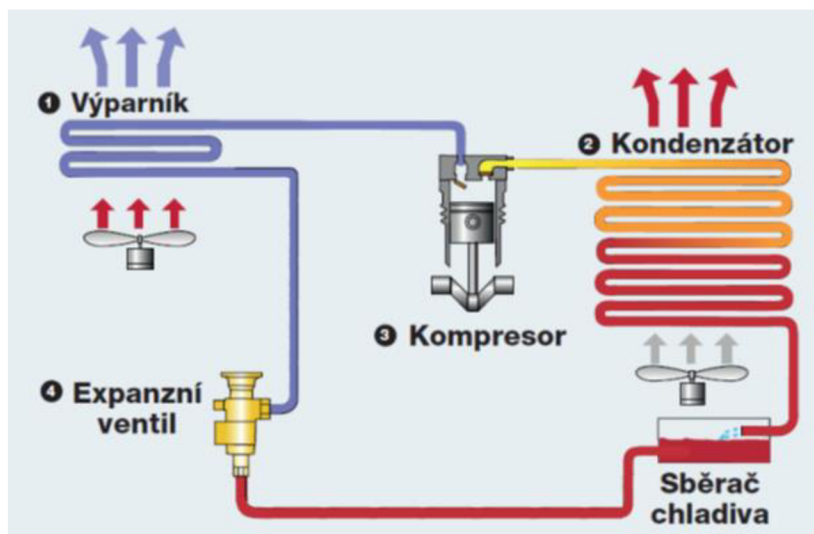
Tepelné čerpadlo je zařízení pro efektivní využití elektrické energie pro přenos energie z látky, která má nižší teplotu do látky, která má vyšší teplotu. Tento přenos nelze v přírodě realizovat samovolně a je zapotřebí k tomu dodat energii z externího zdroje. Energie, která umožní tento přenos, může být ve formě elektrické energie či plynu. Energie je využita pro pohon elektrického nebo plynového motoru, který pohání kompresor.

V případě sorpčního tepelného čerpadla, které využívá speciální vlastnosti pracovní látky, tato tepelná čerpadla nevyužívají kompresory, ale využívají pohlcení energie vázáním pracovní látky na absorbent či adsorbent. Následně se uvolní energie za pomoci dodané energie z externího zdroje. Tato energie může pocházet z nějakých dalších technologických procesů např. energie z geotermálních vrtů. Pro tento proces lze využít odpadní teplo o vysoké teplotě několik set °C, například spaliny, páru. [6,7]

3.2.1 Součásti a princip tepelného čerpadla s kompresorem

Hlavní součástí je kompresor, expanzní ventil a dva tepelné výměníky nazývané výparník a kondenzátor.

Na (Obr. 3) je vysvětlen princip tepelného čerpadla, v tomto případě se jedná o tepelné čerpadlo vzduch/vzduch. Z toho důvodu je na schématu u výparníku i kondenzátoru zakreslen ventilátor.



Obr. 3 - Schéma tepelného čerpadla [6]

Princip spočívá v odebrání energie z primárního okruhu (země, kapalina, vzduch) ve výparníků, za pomoci látky, která má nízký bod varu (chladiwa). Ve výparníku je za nižšího tlaku odpařeno chladiwo, tím dojde k odebrání tepla nejen tzv. výparného tepla. Může zde nastat při špatném návrhu výparníku ke přehřívání par. Teplo je potřebné pro přeměnu skupenství z kapalného na plynné. Tím dojde k ochlazení prostoru kolem výparníku. Páry jsou poté přiváděny do kompresoru. V kompresoru dochází ke kompresy (stlačení) par a tím se zvyšuje teplota par v kompresoru. V kondenzátoru, který je umístěn za kompresorem, dochází ke kondenzaci, předávání energie z ohřátých par do sekundárního okruhu a tím dochází k uvolnění energie a změně skupenství zpět na kapalné. Po zkondenzování jde chladiwo v kapalné podobě do zásobníku chladiwa. Celý cyklus se kontinuálně opakuje. Běžný teplotní rozdíl na straně chladiwa, tedy mezi vstupem na výparník a vystup chladiwa z výparníku, je 4–6 °C. Dosahované teploty ohřívání vody jsou nad 55 °C. V současné době tepelná čerpadla s vysokou efektivitou ohřevu dosahují v zařízeních pro běžné komerční využití a vytápění objektů teplot 65–70 °C na straně ohřívání média, což už je na hranici mezi nízkoteplotním zdrojem a zdrojem konvenčním.

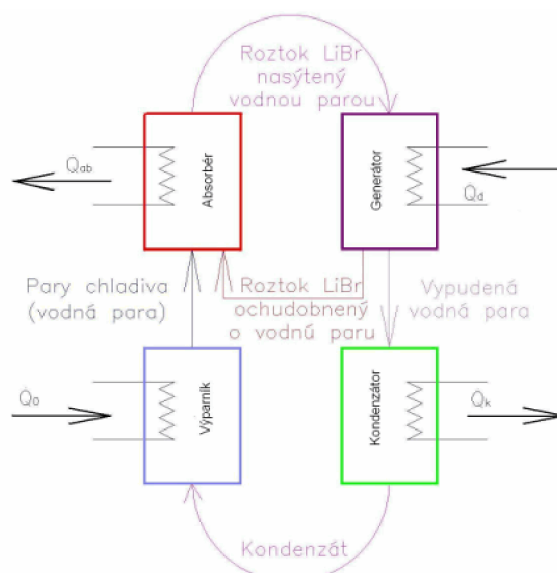
Kompresorová tepelná čerpadla, která jsou nejvíce rozšířená, se dělí dle zdroje a přenosového média. Tedy z jakého prostoru a látky odebírá primární okruh energii a do jaké látky tedy média jí předává. Poté se pro jednoduchost označují tepelná čerpadla vzduchu/voda, voda/voda, země/voda, vzduchu/vzduch. Tato analogie se využívá i v zahraničí, například "W/W" znamená "Wasser/Wasser", což v překladu z němčiny znamená "voda/voda". Princip

kompresorových tepelných čerpadel je stále stejný, liší se konstrukční provedení tepelných výměníků, a to na primárním i sekundárním okruhu. [6,8]

Vzhledem k tomu, že naprostá většina dnes vyráběných TČ jsou kompresorová, nejčastěji se dělí podle zdroje tepla v primárním okruhu tepelného čerpadla. Ve větší míře využívanými zdroji energie jsou venkovní vzduch, geotermální teplo, podzemní voda, povrchová voda a odpadní teplo.

3.2.2 Součásti a princip sorpčního tepelného čerpadla

Sorpční čerpadla zatím nejsou příliš využívána v komerční sféře. Na (Obr. 4) je znázorněno funkční schéma okruhu sorpčního tepelného čerpadla.

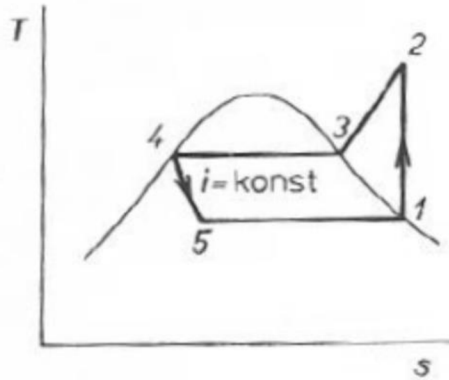


Obr. 4- Schéma sorpčního tepelného čerpadla [7]

„Hnací silou, která mezimolekulární síly mění, je dodávaná tepelná energie. Nejedná se tedy o mechanickou energii na pohon kompresoru, ale o tepelnou energii, která umožňuje cyklický proces navazování pracovní látky při nízké teplotě na absorbent nebo adsorbent a její opětné uvolňování při teplotě vyšší.“ [7]

3.2.3 Výpočet parametrů funkce tepelného čerpadla

Pro potřeby této práce je stěžejní stanovit výkonovou bilanci jednotlivých zdrojů, efektivitu navrženého systému a jeho provozní náklady. Důležitým parametrem je topný faktor, z čehož se stanovuje sezónní topný faktor. Sezónní topný faktor určuje efektivitu výroby tepelné energie pomocí tepelného čerpadla. Funkce kompresorového oběhu popsána na (Obr. 5). [8]



Obr. 5 - Schéma kompresorového oběhu v T-S diagramu [8]

Pro jednotlivé změny platí, dle [8]

1-2: izoentropická komprese

$$q_{1,2} = 0 \quad [\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1}] \quad (3.1)$$

2-3: izobarický odvod tepla

$$q_{2,3} = i_2 - i_3 \quad [\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1}] \quad (3.2)$$

3-4: škrcení

$$i_3 = i_4 \quad [\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1}] \quad (3.3)$$

4-1: izotermicko – izobarický přívod tepla

$$q_{4,1} = i_1 - i_4 = i_1 - i_3 \quad [\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1}] \quad (3.4)$$

Měrná technická práce kompresoru

$$q_{t1,2} = i_2 - i_1 \quad [\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1}] \quad (3.5)$$

Měrné přivedené teplo – z výše uvedených rovnic (3.2 až 3.5)

$$q_{4,1} = i_2 - i_3 = a_{t1,2} + q_{4,1} \quad [\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1}] \quad (3.6)$$

Topný faktor: Je bezrozměrná veličina stanovující podíl výkonu (vyrobené energie) ku příkonu zařízení, tedy přivedenému teplu ku měrné technické práci kompresoru tepelného čerpadla. Je definovaným vztahem (3.5). [8]

$$\varepsilon_t = \frac{q_{2,3}}{a_{t1,2}} \quad [-] \quad (3.5)$$

3.3 Akumulace elektrické energie

Akumulace elektrické energie v její nezměněné formě je její krátkodobé (v rámci hodin) a střednědobé (v rámci dnů) uchování v bateriovém systému a její využití v době, kdy již fotovoltaická elektrárna nevyrábí elektřinu. Je důležité si uvědomit, že fotovoltaické panely vyrábí stejnosměrný proud, který je pro využití běžnými přístroji nutné transformovat na střídavý. K tomu slouží střídač, který může být také různé konstrukce, umožňovat odlišné způsoby nakládání s elektřinou. Hlavní rozdíly jsou v počtu fází – jednofázový, třífázový, a ve způsobu řízení napětí na jednotlivých fázích – symetrický a asymetrický. Asymetrický umožňuje rozdílné proudy na jednotlivých fázích, dle odběru. [2,9]

Mechanické systémy – potenciální energie

Elektrickou energii je také možné uchovávat v přeměněném stavu, a to například v energii potenciální, kdy využijeme vyrobenou elektrickou energii k vykonání práce, kterou je možné později pomocí generátorů přeměnit zpět na energii elektrickou. Tento proces samozřejmě má ztráty vlivem převodu, účinnosti použitých motorů, generátoru, čerpadel, turbín a podobných zařízení pro přeměnu energie. Tyto metody uchování elektrické energie vyžadují speciální konstrukční řešení se specifickými technickými a prostorovými nároky. [1,5]

V rodinných domech je řešena akumulace elektrické energie v zásadě dvěma způsoby a to přímo, pomocí bateriových systémů různých provedení, kdy se liší hlavně princip a složení baterie jako takové. Další variantou je přeměna elektrické energie na energii tepelnou, pro využití v systému vytápění a ohřevu teplé vody. [11]

Doba zálohování pomocí bateriového systému je závislá na kapacitě bateriového úložiště, účinnosti střídače, účinnosti rozvodů a velikosti odběru elektrické energie. [11]

Virtuální baterie

Je termín používaný pro možnost využití sítě jako úložiště pro přebytečnou energii z obnovitelných zdrojů, jako jsou solární panely. Tímto způsobem lze tuto energii využít později, například v noci nebo v době nízké produkce solární energie. Avšak, aby toto bylo možné, je potřeba uzavřít smlouvu s dodavatelem energie, a tyto podmínky se mohou lišit. Virtuální baterie nemohou nahradit fyzické baterie v případě výpadku elektřiny, protože závisí na funkčnosti sítě. [11]

Fyzické bateriové systémy

Fyzická záložní baterie je úložištěm energie umístěným v domě. Vyrobená solární energie se do ní ukládá a přebytek může být k dispozici kdykoli. Ovšem, kapacita baterie je omezená. Existují dva hlavní typy fyzických úložišť energie: olovené baterie a lithiové baterie. Olovené baterie jsou některými považovány za zastaralé, ale jiní tvrdí, že jsou prověřené dlouhodobým používáním. Lithiové baterie jsou menší a lehčí, avšak jsou dražší kvůli složitému složení. Existuje několik druhů lithiových baterií, zahrnující LMO (lithium-mangan oxid), NMC (lithium-nikl-mangan-kobalt), NCA (lithium-nikl-kobalt-hliník oxid) a LFP (lithium-železo-fosfát). Z těchto typů jsou momentálně nejvíce používané právě baterie typu LFP. Lithiové baterie jsou navíc šetrnější k životnímu prostředí a většina aplikací je v současnosti preferuje. [11,1]

Lithiové baterie jsou složeny z elektrod a elektrolytu. Tyto elektrody jsou vytvořeny z lithia a dalších kovů jako jsou mangan, nikl, kobalt nebo železo a jsou uloženy v elektrolytu z organických rozpouštědel. Existuje několik druhů lithiových baterií, zahrnující LMO (lithium-mangan-oxid), NMC (lithium-nikl-mangan-kobalt), NCA (lithium-nikl-kobalt-hliník oxid) a LFP (lithium-železo-fosfát). Z těchto typů jsou momentálně nejvíce používané právě baterie typu LFP. [11,1]

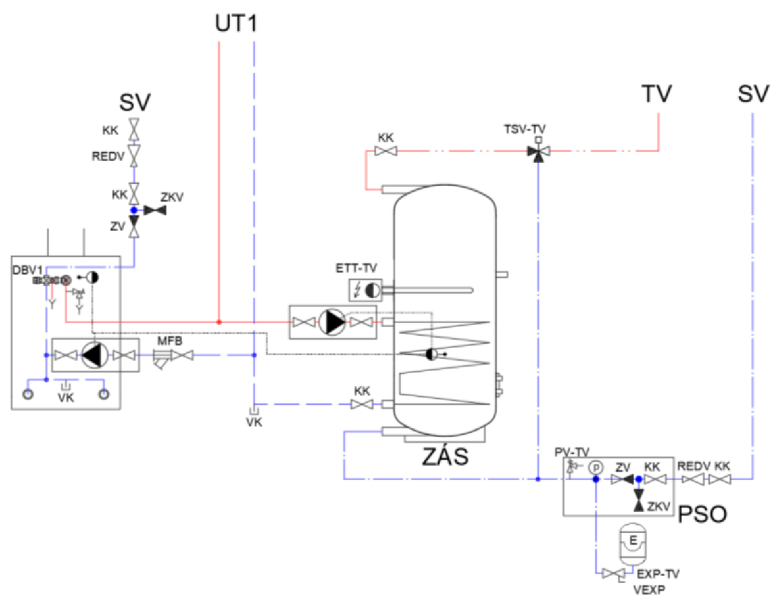
3.4 Akumulace tepelné energie

Akumulace tepelné energie je v určitém základním principu podobná akumulaci energii elektrické. V objektu je nutné mít „baterii“ tedy akumulaci nádobu, která pojme tepelnou energii a uchovává jí v sobě.

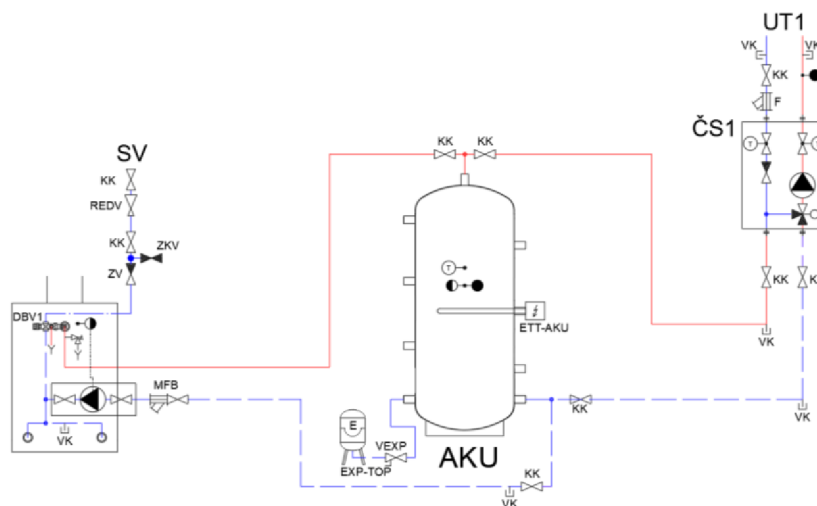
Na způsobu výroby elektrické energie a přenosu od zdroje do akumulaci nádobu záleží konstrukční provedení zásobníku/akumulaci nádobu. [12,13]

Zdroje, které využívají objem kapaliny soustavy.

Tyto zdroje jsou běžně využívány v rodinných domech pro vytápění i ohřev teplé vody. Předávají do soustavy tepelnou energii vyprodukovanou hořením, využití elektřiny a dalšími zdroji. Přenosným médiem bývá odkysličená otopná voda, v systémech, kde hrozí zamrznutí se používá nemrznoucí směs. Z toho vyplývá, že při ohřevu do akumulaci nádobu se systém obejde bez výměníku na straně akumulaci nádobu a je možné ho napojit napřímo potrubím. Pokud je tímto způsobem ohříván zásobník s teplou vodou, je nutné zde mít výměník, aby nedošlo ke kontaminaci pitné vody. Na (Obr. 6) vidíme příklad zapojení kotle na tuhá paliva do zásobníku na teplou vodu, na (Obr. 7) vidíme zapojení do akumulaci nádobu.



Obr. 6 - Schéma zapojení kotle a zásobníku teplé vody [Vytvořeno autorem]



Obr. 7 - Schéma zapojení kotle a akumulární nádoby [Vytvořeno autorem]

Využití zemského masivu pro přechodné uložení energie

Další variantou akumulace tepelné energie je nahřívání „nabíjení“ zemního masivu.

Pro základní popis fungování si zjednodušíme příklad. Představme si akumulární kamna, ve kterých zatopíme, kamna se nahřejí a po vyhasnutí kamen kamna stále uvolňují naakumulované teplo do okolí. Pokud bychom byli schopni využít k tomuto účelu zemní masiv, měli bychom možnost zde předat velké množství energie, která by do jisté míry byla zachycena a bylo by jí možné později využít. K nahřátí můžeme využít energii vyrobenou jakýmkoliv způsobem. Vhodné je pro ohřev využívat energii vyrobenou levně a ukládat jí v době, kdy je jí přebytek, předešli bychom tomu, abychom museli řešit další způsoby, jak s touto přebytečnou energií naložit. [13]

„Mělký zemský povrch lze považovat za obrovská akumulární kamna, které je možné zahřívát elektrickými prvky, když je elektrina levná.“ [13, přeloženo]

„Většina hornin je na silikátové bázi a stejně jako cihly mají obrovský potenciál skladování tepla. Jejich tepelná vodivost je relativně malá: není tak vysoká, aby se akumulované teplo rozptýlilo okamžitě, ale ne tak nízká, abychom vložené teplo nemohli získat zpět ze země pomocí dobře navržených výměníků tepla (typicky instalované vertikálně ve vrtech nebo horizontálně ve výkopech).“ [13, přeloženo]

Schopnost zeminy akumulovat teplo závisí na jejím geologickém složení a aktivitě spodních vod. Základní představu o fyzikálních vlastnostech přírodních materiálů získáme z (Obr. 8).

	Thermal conductivity ($W m^{-1} K^{-1}$)	Volumetric heat capacity ($MJ m^{-3} K^{-1}$)
Rocks		
Coal	0.3	1.8
Limestone	1.5–3.0 (2.8, massive limestone)	1.9–2.4 (2.3)
Shale	1.5–3.5 (2.1)	2.3
Basalt	1.3–2.3 (1.7)	2.4–2.6
Diorite	1.7–3.0 (2.6)	2.9–3.3
Sandstone	2.0–6.5 (2.3)	2.0–2.1
Gneiss	2.5–4.5 (2.9)	2.1–2.6 (2.1)
Arkose	2.3–3.7 (2.9)	2.0
Granite	3.0–4.0 (3.4)	1.6–3.1 (2.4)
Quartzite	5.5–7.5 (6.0)	1.9–2.7 (2.1)
Minerals		
Plagioclase	1.5–2.3	1.64–2.21
Mica	2.0–2.3	2.2–2.3
K-feldspar	2.3–2.5	1.6–1.8
Olivine	3.1–5.1	2.0–3.6
Quartz	7.7–7.8	1.9–2.0
Calcite	3.4–3.6	2.24
Pyrite	19.2–23.2	2.58
Galena	2.3–2.8	1.59
Haematite	11.3–12.4	3.19
Diamond	545	–
Halite	5.9–6.5	1.98
Other		
Air	0.024	1.29×10^{-3} at 1 atm
Glass	0.8–1.3	1.6–1.9
Concrete	0.8–1.7 (1.6)	1.8
Ice	1.7–2.0 (2.2)	1.9
Water	0.6	4.18
Copper	390	3.5
Freon-12 ^a at 7°C (liquid)	0.073	1.3
Oak	0.1–0.4	1.4
Polypropene	0.17–0.20	1.7
Expanded polystyrene	0.035	–

Obr. 8 - Tepelná vodivost a objemová tepelná kapacita některých materiálů [13]

Na základě tepelné vodivosti a tepelné kapacity vybraných hornin stanovujeme další parametr: specifickou tepelnou kapacitu. Vlastnost popisující akumulaci tepla.

„Schopnost média (pevné látky, kapaliny nebo plynu) akumulovat teplo je jeho specifická tepelná kapacita (S_c). Toto je množství tepla zachyceného v médiu pro každý stupeň Kelvina, tedy při růstu či poklesu teploty. Měří se v joulech na Kelvin na kilogram ($J \cdot K^{-1} kg^{-1}$). Specifická tepelná kapacita vody je zvláště vysoká kolem $4180 J \cdot K^{-1} kg^{-1}$ při teplotě kolem $20^\circ C$; u většiny pevných hornin je kolem $800 J \cdot K^{-1} kg^{-1}$ (Obr. 8). To znamená, že pokud se hmota (m), 1 kg horniny ochladí (o množství $\Delta \theta$) z 13 na $11^\circ C$, dojde ke ztrátě tepla o úměrné poklesu teploty o 2 stupně Kelvina, tedy $1600 J$.“ [13, přeloženo]

Sdělené teplo je definováno jako [13]

$$Q = m * S_c * \Delta\theta \quad [\text{J}] \quad (3.6)$$

Můžeme stanovit měrnou tepelnou kapacitu v joulech na stupeň Kelvina na jednotku objemu. To se nazývá objemová tepelná kapacita (S_{vc}). [13]

$$S_{vc} = \rho * S_c \quad [\text{J.K}^{-1} \text{ m}^{-3}] \quad (3.6)$$

Objemová tepelná kapacita udává, jakou tepelnou kapacitu má m^3 daného materiálu.

„Přičemž většina hornin a nasycených sedimentů má hodnoty S_{vc} v rozmezí 1,9 – 2,5 MJ.K⁻¹ m⁻³. Z každého krychlového metru horniny tedy můžeme uvolnit až 10 MJ energie, a to snížením její teploty o pouhé 4 K. A naopak, stejné množství energie musíme vrátit zpět do krychlového metru horniny, abychom zvýšili její teplotu o 4 K.“ [13, přeloženo]

Pro porovnání převod z Joule na Wh, 1MJ = 0.2777777778 kWh.

3.5 Využití vyrobené elektrické energie

Využití elektrické energie v domě je velmi různorodé, provoz elektrických spotřebičů, jako je například lednice a veškerá další elektrická zařízení. Možnosti jejich napojení na malou fotovoltaickou elektrárnu jsou dané především jejím konceptem, kapacitou bateriového úložiště a způsobem regulace aktuální spotřeby. [11]

Elektrické topné těleso

Z našeho hlediska je důležité využití vyrobené elektrické energie pro vytápění, případně chlazení a ohřev teplé vody. Nejjednodušším využitím elektrické energie v bateriích, či přímou spotřebu z aktuální výroby, je přeměna elektrické energie na tepelnou v elektrické topné tyči, případně v elektrokotli. Rozdíl je zde v konstrukci ohřívacího zařízení, nikoliv v principu funkce. [10,13]

Tepelné čerpadlo

Další variantou využití elektrické energie je provoz tepelného čerpadla, kde dosahujeme úspory oproti ohřevu pomocí elektrické topné tyče. Tato úspora je vyjádřena topným faktorem tepelného čerpadla dle rovnice (3.5).

Akumulace v podobě tepelné energie

Pro případy, když je akumulační systém používaný v objektu na své maximální kapacitě, je možné využívat i speciální, tedy méně obvyklé způsoby akumulace elektrické energie, a to v přeměněné podobě, na energii tepelnou. Je možné pak přebytek energie uložit například do zemního masivu. Nebo velké uměle vytvořené akumulační nádoby, kde může být voda, vosk, olej, písek a další látky. K tomu dochází hlavně v letním období, kdy zisky z malé fotovoltaické elektrárny převyšují spotřebu el. energie v objektu. Je tímto způsobem možné přes období slunečních dnů ukládat vyrobenou energii v podobě tepelné energie získané tepelným čerpadlem do zemního masivu. V zimním období je možné využít tuto uloženou energii pro primární okruh tepelného čerpadla, čímž by se mohl významně zvýšit topný faktor. Zároveň toto řešení zabrání vychlazování zemního kolektoru, či vrtu a zajistí jeho regeneraci pro další otopné období. [13,14]

Množství energie potřebné k ohřevu akumulační nádoby či zásobníku na teplou vodu je možné jednoduše stanovit pomocí rovnice (3.6).

3.6 Tepelná bilance

„1. července 2007 byla vydána ve sbírce zákonů ČR vyhláška 148/2007 Sb., která nahrazuje vyhlášku 291/2001 Sb. a která je prováděcí vyhláškou k §6a zákona 406/2000 Sb. O hospodaření energií v pozdějším znění. Článek v následujících kapitolách postihuje postup výpočtu, který uvádí vyhláška 148/2007 Sb.“ [15]

„Základním hodnotícím ukazatelem hodnocení ENB je, podle požadavků Směrnice 2002/91/EC EPBD, celková roční dodaná energie, která je chápána jako množství energie dodané do budovy, vč. energie vyrobené v budově obnovitelnými zdroji energie a spotřebované v budově, viz obr. 2. Celková dodaná energie představuje spotřebu energie pro vytápění, chlazení, vzduchotechniku, přípravu teplé vody, osvětlení a provoz zařízení zajišťující provoz jednotlivých systémů, tzn. jde o souhrn energetických spotřeb vč. účinností technických zařízení a ztrát při transportu a potřeby energie na provoz zařízení. Výpočetní metodika ENB představuje bilanční hodnocení budovy, což je výpočet energií po jednotlivých časových úsecích ročního provozu (měsíc, den, hodina) a jejich porovnání s referenční budovou. Referenční budova představuje budovu, která určuje výslednou kategorizaci.“ [15]

V České republice se hodnotí budovy podle vyhlášky 148/2007 Sb. Pomocí výpočtu energetické bilance objektu, které stanoví energetickou náročnost budovy vypočítáním celkové dodané energie z návrhových veličin. Toto hodnocení umožňuje srovnání různých budov se stejnými okrajovými podmínkami. Porovnání se provádí mezi dosaženými údaji a referenčními hodnotami, z nichž měrná potřeba tepla na vytápění (v kWh/m²) je nejčastěji používanou hodnotou pro vyjádření energetické účinnosti budov a jejich zařídění (nízkoenergetický standard, pasivní standard apod.).

Základní výpočet definující tepelnou bilanci objektu a výkonovou bilanci zdrojů vychází z vzorců (3.7 až 3.10) dle [15].

$$Q_{fuel} = \sum Q_{gen} \quad [\text{MJ/rok}] \quad (3.7)$$

$$Q_{gen} = (Q_{distr} * F_{gen}) / \eta_{gen} \quad [\text{MJ/rok}] \quad (3.8)$$

$$Q_{distr} = (\sum Q_{em,z} + \sum Q_{AHU} - Q_{SE}) / \eta_{distr} \quad [\text{MJ/rok}] \quad (3.9)$$

$$Q_{em,z} = Q_{dem,z} / \eta_{em,z} \quad [\text{MJ/rok}] \quad (3.10)$$

4 VÝSLEDKY

V této části diplomové bude řešen systém a efektivita nakládání s energií v řešeném objektu. Dále bude vysvětlen princip funkce provozovaného řešení. Bude provedeno zpracování naměřených dat, vyhodnocení energetické náročnosti budovy a ekonomické posouzení provozu.

4.1 Stručný popis objektu

Jedná se o stavbu dokončenou v roce 2017 sloužící jako rodinný dům v okrese Chrudim. Objekt má dvě nadzemní podlaží – 1.NP a 2.NP. V objektu je řešena příprava teplé vody celkem pro 4 osoby. Celková spotřeba teplé vody v objektu za den činí 160 l (v souladu s metodikou TNI 730302). Celková tepelná ztráta objektu určená dle ČSN EN 12831 činí 4,5 kW. V době měření bylo instalováno speciální tepelné čerpadlo využívající zemní kolektor, dále vzduchový chladič a bivalentní zdroj energie v podobě elektrického tělesa integrovaného v kombinované akumulaciční nádrži HSK 1000 PV o výkonu 9 kW. Dále je zde umístěna Akumulační nádoba Regulus PS 300, její využití bude vysvětleno dále. Instalovaná jednofázová fotovoltaická elektrárna má špičkový výkon 6,24 kWp. V rámci kombinované akumulaciční nádrže je řešena i příprava teplé vody průtokovým způsobem. Otopná soustava v objektu je tvořena podlahovým systémem vytápění a trubkovými tělesy navrženými do obou koupelen. Na (Obr. 9) vidíme aktuální vzhled objektu.



Obr. 9 - Pohled na objekt [Poskytnuto majitelem objektu]

4.2 Popis použitých zařízení

Výběr použitých zařízení byl podřízen možnostmi nastavení provozních parametrů systému pro možnost optimalizace v rámci výzkumného účelu.

4.2.1 Instalovaná fotovoltaická elektrárna

Celkový instalovaný výkon by měl být 6,24 kW – ve 24 panelech

Panely: C SUN 260 - 60 P. Udávaná účinnost panelu 16,01 % nejvyšší výstupní výkon 260 W.

Střídač: Fronius IG PLUS 150 V-3. Účinnost střídače je 96,1 %, jmenovitý výkon 12 600 W jedno fázové připojení.

4.2.2 Instalované tepelné čerpadlo

Speciální tepelné čerpadlo s možností funkce země/voda, či vzduchu/voda.

4.2.3 Instalovaná akumulční nádoba

Kombinovaná akumulční nádoba Regulus HSK 1000 PV – Objem 922 l

Akumulční nádoba PS 300 – objem 280 l

4.2.4 Používaná měřicí a regulační technika

Měření teploty: jsou použita čidla teploty PT 100 a PT 1000–v různých provedení, a to do jímky či příložené, dle potřeb měření. Čidla teploty jsou umístěna v nádrži, v otopných zónách i v zemních sondách.

Měření průtoku: Průtokoměry Siemens pro stanovení energetického toku – SITRANS FM MAG 5000 – Přesnost měření 0.4 % ± 1 mm/s

Měření napětí a proudu: je použito zařízení C-EM-0401M-P035 – o parametrech: CIB rychlý elektroměr 35 A, napájení 230 V AC/DC, 4x U, 4x I, 4x průvlekový transformátor JP5W – stanovuje velikost přebytků z fotovoltaické elektrárny a na základě informací o měření regulátor IR 30 řídí SSR relé nebo spouští invertorové tepelné čerpadlo.

Regulace otopného systému a navazujících funkcí: je použit inteligentní regulátor IR 30, pro který byl naprogramován software speciálně na požadavky této instalace. Software zahrnuje zpracování dat a řízení prvků v tomto rozsahu: přes 30 čidel teploty, 8 průtokoměrů,

hodnoty proudu a napětí na jednotlivých fázích, a řídicí signály veškerých ventilů a oběhových čerpadel, včetně řízení tepelného čerpadla.

4.3 Princip a zapojení systému

Pro vysvětlení principu funkce je nutné se seznámit s variantami funkce a principy jednotlivých komponent.

Akumulace energie do kombinované akumulární nádoby

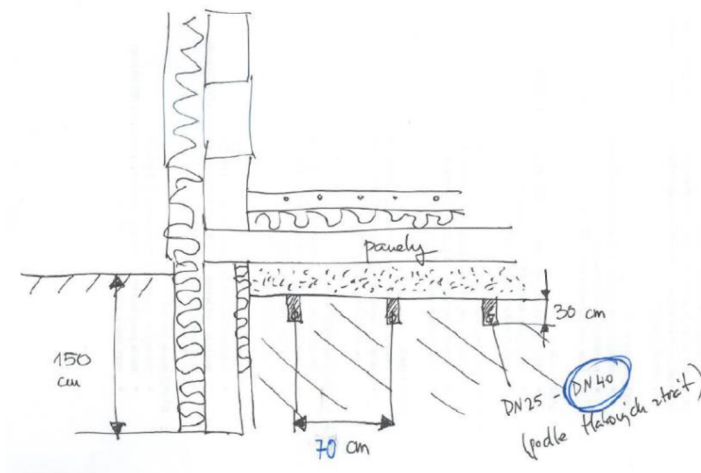
Pro akumulaci energie slouží akumulární nádoba HSK 1000 PV, která umožňuje v podstatě průtokový ohřev teplé vody. Objem nádoby je vody 922 l. Tato nádrž tedy akumuluje tepelnou energii, přibližně 76 kWh, při ohřevu z 10 ° na 80 °C a tepelné kapacitě vody 4186 KJ/kg K, dle vzorce (3.6). K této situaci ovšem dojde pouze při prvotním spuštění, poté již není ohřívána voda z 10 °C, akumulovaná energie se tedy sníží.

Akumulace energie do akumulární nádoby PS

Tato nádrž je v objektu pro vyrovnávání energetických toků v případě využití zemní smyčky.

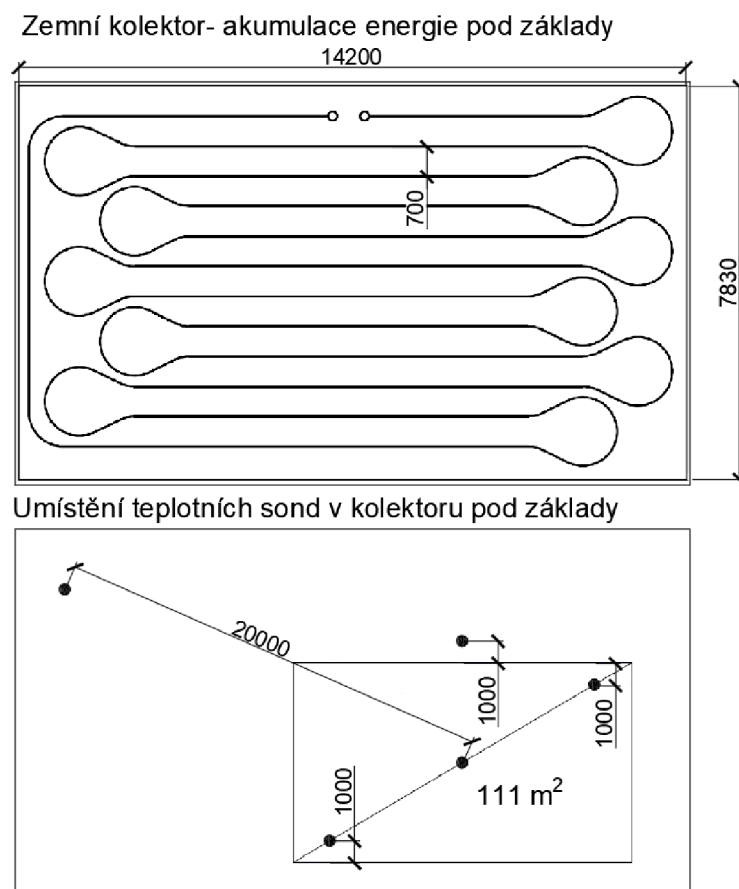
Akumulace energie do zemního masivu

Systém je určen pro akumulaci tepelné energie do podlahy objektu, pro tento účel je vybudován zemní kolektor „trubkový výměník“ uložený pod objektem dle (Obr. 10). s teplotními sondami v různých hloubkách rozvržení dle (Obr. 11).



Obr. 10 - Uložení zemního kolektoru [Poskytnuto majitelem objektu]

Aby bylo možné sledovat změnu teploty v podloží a z toho zjišťovat a analyzovat v rámci výzkumu sezonní průběhy teplot, je do návrhu zemního kolektoru umístěno 5 ks teplotních sond s osazenými čidly v definovaném rozvržení (Obr. 11).



Obr. 11- Rozvržení čidel v zemním kolektoru [Poskytnuto majitelem objektu]

Teplotní sondy jsou umístěny pod objektem, čidla jsou umístěny po 1 m do hloubky 5 m. Je umístěno 5 čidel v každé sondě, sondy jsou rozmístěné takto (Obr. 12).

1 – uprostřed výměníku, ve středu dispozice obytné části domu

2–v rohu (cca 1 x 1 m od stěn)

3–v rohu naproti od 2 (cca 1 x 1 m od stěn)

4–vně budovy, 1 m o stěny

5 – daleko od budovy a jiných ovlivňujících prvků 20 m od budovy

Sonda je vybavena 5 čidly teploty a je vytvořena z plastové lišty ve které vedou kabely, čidla jsou odporová (Obr. 12).



Obr. 12 – Vertikální teplotní sonda v kolektoru pod základy [Poskytnuto majitelem objektu]

Jsou k dispozici průběhy teplot ze 4 sond umístěných vertikálně pod objektem. Průběh teplot je ovlivňován ukládáním energie do zemního masivu. Pátá sonda je umístěna 20 m od objektu a slouží k porovnání a posuzování vlivu ohřívání zeminy pod objektem na okolní prostředí.

Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo umožňuje přeměnu vyrobené elektrické energie na energii tepelnou s efektem tepelného čerpadla definovaným topným faktorem. Tím se snižují náklady na vytápění a ohřev teplé vody. Tuto energii je možné akumulovat do akumulární nádoby nebo jí pomocí přečerpávání ukládat do zemního masivu.

Elektrická topné těleso

Jednoduché zařízení, které pomocí odporového topného tělesa převádí elektrickou energii na tepelnou a umožňuje tedy následné využití a akumulaci tepla.

Princip systému jako celku

Pro vysvětlení funkce systému jako celku nám poslouží hydraulické schéma zapojení (Příloha č. 1).

Je možné vyrobenou elektrickou energii z fotovoltaické elektrárny ukládat do akumulárních nádob, čímž je zabezpečen i ohřev teplé vody pomocí tepelného čerpadla nebo elektrické topné tyče. Dále je možné využít ji na přímou spotřebu elektrické energie, která se mění dle zapnutých spotřebičů v objektu. Akumulační nádoby jsou obě vybaveny jednou topnou tyčí napojenou fotovoltaickou elektrárnou a jednou topnou tyčí napojenou na rozvodnou síť. V systému je zakomponována ještě jedna zemní smyčka umístěna mimo objekt jako záloha pro primární okruh. Z hlediska technické náročnosti je nejsložitější tepelnou energii ukládat ve větším množství a po delší dobu. To by mělo být v tomto systému umožněno uložením do zemního masivu. Samozřejmě je otázkou, do jaké míry je takto složitý systém v rodinném dome efektivní a zda se jeho provoz z dlouhodobého hlediska vůbec vyplatí.

4.4 Naměřená data

Inteligentní regulátor zaznamenává nepřetržitě data. Celkově se jedná o 151 hodnot z čidel, či provozních parametrů. Hlavní data budou analyzována z období od prosince 2017 do listopadu 2019. Což jsou data za 25 měsíců provozu. V rámci optimalizace a nastavování jednotlivých parametrů provozu jsou některá data ovlivněna zásahy do systému zvenčí. Tyto odchylky budou z vyhodnocení vyškrtuty, pokud budou odhaleny. Za jeden den je

k dispozici až 86 40 hodnot z jednoho čidla, zaznamenávány jsou každých 10 vteřin. Pro představu za jeden měsíc je poté přes 260 000 zápisů u každého ze 151 sledovaných parametrů. Výstup dat z regulátoru je ve formátu csv.

Zpracovat takové množství dat vyžaduje databázový přístup. Z toho důvodu není zpracovávání dat možné provést běžně dostupným programem Excel, jelikož neumožňuje tolik dat do souboru nahrát. Proto bude využita kombinace dvou programů a to Grafana – což je volně přístupný software s přístupem pomocí webového prohlížeče. Program Grafana umožňuje analýzu a interaktivní vizualizaci velkého množství dat. Druhým programem je program InfluxDB, což je open-source databáze vázaná na čas a vyvinutá společností InfluxData. Je naprogramována v jazyce Go pro ukládání a získávání dat časových řad v oblastech, jako jsou monitorovací operace, aplikační metriky, data ze senzorů internetu věcí. Je ideální pro analyzování dat v reálném čase a základní zobrazení naměřených dat.

Pro zobrazení dat a tvorbu grafů z naměřených hodnot bude využita již zmíněná webová aplikace Grafana, která má širší možnosti nastavení vzhledu a rozsahu dat v grafu. Z aplikace InfluxDB aplikace Grafana v reálném čase čerpá data a dle nastavených požadavků je vyhodnocuje a zobrazuje. Další navazujícím řešením, které se nabízí, je možná implementace do systému a vyhodnocování dat ze systému v reálném čase. Zmíněné programy pouze přistupují k datům a svým způsobem je zpracovávají, ale nemají vlastní výpočetní kapacity. Data jako taková musí být neustále online a je nutné mít vhodně zvolený server s dostatečnou operační pamětí a dostatečnou rychlostí zpracování dat. Z toho důvodu bude tento výpočetní prostor pronajat u poskytovatele. Na pronajatém serveru budou probíhat výpočetní operace a další úlohy spojené se zpracováním a zobrazením dat.

Zpracování naměřených dat

Způsob zpracování dat je v této práci hlavní faktor, který ovlivňuje výsledky. Naměřená data bohužel nemají přiřazený jednotný parametr, který by je definoval a pomohl v analýze s následným filtrováním dat. Pro tento účel je napsán program v programovacím jazyce Python v programu Pandas, který surové názvy jednotlivých čidel převede na názvy s definovanou jednotkou a typem.

Ukázka surových dat před jakýmkoliv zpracováním, zobrazeno v textovém editoru, data mají formát csv. což je textový zápis, kdy jsou údaje oddělené oddělovačem, v tomto případě středníkem (Obr. 13).

```
Datum;Prutok_cirkulace_TV;prutok_TC;prutok primar TC;prutok 1  
pr. TC;otv. exp.ventilu TC;tepl. kond. TC;tepl. vypar. TC;sta  
e zemni zasobnik;energie zemni smycka;el.pata odber L1;el.pat  
2017-07-24 23:49:25;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;4.0;26.02;24.  
2017-07-24 23:49:35;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;4.0;26.04;24.  
2017-07-24 23:49:45;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;4.0;26.04;24.  
2017-07-24 23:49:55;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;4.0;26.04;24.  
2017-07-24 23:50:04;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;4.0;26.03;24.  
2017-07-24 23:50:14;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;4.0;26.02;24.  
2017-07-24 23:50:24;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;4.0;26.02;24.  
2017-07-24 23:50:34;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;4.0;26.02;24.  
2017-07-24 23:50:44;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;4.0;26.02;24.
```

Obr. 13 - Zápis surových dat [Vytvořeno autorem]

Výsledná podoba všech měřených veličin po převodu formátu zápisu pro jednodušší třídění v databázi je uvedena v (Příloha 2).

Data budou zpracována pomocí Pandas, což je velmi výkonná knihovna pro zpracování dat, která dokáže rychle a efektivně načíst a zpracovat velké objemy dat. Je také schopna provádět mnoho pokročilých operací s daty, jako je spojování, agregace, transformace a vizualizace.

Python programovací jazyk je také velmi intuitivní a snadno se učí, což ho činí ideální volbou pro začátečníky v programování. Kromě toho má Python velkou komunitu a širokou škálu knihoven, které usnadňují zpracování dat a práci s databázemi, jako je InfluxDB. To umožňuje efektivní a snadné řešení problémů s velkými objemy dat pro uživatele. Bez nutnosti být expertem v programování nebo zpracování dat.

Při zpracování dat byl zjištěn na problém s OOM killerem, což znamená, že Python proces v aplikaci Pandas byl ukončen kvůli nedostatku paměti. To může být obzvláště problematické při zpracování velkých objemů dat, jako v tomto případě. Pro řešení tohoto problému byla provedena optimalizace paměti, aby bylo zabráněno překročení limitu paměti. Řešení zahrnovalo optimalizaci, konkrétně použití paměťově úsporných struktur dat, zvýšení dostupné výpočetní kapacity paměti, přiřazení většího úložiště v prostředí, kde byl proces spuštěn. Bylo důležité věnovat pozornost této problematice při zpracování velkých objemů dat, aby bylo možné dosáhnout úspěšného výsledku bez nežádoucích operací či přerušení

procesu. Tyto faktory mohou při zpracování exponenciálně prodlužovat dobu zpracování dat, v krajním případě proces nebude nikdy úspěšně dokončen.

Vyhodnocení dat je nutné dělat pomocí mezi operačních výpočtů (průměry, maxima, minima, rozptyl atd.). Z důvodu obrovského množství naměřených dat není možné graficky vyhodnocovat surová data, hodnotu po hodnotě a takto je zapisovat do grafu. Používaný program umožňuje práci se třemi tisíci body na jedné křivce.

Zápis naměřené hodnoty v programu Grafana, vytažené z databáze InfluxDB, po úpravě zápisu, je zobrazen na (Obr. 14)

Time	hodnota {jednotka="W", sensor="odecet_vykon"}
2017-10-01 14:00:00	1.82 kW
2017-10-02 02:00:00	4.52 kW
2017-10-02 14:00:00	1.10 kW

Obr. 14 - Zápis dat v aplikaci Grafana [Vytvořeno autorem]

Na (Obr. 14) názorně vidíme, že je měření z jednoho dne zprůměrováno na dva zápisy po 12 hodinách.

Základní kód, který je v používaném uživatelském rozhraní aplikace Grafana, jedná se o příklad syntaxe InfluxDB (Obr. 15).

```
from(bucket: "diplomka")
  |> range(start: 2017-09-14T23:00:00Z, stop: 2019-11-15T07:59:59Z)
  |> filter(fn: (r) => r["_measurement"] == "vykon-fve")
  |> aggregateWindow(every: 12h0m0s, fn: mean, createEmpty: false)
  |> yield(name: "mean")
```

Obr. 15 - Zápis kódu v programu Grafana [Vytvořeno autorem]

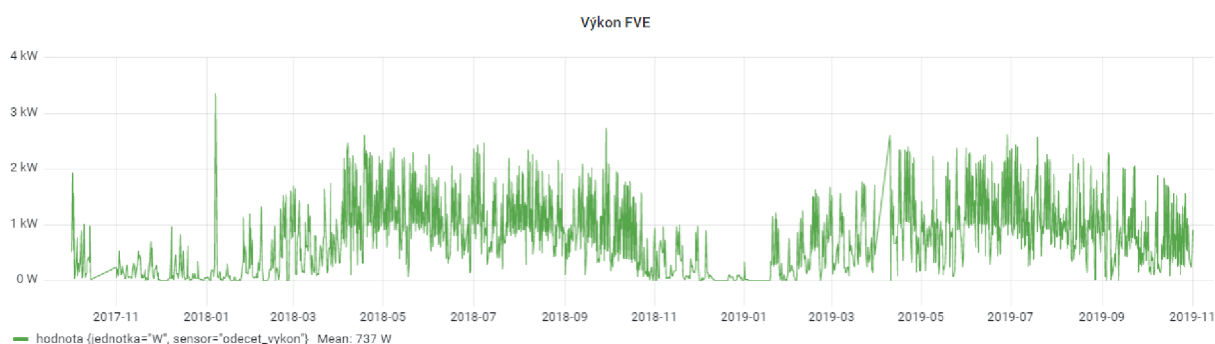
4.5 Vyhodnocení naměřených dat

Vizualizace analýzy naměřených dat bude převážně ve formě grafického zobrazení. Významné hodnoty budou samostatně uvedeny. Dále bude vysvětleno, co grafy a jednotlivé hodnoty vypovídají o funkci systému.

4.5.1 Vyhodnocení výroby fotovoltaické elektrárny

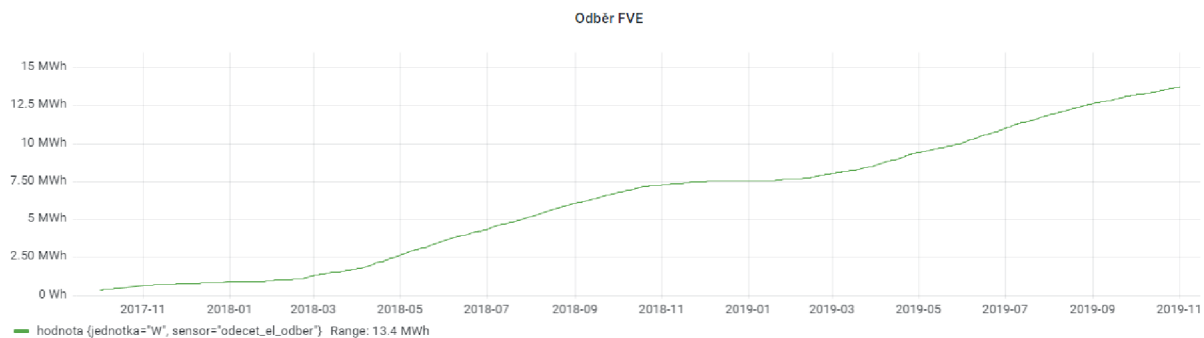
Jsou k dispozici naměřená data z provozu systému od listopadu 2017 do prosince 2019.

Graf průměrného okamžitého výkonu FVE



Graf 1 - Výkon FVE 2017-2019 [Vytvořeno autorem]

Z (Graf 1) víme, že průměrná hodinová výroba FVE byla 737 W v rámci 2 měřených let. Tato hodnota je z hlediska výkonů zkreslena, protože došlo k výpadkům měření a dochází k průměrování výkonu v časovém úseku dne po 12 hodinách. Pokud nebylo měření dostupné, a odečet a zápis hodnoty vybočoval z reálných hodnot, byly vyhodnoceny jako chybná data. Chybná data byla vyškrtnutá, z analýzy a v grafu byly nahrazeny lineární interpolací, přičemž fotovoltaická elektrárna do objektu elektřinu dodávala. O reálné výrobě elektrárny nám dá lepší představu graf celkové výroby (Graf 2).



Graf 2 - Celková výroba FVE 2017-2019 [Vytvořeno autorem]

Výroba elektrické energie v časovém úseku 1.11.2017 až 1.11.2019 byla celkem **13,05 MWh**,

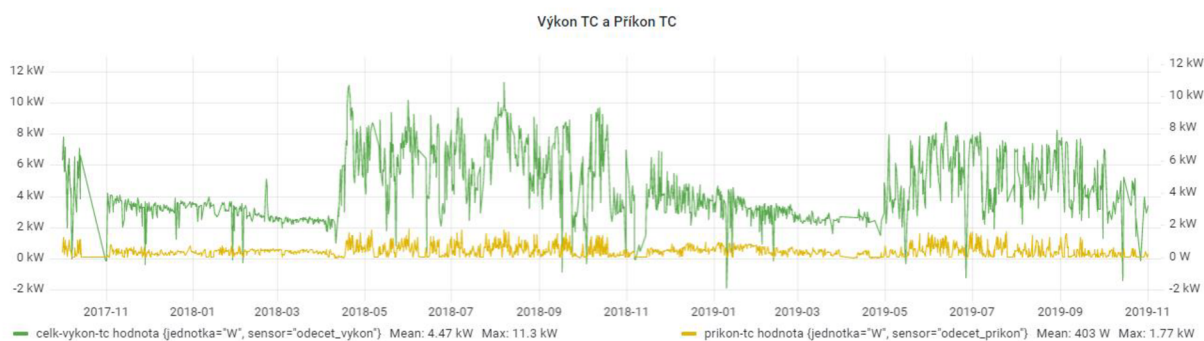
V prvním roku měření 2017-2018 byla výroba elektrické energie 6,42 MWh.

V druhém roku měření 2018-2019 byla výroba elektrické energie 6,43 MWh.

Tato hodnota výroby elektrické energie již odpovídá realitě, protože se jedná o kumulativní dlouhodobé měření, a tak se zde občasné výpadky odečtu okamžitého výkonu neprojeví.

4.5.2 Vyhodnocení funkce tepelného čerpadla.

Tepelné čerpadlo pro svůj provoz spotřebovává elektrickou energii. Poměr mezi výkonem a příkonem je topný faktor, ten popisuje efektivitu provozu (Graf 3).



Graf 3 – Výkon a příkon tepelného čerpadla [Vytvořeno autorem]

Průměrná hodnota výkonu tepelného čerpadla je 4,47 kW, maximální hodnota je 11,3 kW. Průměrný příkon je 403 W a maximální příkon 1,77 kW.

Maximální topný faktor není při maximálním výkonu. Maximálního topného faktoru se dosáhne při optimálních podmínkách provozu. V tomto grafu je patrné, kdy se začíná využívat

funkce akumulace energie do zemního masivu. Dochází k tomu v případě nadbytku vyrobené elektrické energie, která se pomocí tepelného čerpadla, při maximálním využitelném příkonu tepelného čerpadla, přemění na energii tepelnou a poté je zemním kolektorem toto přebytečné teplo předáno do zemního masivu pomocí teplotnosného media. K zapnutí této funkce došlo 2x na přelomu dubna a května. A k zastavení ukládání energie do zemního masivu v listopadu, kdy je vyrobená elektrická energie přímo spotřebována, na vytápění, ohřev teplé vody a spotřebu v domácnosti, bez nutnosti její akumulace.

4.5.3 Vyhodnocení teplot z teplotních sond

13.7.2018 – byl vyměněn modul u čidel sondy 1, po tomto datu již hodnoty z čidla jsou přesnější, díky posílení GND signálu.

Průběh teplot na jednotlivých sondách umístěných pod základy objektu v zemním výměníku je uveden v (Příloha 3).

Z průběhu teplot na 5. sondě mimo ovlivněnou oblast je zřetelné, že se teplota v létě a v zimě liší u povrchu přibližně o 10 °C. Čím je větší hloubka, tím jsou mezi sezonní výkyvy menší a pohybují se v rozmezí 7-12 °C. Vzhledem k relativně krátkému analyzovanému časovému úseku není vyhodnotitelný vliv na okolní zemní masiv. Vzhledem k veliké vzdálenosti od kolektoru pravděpodobně nebude naměřena zvýšená teplota masivu ani z dlouhodobého hlediska.

V případě průběhu teplot na sondách v kolektoru a pod ním je situace poněkud odlišná. Graf začíná na stejných teplotách jako má neovlivněná sonda. Nicméně po započetí ukládání energie je zde znatelný nárůst teploty. Nejvyšší naměřená teplota je na sondě 1, teplota zde dosáhla až 27 °C z původních 7 °C. Teplotní rozdíl je znatelný i na sondě, která je umístěna nejhloub cca ve 3,7 m, měřeno od horní hranice výměníku. V této hloubce bylo naměřeno zvýšení teploty o 3 °C, vzhledem k naměřené teplotě ve stejném období před zprovozněním zemního akumulátoru.

4.5.4 Roční spotřeby neobnovitelné a obnovitelné energie v objektu

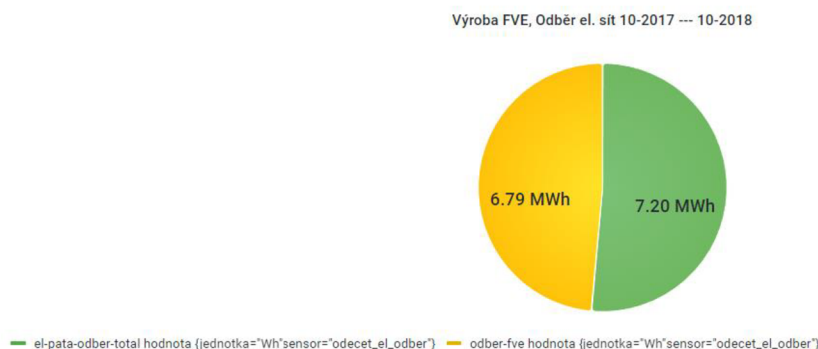
Roční spotřeby neobnovitelné a obnovitelné energie v objektu vypovídají o energetické náročnosti a soběstačnosti objektu.

Na (Tab. 16) – „Snižení hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů energie stanovené pro referenční budovy s téměř nulovou spotřebou energie od 1.1.2022 (dosažené zvýšením využití obnovitelných zdrojů energie nebo zlepšením parametrů stavebních prvků obálky budovy nebo technických systémů budovy.“ [16]

Tab. 1 - Referenční snížení spotřeby budov – NZEB [Vytvořeno autorem]

Měrná potřeba tepla na vytápění referenční budovy $E_{A,R}$ [kWh/(m ² .a)]	Snižování referenční hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů energie $\Delta e_{p,R}$ [%] ¹⁾		
	Pro obytnou zónu ²⁾		Pro jinou než obytnou zónu
	Energeticky vztažná plocha budovy ≤ 120 m ²	Energeticky vztažná plocha budovy > 120 m ²	
≥ 90	50	60	40
80	45	55	
70	40	50	
60	35	45	
50	30	40	
40	25	30	
≤ 30	20	20	

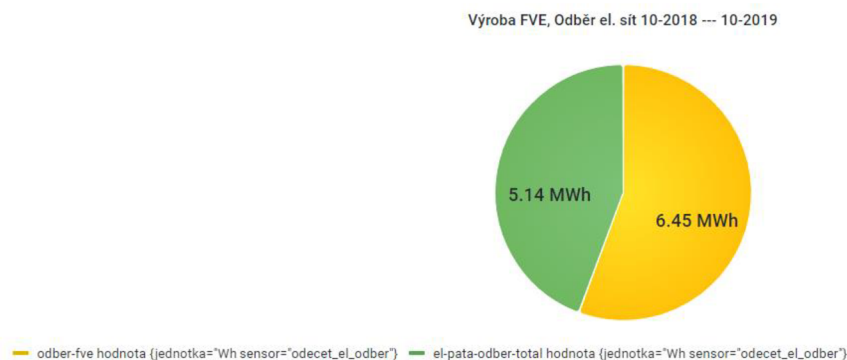
Objekt má obytnou plochu 140 m², potřeba na vytápění činí 7,45 MWh, měrná spotřeba objektu je 53,21 kWh/m² za rok. Objekt VYHOVUJE požadavkům na snižování spotřeby energie z neobnovitelných zdrojů. Objekt využívá 51,8 % energie z obnovitelných zdrojů.



Graf 4 - Výroba FVE a Odběr ze sítě 2017-2018 [Vytvořeno autorem]

Z (Graf 5) vyplývá, že odběr **neobnovitelné elektrické energie** ze sítě v období **1.10.2017 až 1.10.2018** činil **6,79 MWh** (49 %) elektrické potřeby objektu. Produkce elektrické energie z **obnovitelných zdrojů (FVE)** byla **7,20 MWh** (51 %).

V tomto období činil přetok energie do distribuční sítě 52 kWh. Což je k celkové výrobě 6,79 MWh zanedbatelná hodnota. Dá se říci, že vyrobená elektřina z FVE byla spotřebována na běžný provoz objektu či uložena do zemního masivu.

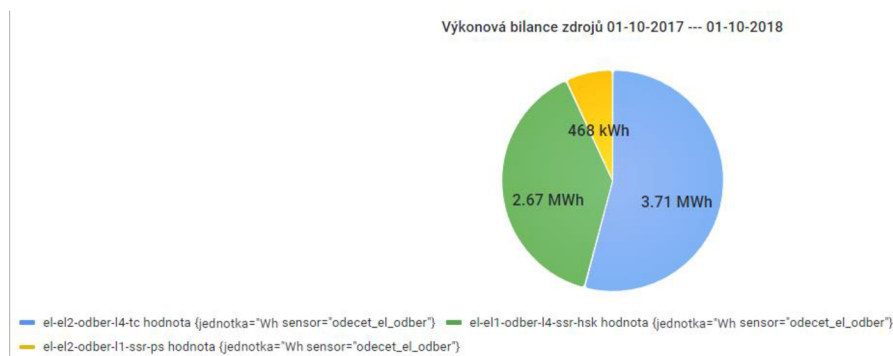


Graf 5 - Výroba FVE a Odběr ze sítě 2018-2019 [Vytvořeno autorem]

Z (Graf 6) vyplývá, že **odběr neobnovitelné elektrické energie** ze sítě v období **2-10-/2018 až 2-10-2019 činil 5,14 MWh (44 %)** elektrické potřeby objektu. Produkce elektrické energie **z obnovitelných zdrojů (FVE) byla 6,45 MWh (56 %)**.

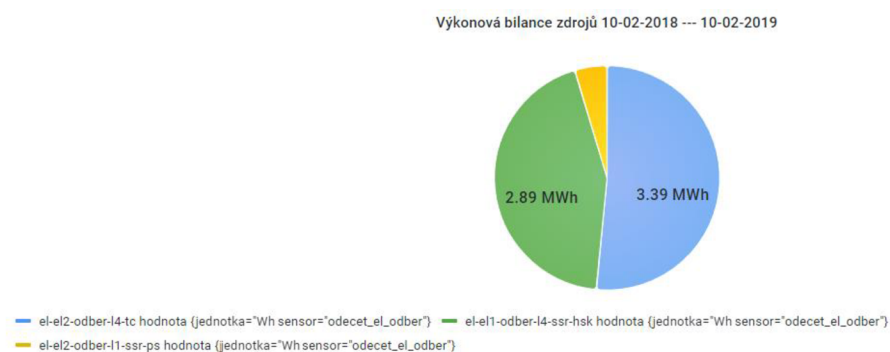
V tomto období činil přetok elektrické energie do distribuční sítě 63 kWh. Což je k celkové výrobě 6,44 MWh také zanedbatelná hodnota. Zde je tedy stejný závěr, vyrobená elektřina byla spotřebována v objektu či uložena do zemního masivu.

4.5.5 Výkonová bilance využívaných zdrojů energie.



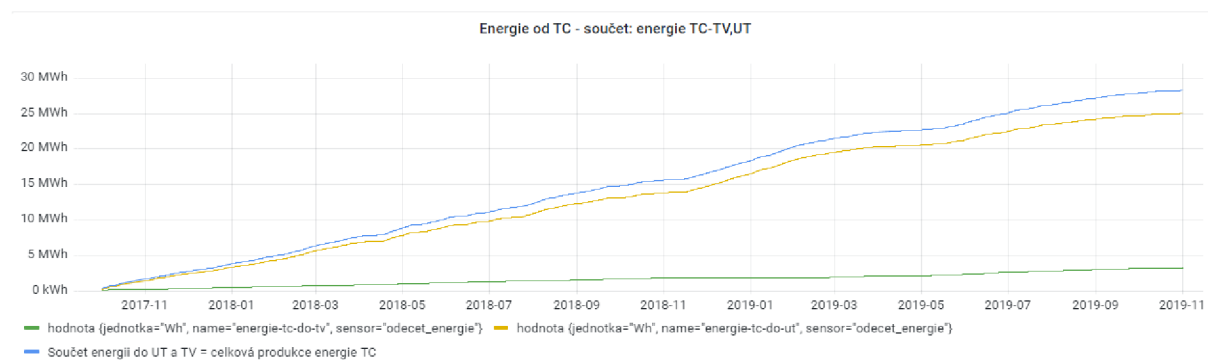
Graf 6 – Podklad výkonové bilance zdrojů 2017/2018 [Vytvořeno autorem]

Na (Grafu 7) je uveden příkon jednotlivých energetických zdrojů používaných v objektu. Jedná se o elektrická topná tělesa a tepelné čerpadlo. Kdy výkon elektrických topných těles je téměř shodný s jejich příkonem. U výkonu tepelného čerpadla je to odlišné, výrobu energie můžeme zjistit buďto měřením anebo výpočtem. Výpočet pro účely práce nahradíme odečtem energií na jednotlivých částech systému, kdy jejich součtem dostaneme energii dodanou do systému tepelným čerpadlem.



Graf 7 – podklad výkonové bilance zdrojů 2018/2019 [Vytvořeno autorem]

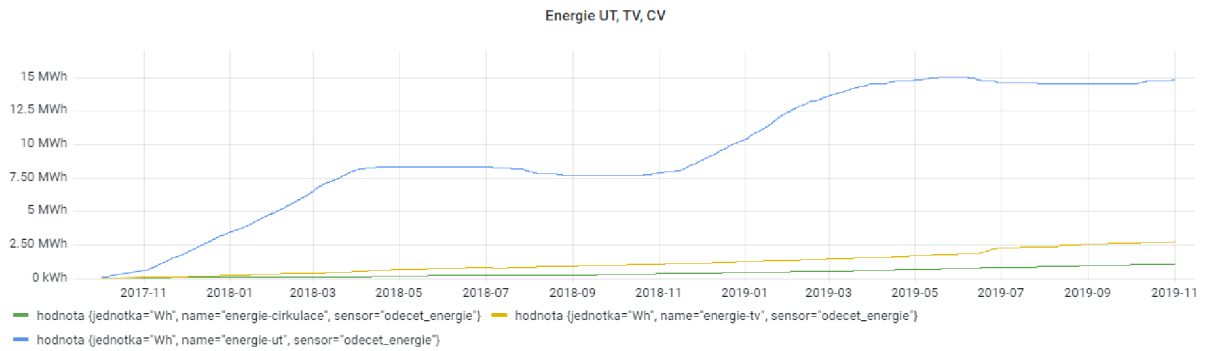
Na (Graf 8) je udán příkon energie od tepelného čerpadla do otopného systému, a to včetně energie uložené do zemního masivu a dále odběr elektrických topných těles. Hodnota u SSR relé do PS je 300 kWh.



Graf 8 - Energie od TC [Vytvořeno autorem]

Z (Grafu 9) vyplývá, že za období **9/2017 až 9/2018** byla dodaná energie od **tepelného čerpadla 14,5 MWh**, za období **10/2018 10/2019** byla **dodaná energie 13,1 MWh**.

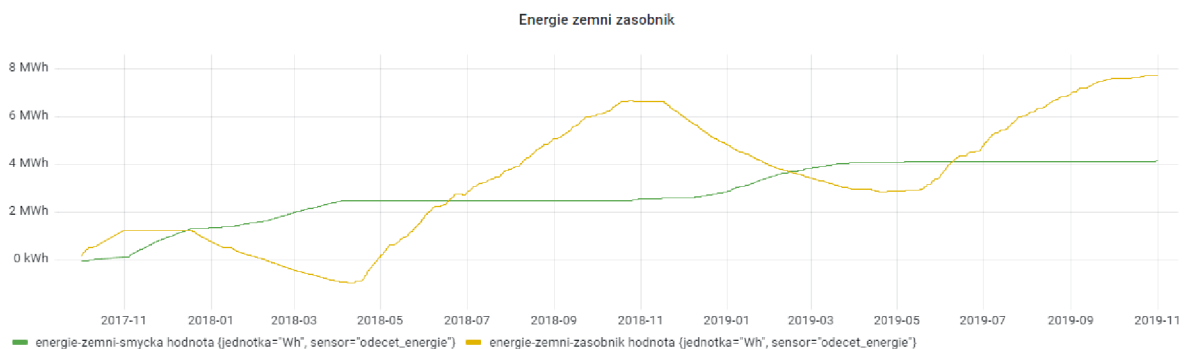
Z čehož se dá stanovit topný faktor jednotlivých období, jednoduše se výkon v jednotlivých obdobích podělí příkonem, dle vzorce (3.5) v prvním období byl topný faktor 3,908 v druhém období 3,864. Průměrný topný faktor za 2 otopná období **SCOP = 3,88**.



Graf 9 - Energie UT, TV, CV [Vytvořeno autorem]

Z (Grafu 10) je možné odečíst energii potřebnou pro vytápění, ohřev teplé vody a cirkulaci teplé vody v řešeném systému, konkrétní hodnoty jsou uvedeny v tabulce výsledků (Tab. 17)

V grafu vidíme mírný pokles na křivce energie do UT, tento pokles byl nejspíše způsoben ovlivněním měření při režimu ukládání tepelné energie do zemního masivu, kdy měření průtoku a teplot je v blízkosti trojcestného ventilu, který přepíná mezi funkčními režimy.



Graf 10 - Energetické toky zemním masivem a druhou zemní smyčkou [Vytvořeno autorem]

Do zemního masivu bylo za sledované období uloženo 12,3 MWh, ze zemního kolektoru bylo za sledované období vyčerpáno 5,749 MWh, Tedy byl do zemního masivu uložen více než dvojnásobek energie odebrané.

Na (Graf 11) je zobrazena dodávka a odběr ze zemního zásobníku pod objektem a energie odebírána ze zemní smyčky vedle objektu.

Tab. 2 - Tabulka výsledných energetických a výkonových bilancí, spotřeby obnovitelné a neobnovitelné energie.

[Vytvořeno autorem]

	Průměr/rok	Poměr	1. rok	2. rok
			2017-2018	2018-2019
Výroba elektrické energie FVE [MWh/rok]	6,425	-	6,79	6,45
Přetok elektřiny do distribuční sítě [MWh/rok]	0,0575	-	0,052	0,063
Spotřeba neobnovitelné energie [MWh/rok]	6,17	48,2%	7,2	5,14
Spotřeba obnovitelné energie [MWh/rok]	6,62	51,8%	6,79	6,45
Dodávka energie Tepelné čerpadlo (součet) [MWh/rok]	13,8	81,3%	14,5	13,1
Dodávka energie ETT TV [MWh/rok]	0,384	2,3%	0,468	0,3
Dodávka energie ETT UT [MWh/rok]	2,78	16,4%	2,67	2,89
Energetická potřeba na vytápění [MWh/rok]	7,45	80,3%	7,305	7,595
Energetická potřeba na ohřev teplé vody [MWh/rok]	1,285	13,9%	0,97	1,6
Energetická potřeba cirkulace TV [MWh/rok]	0,539	5,8%	304	775

Z (Tab. 2) můžeme odečíst měrné spotřeby neobnovitelné a obnovitelné elektrické energie, produkci elektrické energie z FVE, potřebu tepla na vytápění a ohřev teplé vody.

4.5.6 Ekonomické posouzení systému

Provozovaný systém byl realizován jako výzkumný projekt, z toho důvodu byly použity speciální komponenty systému, které umožňují specifický provoz systému. Výdaje na instalaci systému budou pro představu rámcově porovnány s výdaji na běžný systém bez ukládání energie do podloží. Z důvodu individuálních požadavků na komponenty systému nebudou vyhodnocovány přesné investiční náklady na tento systém, protože to v širším měřítku nemá smysl. Takto komplikovaný systém se v jiném, než výzkumném objektu s běžným provozem nevyskytne. Ekonomické posouzení se bude týkat cenové provozní náročnosti instalovaného systému a cenové provozní náročnosti systému pro vytápění a ohřev teplé vody v případě použití jiných zdrojů energie.

Tab. 3 - Porovnání cenové náročnosti systému pro výzkumný / běžný objekt [Vytvořeno autorem]

Porovnání nákladu systému	Výzkumný objekt			Běžná instalace		
	Počet kusů	Cena/kus	Cena	Počet kusů	Cena/kus	Cena
Tepelné čerpadlo	1	250 000,00 Kč	250 000,00 Kč	1	200 000,00 Kč	200 000,00 Kč
Zemní výměník	2	60 000,00 Kč	120 000,00 Kč	1	60 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Vzduchový chladič	1	80 000,00 Kč	80 000,00 Kč	0		0,00 Kč
Kombinovaná akumulární nádoba HSK	1	65 000,00 Kč	65 000,00 Kč	1	65 000,00 Kč	65 000,00 Kč
Akumulární nádoba PS	1	40 000,00 Kč	40 000,00 Kč	0		0,00 Kč
Oběhová čerpadla	6	7 000,00 Kč	42 000,00 Kč	5	7 000,00 Kč	35 000,00 Kč
Zónové ventily	8	3 500,00 Kč	28 000,00 Kč	3	3 500,00 Kč	10 500,00 Kč
Čidla	51	800,00 Kč	40 800,00 Kč	6	800,00 Kč	4 800,00 Kč
Průtokoměry	8	30 000,00 Kč	240 000,00 Kč	0	0,00 Kč	0,00 Kč
Elektroměry	3	3 700,00 Kč	11 100,00 Kč	2	3 700,00 Kč	7 400,00 Kč
Moduly k regulaci	13	5 000,00 Kč	65 000,00 Kč	4	5 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Fotovoltaická elektrárna	1	150 000,00 Kč	150 000,00 Kč	1	150 000,00 Kč	150 000,00 Kč
Potrubí plastové[m]	500	150,00 Kč	75 000,00 Kč	250	75,00 Kč	18 750,00 Kč
Potrubí měděné [m]	70	400,00 Kč	28 000,00 Kč	35	400,00 Kč	14 000,00 Kč
Montáž FVE	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Montáž zemního kolektoru	2	50 000,00 Kč	100 000,00 Kč	1	50 000,00 Kč	50 000,00 Kč
Montáž čidel	1	15 000,00 Kč	15 000,00 Kč	1	3 000,00 Kč	3 000,00 Kč
Montáž- hydraulické zapojení	1	100 000,00 Kč	100 000,00 Kč	1	40 000,00 Kč	40 000,00 Kč
Celková cena systému		Výzkumný objekt	1 469 900,00 Kč	Běžná instalace		698 450,00 Kč

V porovnání nákladů na instalaci (Tab. 3) jsou uvedeny hlavní komponenty systému, další části otopné soustavy, jsou již stejné a nejsou nijak speciálně upravené pro výzkumný objekt, není je tedy nutné do porovnání nákladů uvádět.

K vyhodnocení spotřeby elektrické energie v objektu jsou uvedeny jednotlivé odečty. Součet dodané energie ze sítě a produkce fotovoltaické elektrárny je celková dodaná energie do systému (Obr. 19). Pokud odečteme spotřebu otopného systému známou z elektroměru 1 – značeno jako EL1 a přetok do distribuční sítě dostaneme celkovou spotřebu elektrické energie v domácnosti. Na základě těchto údajů je stanovena ekonomická náročnost hospodaření s energií ve čtyřech variantách pro využití elektřiny i plynu.

Tab. 4 - Spotřeba energie domácnosti a otopného systému [Vytvořeno autorem]

Vyhodnocení spotřeb energií v objektu	Odečet Energie [kWh]			Potřeba energie		Průměrná potřeba / rok [Wh]
	01.12.2017	01.01.2018	01.01.2019	1. rok [Wh]	2. rok [Wh]	
pata baraku odber total	969 158	7 994 984	12 327 789	7 025 826	4 332 805	5 679 316
pata baraku odber L1	603 863	3 625 863	6 658 919	3 022 000	3 033 056	3 027 528
pata baraku odber L2	78 045	1 297 235	2 003 607	1 219 190	706 372	962 781
pata baraku odber L3	313 473	2 411 271	3 903 302	2 097 798	1 492 031	1 794 915
Odber FVE	- 319 148	- 6 794 684	- 13 232 846	- 6 475 536	- 6 438 162	- 6 456 849
pata baraku dodavka L1	- 18 201	- 184 024	- 330 131	- 165 823	- 146 107	- 155 965
pata baraku dodavka L2	- 81 808	- 81 808	- 81 817	-	- 9	- 5
pata baraku dodavka L3	- 79 777	- 79 777	- 81 817	-	- 2 040	- 1 020
pata baraku dodavka total	- 153 562	- 206 287	- 269 925	- 52 725	- 63 638	- 58 182
Dodavka FVE	26	1 166	2 262	1 140	1 096	1 118
EL1 odber L1	662 670	7 995 625	12 790 674	7 332 955	4 795 049	6 064 002
EL1 odber L2	13 610	713 839	943 782	700 229	229 943	465 086
EL1 odber L3	105 914	1 252 505	1 930 367	1 146 591	677 862	912 227
EL 1 odber L4 SSR HSK	261 122	2 929 594	5 820 406	2 668 472	2 890 812	2 779 642
EL2 odber L1 SSR PS	55 221	523 665	823 331	468 444	299 666	384 055
EL2 odber L2 MaR	4 128	395 461	670 770	391 333	275 309	333 321
EL2 odber L3 MaR TC	66 546	519 979	990 383	453 433	470 404	461 919
EL2 odber L4 TC	178 007	3 886 735	7 281 888	3 708 728	3 395 153	3 551 941

Pro stanovení cenové náročnosti provozu objektu je nutné stanovit si cenu dodávané energie do objektu (Tab. 4).

Pro představu o energetické náročnosti objektu budou náklady na vytápění, ohřev teplé vody a provoz domácnosti vyčísleny v aktuálních cenách (březen 2023). V současné době jsou ceny zastropovány na 5000 Kč/MWh silové elektřiny a 2500 Kč/MWh energie z plynu. Stanovené náklady na provoz a potřeby energií v (Tab. 5).

Tabulka 5 – Cenová náročnost provozu objektu

Vyhodnocení spotřeb energií v objektu	Průměrná potřeba / rok
Elektrická spotřeba spotřebičů v objektu	4 565 988
Potřeba energie na topení	7 450 000
Potřeba energie na TV	1 285 000

Tab. 6 - Ekonomické porování způsobu vytápění , ohřevu teplé vody a vliv FVE [Vytvořeno autorem]

Pouze elektrická energie bez tepelného čerpadla	Potřeba energie [Wh]	Cena za MWh [Kč]	Platba za energie [Kč/rok]
Elektrická spotřeba spotřebičů v objektu	6 498 321	5 000	32 492
Potřeba energie na topení	7 450 000	5 000	37 250
Potřeba energie na TV, bez CV	1 285 000	5 000	6 425
Suma nákladů			76 167
Elektrická energie + plyn	Potřeba energie [Wh]	Cena za MWh [Kč]	Platba za energie [Kč/rok]
Elektrická spotřeba spotřebičů v objektu	6 498 321	5 000	32 492
Potřeba energie na topení	7 450 000	2 500	18 625
Potřeba energie na TV bez CV	1 285 000	2 500	3 213
Suma nákladů			54 329
Elektrická energie + Tepelné čerpadlo s SCOP = 3,5	Potřeba energie [Wh]	Cena za MWh [Kč]	Platba za energie [Kč/rok]
Elektrická spotřeba spotřebičů v objektu	6 498 321	5 000	32 492
Potřeba energie na topení	7 450 000	5 000	10 643
Potřeba energie na TV, bez CV	1 285 000	5 000	1 836
Suma nákladů			44 970
Elektrická energie + FVE+ Tepelné čerpadlo s SCOP = 3,5	Potřeba energie [Wh]	Cena za MWh [Kč]	Platba za energie [Kč/rok]
Elektrická spotřeba spotřebičů v objektu	6 498 321	5 000	32 492
Zisk z FVE spotřeba v domácnosti	1 054 028	5 000	- 5 270
Zisk z FVE spotřeba TV, vytápění	5 444 293	5 000	- 7 778
Potřeba energie na topení	7 450 000	5 000	10 643
Potřeba energie na TV, bez CV	1 285 000	5 000	1 836
Suma nákladů			31 922

(Tab. 6) Porovnává roční platbu za energii v objektu, při použití různých způsobů vytápění a ohřevu teplé vody.

Tab. 7 – Porovnání cenových výdajů na instalaci, ročních plateb a doby návratnosti investice, dle použitých komponent systému [Vytvořeno autorem]

Návratnost investice vůči elektřině ve variantě standardního zapojení	Cena systému [Kč]	Roční platba [Kč]	Roční úspora [Kč]	Doba návratnosti [Rok]
Elektřina	100 000	76 167	-	-
Elektřina + plyn	120 000	54 329	21 838	5
Elektřina + tepelné čerpadlo	290 000	44 970	31 196	9
Elektřina + FVE + tepelné čerpadlo	420 000	31 922	44 244	9

Cena systému dle jednotlivých variant řešení v (Tab. 7) vychází z pořizovacích cen zařízení. Ceny za montáž a zprovoznění systému, tyto cenové výdaje nejsou přesně stanovitelné, liší se v závislosti na náročnosti instalace, výkonových požadavcích na zdroje a zvoleném produktu. Přibližné výše investic do jednotlivých systémů byly stanoveny na základě průzkumu trhu, porovnání cen instalace jednotlivých systémů [21,23]. Cena systému byla také stanovena na základě ceníkových cen produktů, dle ceníku firmy Regulus. [22]

Doba návratnosti byla počítána jako podíl výše investice a roční úspory. Roční náklady byly stanoveny na základě naměřených spotřeb energie v objektu (Tab. 7) Naměřená potřeba energie násobena cenou za jednotku odebrané energie se rovná ročním výdajům.

Roční úspora vyjadřuje rozdíl platby za energie hodnoceného systému vůči systému, který pro výrobu tepelné energie používá přímo elektrickou energii.

Z ekonomického posouzení systémů pro ohřev teplé vody a vytápění je patrné, že příprava teplé vody a vytápění je nejdražší při použití elektřiny ve formě elektrických kotlů. Roční náklady na provoz objektu jsou 76 000 Kč.

Při použití elektrické energie a energie získané ze spalování plynu, kdy plyn je používán pro ohřev teplé vody a vytápění a elektřina je využita pro běžný provoz objektu a elektrické spotřebiče. V případě použití plynového vytápění a ohřevu teplé vody klesnou provozní náklady objektu na 55 000 Kč.

Při použití tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody a vytápění klesnou roční náklady na provoz objektu na 45 000 Kč.

Pokud je použito tepelné čerpadlo a část elektřiny vyrobena z domovní fotovoltaické elektrárny klesnou roční náklady na vytápění na 32 000 Kč.

5 DISKUSE

Funkce fotovoltaických panelů

V diplomové práci je vyhodnoceno několik zásadních parametrů definující hospodaření s energií v řešeném objektu.

Z naměřených dat byla stanovena průměrná výroba elektrické energie z fotovoltaických panelů. Panely vyrobily průměrně 6,425 MWh/rok (Tab.2). Tato hodnota průměrné výroby koresponduje s maximálním teoretickým výkonem panelů, který je 6,24 kWp. [18]

Množství vyrobené elektřiny závisí na celkovém množství instalovaných panelů a jejich provozních parametrech, kterými jsou intenzita osvětlení, okolní teplota a další. Množství vyrobené energie je řádově srovnatelné a odpovídá uvedeným hodnotám v již zmíněných podkladech [1, 17]

Enviromentální vliv fotovoltaických elektráren. Solární panel v České republice potřebuje přibližně jeden a půl roku, aby vyrobil dostatek elektrické energie, který spotřebuje při své výrobě. Nicméně účinnost solárních panelů a efektivita jejich výroby se každým rokem zlepšují a stále více energie použité při výrobě panelů pochází z obnovitelných zdrojů. Fotovoltaické panely jsou kompletně recyklovatelné, stejně tak jako střídače. U baterií závisí na specifické technologii použité pro jejich výrobu. [17]

Meziročně se výrazně zvyšuje množství instalovaných a provozovaných fotovoltaických elektráren napříč kontinenty. Kvalita výroby a zlevňování výroby komponent pro fotovoltaické elektrárny zvyšuje účinnost fotovoltaických panelů a snižuje jejich pořizovací cenu. Trh s energetikou a výroba je ovlivněna ekonomicko-politickou situací, budoucí vývoj je těžké predikovat. [19]

Funkce tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo je v tomto systému velice ovlivněno ukládáním vyrobené elektrické energie do podlaží objektu ve formě tepelné energie, z toho důvodu je hodnota topného faktoru – SCOP 3,88, který byl určen z měřených hodnot dodané energie do objektu (Graf 9) a měřeného příkonu tepelného čerpadla (Graf 8). Topný faktor je ovlivněný specifickým režimem provozu. Tepelné čerpadlo využívá maximum dostupné elektrické energie, tím pádem se dostává mimo optimální podmínky provozu, čímž je snížena efektivita jeho

provozu. To z dlouhodobého hlediska snižuje topný faktor tepelného čerpadla při využití vzduchového chladiče jako primárního okruhu tepelného čerpadla. Tento provoz je pro zvýšení teploty v podloží objektu v prostoru zemní smyčky, pro ukládání a následné čerpání uložené energie pod objektem. V režimu čerpání energie z podloží se topný faktor tepelného čerpadla zvýší, protože má k dispozici médium s vyšší teplotou.

Do jaké míry je tento provoz efektivní bohužel nebylo možné z dostupných dat stanovit, protože v měřeném období byl již téměř od začátku systém provozován s ukládáním energie do zemního masivu. Nejsou tedy k dispozici data pro srovnání. Z naměřených dat je patrné, že topný faktor se přibližoval hranici 4, což je běžná hodnota sezonního topného faktoru zemních tepelných čerpadel v ČR, pokud mají optimálně navržený zemní kolektor a jsou provozována v nízkoteplotních otopných systémech. [20]

Zemní tepelná čerpadla jsou schopna při správném návrhu dodávat potřebnou energii do objektu bez použití bivalentních zdrojů. Mají stabilnější výkon než tepelná čerpadla vzduch/voda, která jsou častěji využívána z důvodu snadné instalace.

V případě instalace zemní smyčky pod objektem není optimální její regenerace mimo otopnou sezónu a je nutné v tomto případě odebranou energii do podloží objektu dodat, jinak by hrozilo vychlazení podzákladí na teploty pod bodem mrazu a tím by došlo k narušení podloží objektu. Při použití systému ukládání přebytků z FVE nebylo prokázáno výrazné zvýšení topného faktoru systému vůči instalaci s klasickým využitím zemní smyčky, která je umístěna mimo půdorys objektu. Hodnota topného faktoru byla porovnávána s výzkumem firmy GEROTop spol. s r.o.. V tomto výzkumu vycházel SCOP pro zemní tepelná čerpadla mezi hodnotami 3,5 až 3,8. [20]

Spotřeby energie v objektu

Spotřeba energie v objektu byla stanovena z měřených veličin, které již regulátor přímo zpracuje a z průtoku a teplot stanovuje dodanou tepelnou energii. Příkon zařízení byl stanoven z dat elektroměrů, které měří indukované napětí a proud. Z těchto hodnot je možné stanovit relativně přesně energetickou bilanci. Měrná spotřeba neobnovitelné elektrické energie je 6,17 MWh/rok. Spotřeba obnovitelné energie v objektu činí 6,62 MWh/rok (což je 51,8 %) spotřeby objektu. Objekt má obytnou plochu 140 m², potřeba na vytápění činí 7,45 MWh,

měrná spotřeba objektu je 53,21 kWh/m².rok. Svoji výrobou a spotřebou objekt splňuje požadavky pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie – NZEB [16]

Veškerá měření probíhající v objektu jsou ovlivňována vnějšími vlivy. Některá čidla musela být v průběhu měněna. Čidla, u kterých to bylo možné, v průběhu měření procházela kalibrací, pro dosažení co nejpřesnějších výsledků. Data, která vybočovala z rozsahu a reálných hodnot měření byla vynechána při zpracování dat, aby nebyly ovlivněny výsledky práce.

6 ZÁVĚR

V rámci diplomové práce byla vyhodnocena měření průběhu teplot, toků tepelné energie a měření elektrických toků v objektu. Pro zajištění funkce těchto zdrojů bylo nutné mít vyřešený způsob distribuce, ukládání a případné přetoky elektrické energie do distribuční sítě. Na důležitých místech tohoto systému bylo také umístěno čidlo, pro možnost kontroly správné funkce systému.

Hlavním cílem diplomové práce bylo vyhodnocení spotřeb energie v objektu, stanovení výkonové bilance zdrojů. Spotřeby a potřeby energie v řešeném objektu za dobu měření jsou uvedeny v (Tab. 2). Potřeba neobnovitelné elektrické energie je 6,17 MWh/rok. Spotřeba obnovitelné energie v objektu činí 6,62 MWh/rok (což je 51,8 %) spotřeby objektu. Potřeba energie na vytápění činí 7,45 MWh, měrná spotřeba objektu je 53,21 kWh/m².rok. Potřeba energie na přípravu teplé vody je 1,285 MWh/rok, s tím souvisí potřeba energie pro cirkulaci teplé vody, která byla v průměru za 2 měřené období 0,539 MWh.

Za období od října 2017 do října 2018 byla produkce fotovoltaické elektrárny 13,05 MWh/rok. Průměrná výroba FVE byla 6,625 MWh/rok. Přetoky do distribuční sítě jsou v tomto objektu minimální cca 55 kWh/rok, což v celkové výrobě a spotřebě elektrické energie z FVE v objektu je opravdu málo. Nízké přetoky do distribuční sítě jsou způsobeny principem funkce systému, s možností akumulace elektrické energie do podloží objektu. K tomuto ukládání energie slouží tepelné čerpadlo, které má možnost přepínat primální okruh na zemní kolektor nebo vzduchový chladič. V případě přetoků je tepelné čerpadlo v režimu vzduch/voda, využívá elektrickou energii z FVE a přeměňuje ji s efektivitou určenou topným faktorem na energii tepelnou. V případě, že je akumuláční nádoba v objektu nahřátá na požadovanou teplotu, ukládá tuto energii do zemní smyčky pod objektem, čímž tuto smyčku regeneruje a ohřívá jí na vyšší teplotu. V režimu čerpání elektrické energie má potom tepelné čerpadlo vyšší topný faktor, protože má vyšší teplotu kapaliny na straně primárního okruhu.

Z naměřných hodnot spotřebované a dodané energie tepelným čerpadlem byl stanoven průměrný sezonní topný faktor za dvě řešené období. Topný faktor systému SCOP = 3,88.

Výkonová bilance zdrojů je uvedena v (Tab. 2) Tepelné čerpadlo dodalo do systému průměrně 12 MWh/rok při průměrném příkonu 3,55 MWh/rok. Elektrická topná tělesa dodala do systému 3,164 MWh, tepelné čerpadlo dodalo do systému 81,3 % tepelné energie. Dodaná

energie byla využita takto: 7,45 MWh na vytápění, 1,285 MWh/rok na přípravu teplé vody a 0,539 MWh na cirkulaci. Do zemního masivu bylo za sledované období uloženo 12,3 MWh, ze zemního kolektoru bylo za sledované období vyčerpáno 5,749 MWh. Tato energie byla použita pro primární okruh tepelného čerpadla.

Z ekonomického zhodnocení používaných variant systémů na ohřev teplé vody a vytápění je patrné, že vytápění a ohřev teplé vody v objektu je provozně nejnákladnější v případě využití elektrické energie, v podobě elektrokotle. Náklady na provoz spotřebičů v domácnosti jsou v tomto případě 32 000 Kč. Náklady na vytápění a ohřev teplé vody se v případě využití elektrokotle pohybují okolo 44 000 Kč, pro řešený objekt, vzhledem k nízkým investičním nákladům bylo toto řešení více používáno v minulosti, než je tomu dnes, z důvodu ceny za MWh elektrické energie. Pro ekonomické posouzení s dalšími systémy bude roční úspora nákladů na provoz objektu vztahována k tomuto systému s elektrokotlem.

Druhá hodnocená varianta počítala s přípravou teplé vody a vytápěním objektu pomocí plynového kotle. Náklady na provoz spotřebičů v domácnosti se v této variantě nezmění, stále 32 000 Kč. Změní se náklady na vytápění a ohřev teplé vody, v této variantě jsou 22 000. Což přináší roční úsporu 22 000 Kč a dobu návratnosti investice 5 let.

Třetí je již se zapojením tepelného čerpadla. Kdy ve třetí variantě je využívána elektrická energie z distribuční sítě. Tím pádem ve třetí variantě se nezmění náklady na provoz spotřebičů v objektu, jsou 32 000 Kč. Náklady na vytápění a ohřev teplé vody se změní a vychází na 12 000 Kč. V případě tepelného čerpadla a elektrické energie z distribuční sítě je roční úspora 31 000 Kč, doba návratnosti investice 9 let.

Čtvrtá posuzovaná varianta je nejvíce úsporná z hlediska provozních nákladů, ale investiční náklady jsou zde nejvyšší. Využívá tepelné čerpadlo a fotovoltaickou elektrárnu pro výrobu vlastní elektrické energie. Z toho důvodu se sníží náklady na provoz spotřebičů v objektu na 27 000 Kč. Sníží se i náklady na vytápění a ohřev teplé vody na 5 000 Kč. Tato varianta má tedy znatelně nejmenší provozní náklady. Roční úspora nákladů na provoz objektu je 44 000 Kč. Z hlediska ekologického je v této variantě spotřebováváno nejméně neobnovitelné energie v objektu. Tato varianta také bývá v poslední době více využívána ať už z důvodu snížení provozních nákladů, tak zajištění jisté nezávislosti na dodávané energii z distribuční sítě. Vzhledem ke zvýšené úspoře ročních nákladů a bohužel i zvýšení investičních nákladů

vychází v tomto případě doba návratnosti na 9 let, stejně jako ve variantě bez fotovoltaické elektrárny.

Po ekonomickém zhodnocení vidíme, že instalované systémy mohou značným způsobem ovlivnit nákladnost provozu. Cenově nákladné systémy, je nutné navrhovat s větším podvědomím o problematice, řešeném objektu a provozních podmínkách. Při nesprávném návrhu, systém nedosahuje požadované úspory, provozní náklady se zvýší, čímž se zvýší doba návratnosti investice, spotřeby energie a tím se stane provoz takového systému neekonomický, z hlediska návratnosti investice. Je tedy nutné veškeré systémy navrhovat v ekonomické a technologické rovnováze, obhájit zvýšené investiční náklady. Dávat výši investice do souvislosti s úsporou provozních nákladů a enviromentálních přínosů navrženého systému, převážně snížení emisí při spalování a produkcí vlastní obnovitelné elektrické energie.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [2] BECHNÍK, Bronislav. Stručná historie fotovoltaiky. *TBZ-info* [online]. 2014, [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>
- [3] LEAN, Geoffrey. Oil: A global crisis. *The Independent: Green Living* [online]. The Independent, 2008, 25.5. 2008 [cit. 2022-11-10]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20080527222857/http://www.independent.co.uk/environment/green-living/oil-a-global-crisis-834023.html>
- [4] BENDA, Vítězslav Benda. Solární články z krystalického křemíku – základní technologie současné fotovoltaiky. Topinfo s.r.o. [online]. 2008, 25.9.2006, [cit. 2022-11-15]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3553-Solarni-clanky-z-krystalickeho-kremiku-zakladni-technologie-soucasne-fotovoltaiky>
- [5] Fotovoltaické články a panely, [online]. Svět energie – vzdělávací portál ČEZ, 2020 [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/slunecni-elektrany-podrobne/fotovoltaicke-clanky-a-panely/vyklad>
- [6] HODBOŤ, Josef. Tepelná čerpadla – základní informace. TZB-info [online]. [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/23093-tepelna-cerpadla-zakladni-informace>
- [7] Sorpční chladicí zařízení a tepelná čerpadla. TZB-info [online]. Topinfo, 8.8.2011, 2011, - [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/7712-sorpni-chladici-zarizeni>
- [8] NEUBERGER, Pavel, Daniel ADAMOVSKEÝ a Radomír ADAMOVSKEÝ. Termomechanika. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1634-8.
- [9] POULEK, Vladislav a Martin LIBRA. Photovoltaics: theory and practice of solar energy utilization. Praha: ILSA, 2010. ISBN 978-80-904311-2-6.
- [10] CAMARA, Gwenn. *Heating, Ventilating and Air Conditioning Technologies*. 1. 2012. ISBN 978-81-323-3069-1.

- [11] Akumulace elektřiny. TZB-info [online]. Topinfo - [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny>
- [12] LYČKA, Zdeněk. Malé teplovodní kotle na pevná paliva: spalování pevných paliv po roce 2013. Krnov: LING Vydavatelství, 2012. ISBN isbn978-80-904914-2-7.
- [13] BYSTRICKÝ, Václav a Antonín POKORNÝ. *Technická zařízení budov - B*. Vyd. 2. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03450-x.
- [14] BANKS D. An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling. Chichester, West Sussex: 2012, 491 p., ISBN 978-0-470-67034-7
- [15] KABRHEL Michal, Miroslav URBAN, Daniel ADAMOVSKEÝ a Roman MUSIL. Popis metodiky výpočtu hodnocení energetické náročnosti budov podle vyhlášky 148/2007 Sb. [online]. ČVUT v Praze, Stavební fakulta, katedra TZB, Praha 6: Topinfo, 2007, 6.8.2007 [cit. 2023-02-10]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/4274-popis-metodiky-vypoctu-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-podle-vyhlascky-148-2007-sb>
- [16] ČESKÁ REPUBLIKA. Sbírka zákonů Česká republika: Vyhláška o energetické náročnosti budov. In: . Ministerstvo vnitra: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2020, 5. 6. 2020, částka 98, číslo 264. Dostupné také z: <https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=38880>
- [17] Obnovitelná energie a úspory energie: Fotovoltaika [online]. [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika>
- [18] ZILVAR, Jiří. Solární energie pro rodinný dům. ESTAV.cz [online]. Topinfo s.r.o., Křenova 438/3, 162 00 Praha 6, 2022, 10. 5. 2022 [cit. 2023-03-12]. ISSN ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/10774.kolik-elektriny-realne-vyrobi-fotovoltaicka-elektrarna-co-ovlivni-vykon-vasi-elektrany>
- [19] Solar Power by Country 2023. World Population Review [online]. 340 S Lemon Ave Walnut, CA 91789 United States: World Population Review, 2023, 2023 [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/solar-power-by-country>

[20] Testy s tepelnými čerpadly [online]. Kateřinská 589 463 03 Stráž nad Nisou - Liberec: GEROTop spol. s r.o., 2023 [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/test-tepelnych-cerpadel>

[21] Porovnání nákladů na vytápění. TZB-info [online]. 12. 11. 2007 [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/porovnani-nakladu-na-vytapeni.html>

[22] In: Regulus [online]. Regulus s.r.o.: Do Koutů 1897/3 143 00 Praha, 2023, 1. 3. 2023 [cit. 2023-03-8]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/download/ceniky/cz/cenik.pdf>

[23] ŠUSTROVÁ, Petra. Optimální volby zdroje - porovnání nákladů na vytápění - II. díl. TZB-info [online]. 12. 11. 2007 [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/4469-optimalni-volby-zdroje-porovnani-nakladu-na-vytapeni-ii-dil>

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

Q_{fuel}	celková dodaná energie na systémové hranici budovy	[MJ/rok]
Q_{gen}	dodaná energie do zdroje energie	[MJ/rok]
F_{gen}	podíl energie dodané jednotlivým zdrojem energie gen	[-]
η_{gen}	účinnost zdroje energie	[-]
Q_{distr}	celková energie dodaná do rozvodného systému	[MJ/rok]
$Q_{\text{em}; z}$	energie dodaná do emisního systému v zóně z	[MJ/rok]
Q_{AHU}	energie dodaná do větracích jednotek	[MJ/rok]
Q_{SE}	energie dodaná do rozvodného systému z OZE	[MJ/rok]
η_{distr}	účinnost rozvodného systému	[-]
η_{em}	účinnost sdílení energie	[-]
$Q_{\text{dem}; z}$	potřeba energie v zóně z	[MJ/rok]
kWp	nominální výkon panelu při laboratorních podmínkách	[W]

Další použité veličiny jsou definovány přímo v textu.

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obr. 1 - Schéma fotovoltaického panelu [5]	13
Obr. 2 - Porovnání vzhledu fotovoltaického modulu [5]	14
Obr. 3 - Schéma tepelného čerpadla [6]	16
Obr. 4- Schéma sorpčního tepelného čerpadla [7]	17
Obr. 5 - Schéma kompresorového oběhu v T-S diagramu [8]	18
Obr. 6 - Schéma zapojení kotle a zásobníku teplé vody [Vytvořeno autorem]	21
Obr. 7 - Schéma zapojení kotle a akumulární nádoby [Vytvořeno autorem]	22
Obr. 8 - Tepelná vodivost a objemová tepelná kapacita některých materiálů [13]	23
Obr. 9 - Pohled na objekt [Poskytnuto majitelem objektu]	27
Obr. 10 - Uložení zemního kolektoru [Poskytnuto majitelem objektu]	30
Obr. 11- Rozvržení čidel v zemním kolektoru [Poskytnuto majitelem objektu]	30
Obr. 12 – Vertikální teplotní sonda v kolektoru pod základy [Poskytnuto majitelem objektu]	31
Obr. 13 - Zápis surových dat [Vytvořeno autorem]	34
Obr. 14 - Zápis dat v aplikaci Grafana [Vytvořeno autorem]	35
Obr. 15 - Zápis kódu v programu Grafana [Vytvořeno autorem]	35

SEZNAM TABULEK:

Tab. 1 - Referenční snížení spotřeby budov – NZEB [Vytvořeno autorem]	39
Tab. 2 - Tabulka výsledných energetických a výkonových bilancí, spotřeby obnovitelné a neobnovitelné energie. [Vytvořeno autorem]	43
Tab. 3 - Porovnání cenové náročnosti systému pro výzkumný / běžný objekt [Vytvořeno autorem]	44
Tab. 4 - Spotřeba energie domácnosti a otopného systému [Vytvořeno autorem]	45
Tabulka 5 – Cenová náročnost provozu objektu	45
Tab. 6 - Ekonomické porovnání způsobu vytápění , ohřevu teplé vody a vliv FVE [Vytvořeno autorem]	46
Tab. 7 – Porovnání cenových výdajů na instalaci, ročních plateb a doby návratnosti investice, dle použitých komponent systému [Vytvořeno autorem]	47

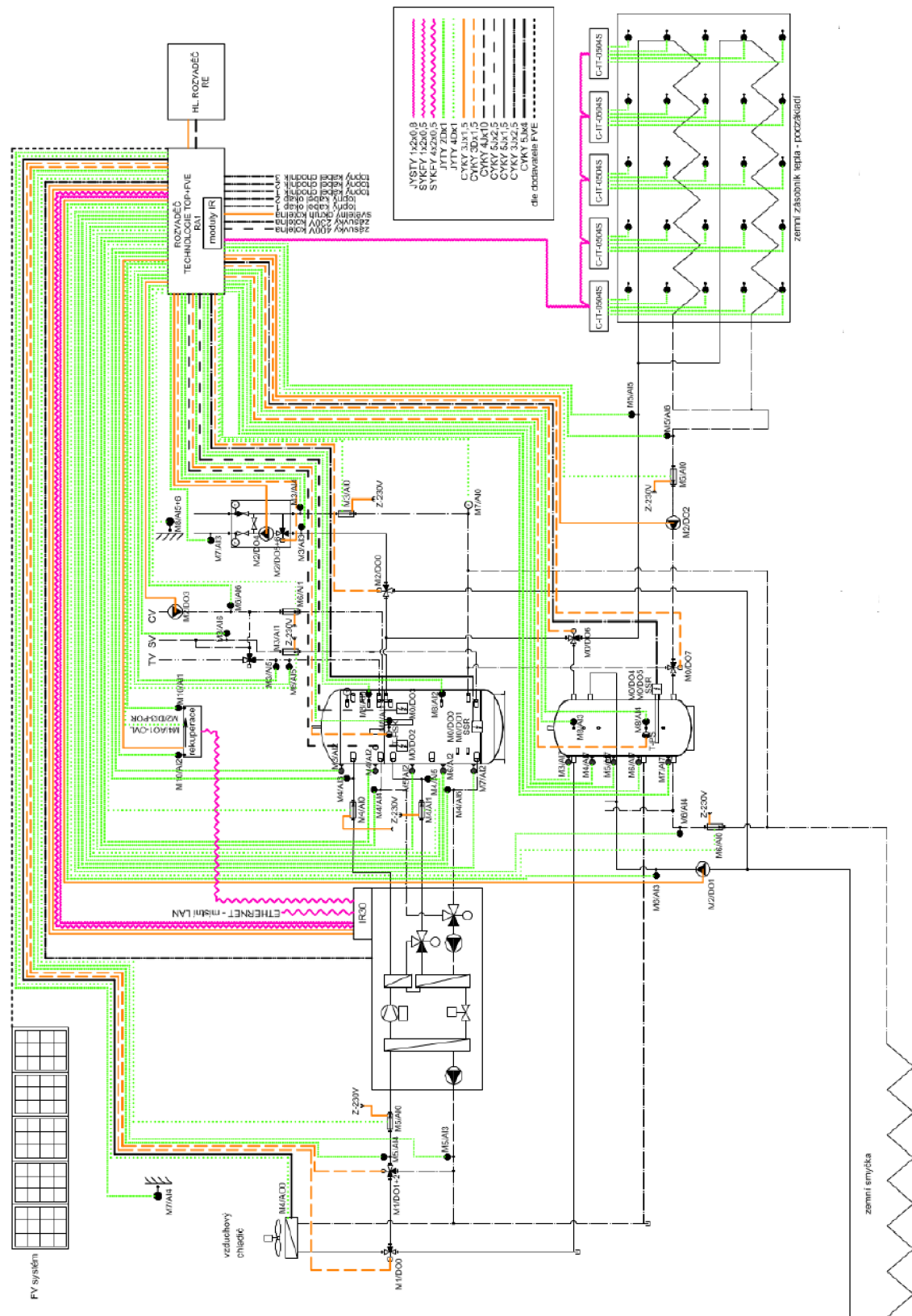
SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Výkon FVE 2017-2019 [Vytvořeno autorem]	36
Graf 2 - Celková výroba FVE 2017-2019 [Vytvořeno autorem]	37
Graf 3 – Výkon a příkon tepelného čerpadla [Vytvořeno autorem]	37
Graf 5 - Výroba FVE a Odběr ze sítě 2017-2018 [Vytvořeno autorem]	39
Graf 6 - Výroba FVE a Odběr ze sítě 2018-2019 [Vytvořeno autorem]	40
Graf 7 – Podklad výkonové bilance zdrojů 2017/2018 [Vytvořeno autorem]	40
Graf 8 – podklad výkonové bilance zdrojů 2018/2019 [Vytvořeno autorem]	41
Graf 9 - Energie od TC [Vytvořeno autorem]	41
Graf 10 - Energie UT, TV, CV [Vytvořeno autorem]	42
Graf 11 - Energetické toky zemním masivem a druhou zemní smyčkou [Vytvořeno autorem]	42

SEZNAM PŘÍLOH:

- Příloha 1 - Hydraulické zapojení systému s periferiemi MaR [Poskytnuto majitelem objektu]
Příloha 2 - Roztřídění měřených hodnot a jejich zařazení pro potřeby databáze (5 str.)
[Vytvořeno autorem]
Příloha 3 - Průběh teplot v zemním kolektoru pod základy [Vytvořeno autorem]

Príloha 1 – Hydraulické zapojenie systému vytápení a ohřevu teplé vody [Poskytnuto majitelem objektu]



Příloha 2 – Definování měřených hodnot a jejich zařazení pro potřeby databáze (str. 1/5)

"prutok-cirkulace-tv": ["sensor":"sensor_prutokovy", "jednotka": "l/h"]
"prutok-tc": ["sensor":"sensor_prutokovy", "jednotka": "l/h"]
"prutok-primar-tc": ["sensor":"sensor_prutokovy", "jednotka": "l/h"]
"prutok-tc-do-tv": ["sensor":"sensor_prutokovy", "jednotka": "l/h"]
"prutok-tv": ["sensor":"sensor_prutokovy", "jednotka": "l/h"]
"prutok-ut": ["sensor":"sensor_prutokovy", "jednotka": "l/h"]
"prutok-zem-do-ps": ["sensor":"sensor_prutokovy", "jednotka": "l/h"]
"prutok-zemni-zasobnik-tepla": ["sensor":"sensor_prutokovy", "jednotka": "l/h"]
"teplota-vystup-cv": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"teplota-vstup-cv": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vystup-tc-do-hsk": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrat-tc-do-hsk": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vystup-primar-tc": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrat-primar-tc": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vystup-tc-do-tv": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrat-tc-do-tv": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"teplota-sv": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"teplota-tv": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vystup-ut": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrat-ut": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vystup-zemni-smycka": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrat-zemni-smycka": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vystup-zemni-zasobnik": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrat-zemni-zasobnik": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt1-1": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt1-2": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt1-3": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt1-4": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt1-5": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt2-1": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt2-2": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt2-3": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt2-4": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt2-5": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt3-1": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt3-2": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt3-3": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt3-4": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt3-5": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt4-1": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]

"vrt4-2": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt4-3": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt4-4": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt4-5": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt5-1": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt5-2": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt5-3": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt5-4": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"vrt5-5": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"mazanina-1": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"mazanina-2": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"mazanina-3": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"zem-1": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"zem-2": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"zem-3": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"zem-4": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"zem-5": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"hsk1-pt100": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"hsk2-pt100": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"hsk3-pt100": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"hsk4-pt100": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"hsk5-pt100": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"ps1-pt100": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"ps2-pt100": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"ps3-pt100": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-venkovni": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-hsk-stred": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-hsk-dole": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-hsk-horni-tv": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-ps-hornit-ps-horni": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-ps-dolni": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-zona-top": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-vstup-tc": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-vystup-tc": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-vystup-tc-do-tv": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-prim-vstup-tc": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-prim-vystup-tc": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-kap-chl-tc": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-chl-driver-tc": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-chl-driver-vstup": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]

Příloha č. 2 – Definování měřených hodnot a jejich zařazení pro potřeby databáze (str. 3/5)

"t-pr-pary-tc": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"t-sani-kompr-tc": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"tlak-kond-tc": ["sensor":"sensor_tlaku", "jednotka": "bar"]
"tlak-vypar-tc": ["sensor":"sensor_tlaku", "jednotka": "bar"]
"otacky-kompr-tc": ["sensor":"sensor_otacek", "jednotka": "ot/s"]
"otv-exp-ventilu-tc": ["sensor":"sensor_otevřeni", "jednotka": "%"]
"tepl-kond-tc": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"tepl-vypar-tc": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"status-tc": ["sensor":"provozni_stav", "jednotka": "-"]
"status-combo-drivertc": ["sensor":"provozni_stav", "jednotka": "-"]
"pozadovana-teplota-aku": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"pozadovana-teplota-tv": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"pozadovana-teplota-tv-el": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"pozadovana-teplota-topeni": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"pozadavana-teplota-na-tc": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"obihove-eerpadlo-topeni": ["sensor":"stav_1_0", "jednotka": "W"]
"obihove-eerpadlo-te": ["sensor":"stav_1_0", "jednotka": "W"]
"obihove-eerpadlo-te-primar": ["sensor":"stav_1_0", "jednotka": "W"]
"obihove-eerpadlo-zemni-smycka": ["sensor":"stav_1_0", "jednotka": "W"]
"obihove-eerpadlo-zemni-zasobnik": ["sensor":"stav_1_0", "jednotka": "W"]
"obihove-eerpadlo-cirkulace": ["sensor":"stav_1_0", "jednotka": "W"]
"pozice-ventilu-tv-pr-pary": ["sensor":"sensor_pozice", "jednotka": "-"]
"pozice-ventilu-tv": ["sensor":"sensor_pozice", "jednotka": "-"]
"pozice-ventilu-chladic-ps": ["sensor":"sensor_pozice", "jednotka": "-"]
"pozice-ventilu-zemzas-ps-hsk": ["sensor":"sensor_pozice", "jednotka": "-"]
"pozice-ventilu-zemmysmycka-topeni": ["sensor":"sensor_pozice", "jednotka": "-"]
"bivalence-el-top-teleso": ["sensor":"vykon_pozadovany", "jednotka": "W"]
"tv-el-top-teleso": ["sensor":"vykon_pozadovany", "jednotka": "W"]
"ssr-hsk": ["sensor":"vykon_namereny", "jednotka": "W"]
"ssr-ps": ["sensor":"vykon_namereny", "jednotka": "W"]
"a1": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"a2": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"a3": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"a4": ["sensor":"sensor_teplotni", "jednotka": "°C"]
"tlak-ut": ["sensor":"sensor_tlaku", "jednotka": "bar"]
"vykon-el-pata-l1": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-el-pata-l2": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-el-pata-l3": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-fve": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]

Príloha č. 2 – Definování měřených hodnot a jejich zařazení pro potřeby databáze (str.4/5)

"vykon-rozv-mar-11": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-rozv-mar-12": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-rozv-mar-13": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-el-top-hsk-ssr": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-el-top-ps-ssr": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-l-mar": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-l-mar-tc": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"prikon-tc": ["sensor":"odecet_prikon", "jednotka": "W"]
"celk-vykon-tc": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"cop": ["sensor":"vypocet_topny_faktor", "jednotka": "-"]
"vykon-tc-do-ut": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-tc-do-tv": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-primar-tc": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-ut": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-tv": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-cirkulace": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-zemni-zasobnik": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"vykon-zemni-smycka": ["sensor":"odecet_vykon", "jednotka": "W"]
"energie-tc-do-ut": ["sensor":"odecet_energie", "jednotka": "Wh"]
"energie-tc-do-tv": ["sensor":"odecet_energie", "jednotka": "Wh"]
"energie-primar-tc": ["sensor":"odecet_energie", "jednotka": "Wh"]
"energie-ut": ["sensor":"odecet_energie", "jednotka": "Wh"]
"energie-tv": ["sensor":"odecet_energie", "jednotka": "Wh"]
"energie-cirkulace": ["sensor":"odecet_energie", "jednotka": "Wh"]
"energie-zemni-zasobnik": ["sensor":"odecet_energie", "jednotka": "Wh"]
"energie-zemni-smycka": ["sensor":"odecet_energie", "jednotka": "Wh"]
"el-pata-odber-11": ["sensor":"odecet_el_odber", "jednotka": "Wh"]
"el-pata-odber-12": ["sensor":"odecet_el_odber", "jednotka": "Wh"]
"el-pata-odber-13": ["sensor":"odecet_el_odber", "jednotka": "Wh"]
"odber-fve": ["sensor":"odecet_el_odber", "jednotka": "Wh"]
"el-pata-dodavka-11": ["sensor":"odecet_el_dodavka", "jednotka": "Wh"]
"el-pata-dodavka-12": ["sensor":"odecet_el_dodavka", "jednotka": "Wh"]
"el-pata-dodavka-13": ["sensor":"odecet_el_dodavka", "jednotka": "Wh"]
"dodavka-fve": ["sensor":"odecet_el_dodavka", "jednotka": "Wh"]
"el-el1-odber-11": ["sensor":"odecet_el_odber", "jednotka": "Wh"]
"el-el1-odber-12": ["sensor":"odecet_el_odber", "jednotka": "Wh"]
"el-el1-odber-13": ["sensor":"odecet_el_odber", "jednotka": "Wh"]
"el-el1-odber-14-ssr-hsk": ["sensor":"odecet_el_odber", "jednotka": "Wh"]

Příloha č. 2 – Definování měřených hodnot a jejich zařazení pro potřeby databáze (str. 5/5)

"el-el1-dodavka-11": ["sensor":"odecet_el_dodavka", "jednotka": "Wh"]
"el-el1-dodavka-12": ["sensor":"odecet_el_dodavka", "jednotka": "Wh"]
"el-el1-dodavka-13": ["sensor":"odecet_el_dodavka", "jednotka": "Wh"]
"el-el1-dodavka-14-ssr-hsk": ["sensor":"odecet_el_dodavka", "jednotka": "Wh"]
"el-el2-odber-11-ssr-ps": ["sensor":"odecet_el_odber", "jednotka": "Wh"]
"el-el2-odber-12-mar": ["sensor":"odecet_el_odber", "jednotka": "Wh"]
"el-el2-odber-13-mar-tc": ["sensor":"odecet_el_odber", "jednotka": "Wh"]
"el-el2-odber-14-tc": ["sensor":"odecet_el_odber", "jednotka": "Wh"]
"el-el2-dodavka-11-ssr-ps": ["sensor":"odecet_el_dodavka", "jednotka": "Wh"]
"el-el2-dodavka-12-mar": ["sensor":"odecet_el_dodavka", "jednotka": "Wh"]
"el-el2-dodavka-13-mar-tc": ["sensor":"odecet_el_dodavka", "jednotka": "Wh"]
"el-el2-dodavka-14-tc": ["sensor":"odecet_el_dodavka", "jednotka": "Wh"]
"el-pata-odber-total": ["sensor":"odecet_el_odber", "jednotka": "Wh"]
"el-pata-dodavka-total": ["sensor":"odecet_el_dodavka", "jednotka": "Wh"]

Příloha 3 – Průběh teplot v zemním kolektoru pod základy [Vytvořeno autorem]

