

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ NÁSTAVBY STUDENTSKÝCH KOLEJÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Teoretická část

Vypracovala:

Bc. Jana Svobodová

Vedoucí práce:

prof. Ing. Karel Kabele, CSc.

2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Svobodová Jméno: Jana Osobní číslo: 438991

Zadávací katedra: K11125 - Katedra technických zařízení budov

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vytápění a chlazení nástavby studentských kolejí

Název diplomové práce anglicky: Heating and cooling of the student dormitory superstructure

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte varianty řešení zásobování teplem a chladem formou konceptu TZB a na základě multikriterální analýzy zvolte vhodné řešení pro daný objekt. Toto řešení rozpracujte do projektové dokumentace vytápění a chlazení rozšířené dokumentace pro vydání stavebního povolení dle vyhlášky 499/2006 Sb.

Seznam doporučené literatury:

[1] Kabele, K. a kol.: Energetické a ekologické systémy budov 1 Zdravotní technika Vytápění ČVUT 2005, ISBN 80-01-03327-9

[2] Kabele, K. a kol.: TZB.Vytápění - podklady pro cvičení, ČVUT 2014, ISBN 978-80-01-05203-7

[3] Chadderton, D.: Building Services Engineering, Routledge 2013, ISBN 0415699312

[4] Papež, K., Vyoralová Z., Marková L., Garlík B., Jokl M. Energetické a ekologické systémy budov 2.

Vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace, umělé osvětlení. Fakulta stavební, 1. vydání, ISBN: 978-80-01-03622-8, 2007. (NTK TH6021 .P37 2007 z)

Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Ing. Karel Kabele, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 21.9.2020

Termín odevzdání diplomové práce: 3.1.2021

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

25.9. 2020

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze, 27. prosince 2020

.....
podpis

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu profesorovi Karlovi Kabelemu za jeho cenné rady, ochotu a trpělivost.

Anotace

Diplomová práce se skládá ze dvou částí - teoretické a praktické. V teoretické části jsou nejprve stručně probrány možnosti zdrojů tepla a chladu, které jsou aplikovány v dále rozebíraných variantách. Hlavní téma teoretické části je vytvoření možných variant zásobování teplem a chladem nástavby studentských kolejí a jejich porovnání. Na základě multikriteriální analýzy bude vybrána nejvhodnější varianta. V praktické části je vybraná varianta podrobně řešena v projektové dokumentaci vytápění a chlazení na úrovni rozšířené dokumentace pro vydání stavebního povolení.

Klíčová slova

vytápění, chlazení, obnovitelné zdroje energie, tepelné čerpadlo, fotovoltaické panely, dešťová voda

Annotation

The Master's thesis consists of two parts - a theoretical and a practical. At the beginning of the theoretical part there are described possible sources of heating and cooling. These are further applied in the described variants. The main topic of the theoretical part is the creation of possible variants of heat and cold supply and their comparison for the superstructure of student dormitories. The most suitable option will be selected based on the multicriteria analysis. In the practical part, the selected option is designed in the project documentation of heating and cooling at the level of extended documentation for a building permission.

Keywords

heating, cooling, renewable energy sources, heat pump, photovoltaic panels, rainwater

Obsah

1. Úvod	7
2. Obnovitelné zdroje energie.....	7
2.1. Solární energie.....	7
2.1.1. Fotovoltaické solární systémy	7
2.1.2. Fototermické solární systémy	8
2.2. Tepelné čerpadlo.....	8
2.2.1. Tepelné čerpadlo vzduch/voda	9
2.2.2. Tepelné čerpadlo země/voda s plošným kolektorem	10
2.2.3. Tepelné čerpadlo země/voda se soustavou vrtů	10
2.2.4. Tepelné čerpadlo voda/voda.....	10
2.3. Odpadní teplo.....	10
2.4. Bivalence	10
3. Plošné vytápění a chlazení	11
4. Popis objektu.....	12
5. Multikriteriální analýza.....	13
5.1. Koncept varianty č. 1 - TČ země/voda a voda/voda.....	14
5.1.1. Řešení konkrétních prvků varianty č. 1	15
5.1.2. Zhodnocení varianty č. 1	17
5.2. Koncept varianty č. 2 - Země/voda a elektrická energie.....	18
5.2.1. Řešení konkrétních prvků varianty č. 2	19
5.2.2. Zhodnocení varianty č. 2	23
5.3. Koncept varianty č. 3 - Vzduch/voda a plynový kotel	24
5.3.1. Řešení konkrétních prvků varianty č. 3	25
5.3.2. Zhodnocení varianty č. 3	26
5.4. Porovnání variant mezi sebou.....	27
6. Závěr	28
7. Seznam použitých obrázků.....	29
8. Seznam použitých tabulek.....	29
9. Seznam použitých zdrojů.....	30

1. Úvod

Cílem diplomové práce je vytvoření několika variant zásobování teplem a chladem formou TZB konceptu pro nástavbu studentských kolejí Větrník. Na základě multikriterální analýzy je zvoleno nejvhodnější řešení pro daný objekt a to je zpracováno v projektové dokumentaci vytápění a chlazení na úrovni rozšířené dokumentace pro vydání stavebního povolení dle vyhlášky č. 499/2006 Sb.

Práce se skládá ze dvou částí - z části teoretické a praktické. Úvodem teoretické části jsou rozebrány systémy vytápění a chlazení, které by mohly být využity pro řešenou budovu. V systémech jsou obecně popsány jejich funkce, využití a další specifikace, aby nemusely být vysvětlovány v pozdějších kapitolách. Nejvhodnější jsou aplikovány v jednotlivých variantách. Udržitelné a ekologicky zodpovědné navrhování staveb by se mělo stát samozřejmostí. Proto koncepty obsahují taková řešení, kde jsou v maximální míře využity obnovitelné zdroje energie. Navíc, pokud do roku 2038 skončí výroba energie spalováním uhlí (energie bude získávána pouze z jádra a z obnovitelných zdrojů), tak se využívání obnovitelných zdrojů stane standardem a fosilní paliva budou nahrazena obnovitelnými zdroji.

Návrhu vytápění a chlazení musí ovšem předcházet správný architektonický koncept. Proto je nutné vhodně navrhnout umístění oken vzhledem k orientaci ke světovým stranám, jejich velikost a především systém stínění. Takové řešení pak v kombinaci s vhodnou konstrukcí a její schopností akumulovat teplo/chlad, vede ke snižování tepelných zisků v létě a větší tepelné pohodě v interiéru.

Po porovnání variant bude na základě bodového systému zvolena ta nejlepší možnost a v praktické části rozpracována. Praktická část obsahuje technickou zprávu, výkresovou dokumentaci, katalogy od výrobců použitých prvků a příslušné výpočty.

2. Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelné zdroje energie jsou takové, které se v lidském časovém měřítku přirozeně obnovují [1]. Lze je dělit podle energonositelů, ze kterých získávají energii. energii lze získat z prostředí ve formě solární energie, geotermální energie nebo využít energii vody, země či ze vzduchu.

2.1. Solární energie

Solární energie je všude dostupná, ale její intenzita závisí na aktuální poloze Slunce a jeho stínění. Z přímého slunečního záření letní oblohy lze získat i přes 1000 W/m^2 , ovšem při zatažené obloze, lze získat energii jen z takzvaného difúzního záření okolo 100 W/m^2 . Difúzní záření je rozptýlené přímé záření, které dopadá na Zemi ve všech směrech. Součtem intenzity difúzního a přímého záření je globální sluneční záření [2].

Systémy využití solární energie se dělí do dvou směrů, a to na fotovoltaické a fototermitické systémy.

2.1.1. Fotovoltaické solární systémy

Fotovoltaické systémy fungují na principu fotovoltaického jevu, kde fotony jsou přeměněny na elektrickou energii. Dopadající sluneční záření na povrch polovodiče uvolní elektrony. Oddělující PN přechod nedovolí elektronům procházet do vrstvy P a tím pádem se hromadí ve vrstvě N. V N-vrstvě se shromažďují elektrony a v P-vrstvě takzvané díry, tedy kladně nabitě částice. Nerovnoměrností

nábojů vzniká elektrický potenciál. Pokud se propojí elektrody s vnějším obvodem, začnou procházet vodičem z N-vrstvy do P-vrstvy.

Nejrozšířenějším typem fotovoltaických panelů jsou krystalické panely, které jsou sestavené z tenkých desek krystalického křemíku. Účinnost fotovoltaických panelů se pohybuje do 20%, orientace je ideální na jih (příp. jihozápad či jihovýchod) se sklonem okolo 35°. Méně časté jsou tenkovrstvé panely, ty dosahují nižší účinnosti než krystalické, ale lépe dokáží zužítkovat difúzní záření.

Následně je nutné vyrobenou elektrickou energii přeměnit ze stejnosměrného napětí na střídavé pomocí střídače. Nevyužitá elektřina může být akumulována do baterií, do vody ve formě tepla nebo posílána do veřejné elektrické sítě. Ta je buď vykupována za velmi nízkou cenu (cena je proměnlivá cca 0,3 Kč/kWh) nebo lze využít tzv. virtuálních baterií, které nabízejí různé společnosti. Ty fungují tak, že přebytečnou elektrickou energii poslanou do sítě odečte elektroměr. Až ji bude majitel potřebovat, tedy ve chvíli, kdy panely nevyrábí dostatek elektřiny, odebere si stejné množství teoreticky zadarmo [3] [4].

Z hlediska architektury a zakomponování panelů do budovy se rozvíjejí nové technologie. Panely jsou součástí obvodových plášťů či střech, ale slouží i jako samotná krytina (solární tašky od Tesly), nebo mohou být využity pro stínění ve velkých prosklených plochách. Na trhu se začínají také objevovat textilie s fotovoltaickými vlákny do membránových konstrukcí či integrované fotovoltaické panely, které odpadní teplo z panelů využijí na přečištění vody [5].

2.1.2. Fototermické solární systémy

V solárních kolektorech koluje tekutina, která je ohřívána slunečním zářením a předává energii dál do systému. Na solárním kolektoru je absorpční vrstva, která zachycuje sluneční záření. Vrstva je upravena tak, aby pohltila co nejvíce paprsků. K ní je připojeno potrubí, ve kterém proudí teplotnosné medium a přijímá tepelnou energii. Pro větší účinnost jsou kolektory uloženy v tepelně izolačním rámu se sklem (některé systémy využívají vakuum jako dokonalejší izolant). Ten chrání kolektor před mechanickým poškozením a brání přenosu tepla do okolí [6].

Nejčastěji se využívají pro ohřev teplé vody v zásobníku, vody pro bazén nebo k vytápění. Panely se dělí na několik typů, a to ploché deskové, trubicové a koncentrační. Účinnosti jsou závislé na teplotě okolí a teplotě absorbéru.

2.2. Tepelné čerpadlo

Tepelná čerpadla využívají energii okolí a to buď z přírodních zdrojů jako je země, vzduch a voda nebo z odpadního tepla. Jeho funkcí je čerpat tepelnou energii s nižší teplotou z jednoho prostředí a předávat do prostředí druhého s vyšší teplotou.

Nejpoužívanějším typem tepelného čerpadla je čerpadlo s kompresorovým parním cyklem. To se skládá ze čtyř prvků, a to z kondenzátoru, redukčního ventilu, výparníku a kompresoru, mezi kterými proudí chladicí látka. Teplo je odebíráno změnou skupenství - vypařováním chladiva ve výparníku. Z výparníku jsou syté páry odsávány do kompresoru a stlačeny na vyšší tlak a teplotu do formy přehřáté páry. Poté v kondenzátoru předají teplo do okolí změnou skupenství na kapalinu. Z kondenzátoru sytá kapalina putuje do expanzního ventilu, kde se její tlak a teplota sníží při změně skupenství na mokrou páru.

Ukazatelem účinnosti tepelného čerpadla je topný faktor neboli COP. Ten je definovaný jako poměr předaného tepla a spotřebované elektrické energie (kompresorem). Podobně je definovaný chladicí faktor EER, jako poměr tepla odebraného k spotřebované elektrické energii. Čím vyšší faktor tím lepší je tepelné čerpadlo. Tepelný faktor je závislý na teplotě odevzdaného a dodávaného tepla, typu chladiva a kompresoru. Pro srovnání jednotlivých čerpadel výrobci uvádějí hodnoty výkonů a topných faktorů pro různé teploty. Pro tepelná čerpadla země/voda jsou běžně uváděny body 0/35 °C, pro čerpadlo vzduch/voda 2/35 °C a pro čerpadlo voda/voda 10/35 °C. První hodnota je teplota odebíraná z okolí a druhá hodnota je teplota odevzdávaná do systému. Běžné topné faktory se pohybují v rozmezí od 2,5 do 5 [7].

Systém lze využít jak pro vytápění, tedy kdy kondenzátor předává teplo do vnitřního prostředí, tak pro chlazení, kdy výparník odebírá teplo z vnitřního prostředí. Výparník a kondenzátor jsou oba výměníky tepla, jejich konstrukce může být stejná, proto některá čerpadla umožňují obrátit cyklus a využívat je střídavě jako zdroj chladu a zdroj tepla.

Dále existují aplikace čerpadel se současnou výrobou tepla a chladu. Čerpadlo odebírá chlad z primárního okruhu nebo teplo ze sekundárního okruhu podle potřeby a ideálně dochází k souběžnému odběru a produkci energie. Při vyšší potřebě chladu je přebytečné teplo odvedeno do vzduchu nebo uloženo do země [8].

Při aplikaci tepelného čerpadla jako zdroje chladu, vzniká při jeho výrobě odpadní teplo. Pokud se nainstaluje další deskový výměník do okruhu čerpadla, může se odpadní teplo odebírat a předávat jej pro ohřev teplé vody. Přebytečné teplo nevyužité pro ohřev teplé vody je odvedeno do venkovního vzduchu nebo do země [9].

Při určitých podmínkách, lze využít takzvaného pasivního chlazení. To se týká čerpadel země/voda nebo voda/voda. Jedná se o jednoduchý systém, kdy kompresor čerpadla není v provozu a propojí se primární okruh čerpadla s chladícím okruhem budovy přes deskový výměník. V takovém případě musí být teplota venkovního prostředí nižší než teplota v místnosti. Ideální teplotní spád je 16/20 °C a vyšší, proto je vhodné kombinovat pasivní chlazení s plošnými systémy chlazení. Pro chlazení podlahovou plochou je teplotní spád 18/22 °C a vyšší, aby nedocházelo k diskomfortu uživatele. Pro chlazení vzduchotechnickými jednotkami lze použít jen čerpadla voda/voda nebo země/voda s vrty, které umožní získat nižší teplotní spád jako je 12/16 °C. Systém pasivního chlazení je proměnný během letního období. Teploty v plošných kolektorech mohou být koncem léta i 20 °C, pro vrty záleží na jejich hloubce. Celkově je rozhodující dimenzování deskového výměníku mezi primárním a sekundárním okruhem čerpadla. Pasivní chlazení je ideální kombinovat s vhodným systémem stínění. Tím jsou solární zisky nižší a tedy i chladicí výkon [10].

Méně častým typem čerpadel jsou absorpční čerpadla. Ty se skládají stejně jako kompresorová z výparníku, kondenzátoru a redukčních ventilů. Místo kompresoru obsahují absorbér, varník, oběhové čerpadlo, přičemž v systému obíhá absorbent a chladivo. Tyto čerpadla jsou využívána jako zdroj chladu v provozech, kde je větší množství odpadního tepla o vysoké teplotě (např. v průmyslu). Výhodou je, že neobsahují kompresor, který je hlučný a je mu nutné dodávat technickou práci.

2.2.1. Tepelné čerpadlo vzduch/voda

Tepelná energie je získávána ze vzduchu a předávána do vody v systému budovy. Výhodou tohoto typu jsou nejnižší pořizovací náklady oproti ostatním typům čerpadel a také nízké nároky na prostor.

Nevýhodou je nízký COP a tedy vyšší spotřeba elektrické energie, s tím spojená vyšší hlučnost a kratší životnost kompresoru. Tento typ tepelného čerpadla je vhodný tam, kde není volná plocha pro použití čerpadla země/voda [11].

2.2.2. Tepelné čerpadlo země/voda s plošným kolektorem

Tepelná energie je získávána z plošného zemního výměníku, který je rozložen po pozemku v nezámrazné hloubce. Výhodou tohoto systému je vysoký stabilní topný faktor, a tedy i nízká spotřeba elektřiny, dlouhá životnost a možnost pasivního chlazení. Nevýhodou je požadavek na velikost pozemku a zemní práce spojené s uložením kolektoru. Je-li přilehlý pozemek u budovy k dispozici, je tepelné čerpadlo země/voda s plošnými kolektory ideálním zdrojem chladu a tepla [11].

2.2.3. Tepelné čerpadlo země/voda se soustavou vrtů

Tepelná energie je získávána z hlubinných, povrchových nebo koaxiálních vrtů v zemním masivu. Výhodou je vysoký a stabilní topný faktor a tedy i nižší spotřeba elektřiny a dlouhá životnost. Dále malý nárok na prostor vrtů oproti plošným kolektorům a možnost pasivního chlazení. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady a nutnost získání povolení pro vrty. Tepelné čerpadlo se soustavou vrtů lze použít v horských lokalitách a pro vytápění a chlazení velkých budov [11].

Podobné vlastnosti má systém s pilotami. Ten je vhodný pro řešení chlazení a vytápění velkých budov, kde je žádoucí chladit a získávat teplo současně a piloty jsou dostatečně hluboké [11].

2.2.4. Tepelné čerpadlo voda/voda

Tepelná energie může být odebírána buď z povrchové vody, z toku nebo rybníku, pomocí výměníku umístěného ve vodě. Nebo je energie z vody získávána ze sací studny a po jejím ochlazení se vypouští do vsakovací studny nebo vodoteče. Méně obvyklé je využívání geotermální energie vody, kdy její teplota má být větší jak 40 °C. V určitých provozech lze využít odpadního tepla, například z odpadních vod v ČOV [12].

Výhodou je vyšší topný faktor a nižší pořizovací náklady oproti systému země/voda. Nevýhodou jsou ovšem náklady na údržbu filtrů a výměníků, nejistota ve výšce hladiny spodní vody a při dlouhodobém čerpání existuje riziko změny chemického složení vody. Tento systém není příliš častý. Je vhodný, je-li například u budovy hotová studna s vysokou hladinou podzemní vody, nebo jsou-li v okolí termální prameny, které je možné využít [11].

2.3. Odpadní teplo

Energii z odpadního tepla lze odebírat tepelnými čerpadly nebo přes tepelné výměníky. Odpadní teplo vzniká v průmyslu, datových serverovnách a jiných provozech. Ovšem ty nejsou běžně k dispozici, proto v obytných budovách lze například využít odpadní teplo z odpadních vod. To je možné odbírat z domácí čistírny odpadních vod (je-li v objektu instalovaná) nebo u odtoku, jako jsou například rekuperační výměníky pod sprchami. U nich výrobci garantují účinnost 40 - 70 %, ale ve skutečnosti je jejich úspora 10 - 15 % (vlivem teploty přiváděny vody, délce náběhu a délce kanalizačního potrubí) [13].

2.4. Bivalence

Při výpočtu tepelných ztrát je výpočtová venkovní teplota velmi nízká a těchto hodnot nabývá jen několik dní v roce. Dimenzovat tepelná čerpadla na pokrytí 100 % tepelných ztrát je finančně

i provozně nevýhodné. Tepelná čerpadla mají zajistit co nejlevněji dodávku tepla tak, aby se investice do nich rychle vrátila. Předimenzování navíc snižuje životnost kompresoru v tepelných čerpadlech. U běžných zdrojů tepla, jako jsou například plynové kotle, není velký rozdíl v ceně kotle s výkonem 10 kW nebo 20 kW, ale u tepelných čerpadel je každý kilowatt navíc v ceně mnohonásobně znát. Proto se často tepelná čerpadla navrhnou v kombinaci s doplňkovými zdroji tepla, které je v extrémních poměrech doplňují [14].

Má-li tepelné čerpadlo k dispozici energonositel (např. geotermální energii) o vysoké teplotě a dostatečném množství, pak se vyplatí jej dimenzovat na 100 % tepelných ztrát. Tepelné čerpadlo je tedy monovalentním zdrojem tepla. To ovšem není obvyklé, a tak se čerpadla vzduch/voda běžně navrhnou na 50 - 100 % a země/voda na 80 - 100 % potřebného výkonu. Při nedostatečném výkonu čerpadla během špiček, poskytne bivalentní zdroj potřebný výkon. Průsečík křivek tepelných ztrát a tepelného výkonu čerpadla se nazývá bod bivalence. To je teoretická hodnota, od které tepelné čerpadlo již nedokáže plně pokrýt ztráty objektu. Skutečný bod bivalence nastává při nižších venkovních teplotách než teoretický, protože ho ovlivňuje akumulace tepla v budově. V praxi tedy není stanovena konkrétní teplota, ale kontroluje se dostatečná teplota topné vody [15] [16].

Elektrokotle vycházejí draž, jsou ale nejběžnější a často jsou součástí čerpadla samotného. Při jeho aplikaci je nutné myslet na velikost jističe. Nejvýhodnější je kombinovat s levnými zdroji jako je plynový kotel nebo kotel na dřevo. Například u čerpadel vzduch/voda je od určitého bodu levnější provoz plynového kotle než čerpadla samotného [17].

3. Plošné vytápění a chlazení

Kombinace tepelných čerpadel s plošným vytápěním/chlazením je velmi výhodná, protože topný faktor čerpadel stoupá se snižující se teplotou vyrobeného tepla. Plošné systémy vyžadují nízký teplotní spád. Teplota přívodní vody bývá volena od 30 - 45 °C a pro chlazení naopak bývá vyšší než u chlazení vzduchotechnikou, a to více jak 16 °C. Navíc lze pro ně snadno aplikovat pasivní chlazení v letních měsících.

Pro otopné a chladicí plochy je možné využít plochy podlahy, stěny nebo stropu. U těchto systémů se sleduje povrchová teplota plochy, aby nepřekročila hygienické limity (pro podlahové vytápění maximálně 27 °C u místností s dlouhodobým pobytem osob). Teplotní spád pro chlazení pomocí podlahy bývá 18/22 °C a povrchová teplota nesmí být nižší než 19 °C. Teplotní spád pro stropní chlazení může být nižší, a to 16/20 °C. U všech ploch je nutné hlídat teplotu přívodní vody, ta nesmí být nižší než teplota rosného bodu v chlazené místnosti, jinak by docházelo ke kondenzaci. Běžně se uvádí minimální teplota přívodní vody pro obytné prostory 16 °C.

Systémy se dělí podle pokládky na suchý a mokrý způsob instalace. Výhodou suché pokládky je menší tloušťka, rychlá instalace, nízká hmotnost a rychlá reakce. Mokrý způsob pokládky se různí podle polohy systému ve skladbě konstrukce. Potrubí může být umístěno přímo v betonové nosné konstrukci. Tomu se říká systém s aktivací betonového jádra, kde se systémové trubky umísťují na neutrální osu betonové desky (kvůli zatížení). Výhodou je, že energie je naakumulována v celé konstrukci, ale naopak velkou nevýhodou je pomalá reakce systému. Systémové trubky mohou být přimontovány na nosné konstrukci pomocí fixních rastrů a překryty vrstvou omítky. Toto je běžný způsob aplikace plošného vytápění/chlazení a výhodou je jeho rychlejší reakce a flexibilita aplikace [18].

Systém stropního vytápění není příliš běžný, ale je velmi výhodný. Stropní vytápění funguje na způsobu sálání. Pod stropem vzniká vrstva teplého vzduchu (cca 20 cm), který ohřívá strop a zvyšuje jeho teplotu a tedy i sálavou složku. Sáláním se začnou ohřívat předměty v kolmém směru (podlaha, nábytek...) a od nich se ohřívá vzduch v místnosti. Při porovnání teplot v místnosti se podlahové a stropní vytápění příliš neliší. Výhodou podlahového vytápění je příjemný pocit teplé podlahy, ale naopak stropní chlazení je v tomto případě lepší. Dále výhodou pro stropní aplikaci je variabilita umístění nábytku a koberce [19].

4. Popis objektu

Vybraný objekt je nástavba na stávající studentské koleje Větrník v Praze. Řešený projekt navazuje na zadání z mezinárodní soutěže Solar Decathlon Europe 2021. Nástavba rozšiřuje ubytovací kapacitu vysokoškolských studentských kolejí. Budova by měla v maximálně míře využívat obnovitelných zdrojů. Proto nové systémy TZB využijí jen napojení na studenou vodu a na splaškovou kanalizaci stávajících kolejí.

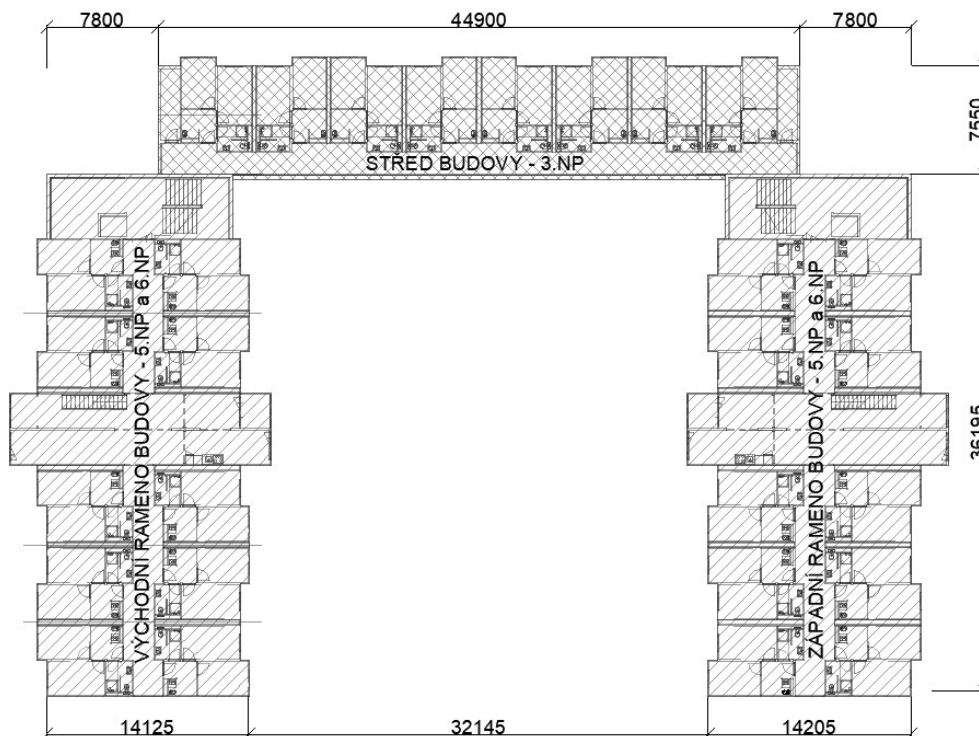
Koleje Větrník stojí na půdorysu tvaru písmene U, kde stávající středová část má dvě nadzemní podlaží a obě ramena čtyři nadzemní podlaží. Navržená nástavba je poskládaná z kontejnerových buněk. Ty tvoří jednotlivé pokoje studentů, sociální zázemí, společenské místnosti a technické prostory. Na patrech jsou rozmístěny buňky, které se skládají ze dvou jednolůžkových pokojů se společnou malou kuchyňkou a koupelnou.

Na středové části je navržena nástavba třetího patra. Zde se nachází 16 jednolůžkových pokojů s okny orientovanými na sever, jejich sociální zázemí a technické prostory. Hlavní chodba je napojena na stávající čtvrté patro východního a západního ramene kolejí a její celou jižní stěnu tvoří prosklený lehký obvodový plášť. Nad pokoji se nachází nepochozí podkroví a sedlová střecha.

Ramena budovy jsou zrcadlově symetrická podle středové části a jsou na nich navržena další dvě patra. Hlavní schodiště navazuje na schodiště stávajícího 4. NP. V rameni budovy se v 5. NP nachází zázemí pro TZB, 18 jednolůžkových pokojů s okny orientovanými na východ a západ a uprostřed společenská místnost. V 6. NP je umístěná terasa, 20 jednolůžkových pokojů s okny orientovanými na východ a západ a ve středu budovy společenská místnost. Střecha 6. patra je plochá.



Obrázek 1_ Vizualizace budovy



Obrázek 2_Schéma řešené budovy

5. Multikriteriální analýza

Pro zhodnocení variant byl vytvořen bodový systém, který uděluje body podle důležitosti jednotlivých kritérií, inspirovaný certifikačním nástrojem SBToolCZ, kde body za jednotlivá kritéria mají různou váhu [20]. Aby bylo možné porovnávat varianty z hlediska doby návratnosti, byla vytvořena varianta č. 0, kde potřeba celkového tepla je celá pokryta plynovým kondenzačním kotlem. Poté podle pořizovací ceny a teoretických ušetřených nákladů za roční potřebu plynu, lze stanovit

dobu návratnosti pro jednotlivé varianty. Cena plynového kondenzačního kotle je 167 000 Kč a cena plynu za rok 130 000 Kč [21]. Doby návratnosti byly spočítány pomocí excelového souboru, který nám byl poskytnut v předmětu Energetický audit budov.

Tabulka 1_Hodnocení kritérií

Hodnocení	Body [-]	Váha bodů [%]
Celková pořizovací cena	1-10	4
Doba návratnosti	1-10	8
Pokrytí potřeby tepla a chladu z OZE	1-10	50
COP	1-10	10
Ostatní výhody (+ body) a nevýhody (- body)		28

Pro jednotlivá kritéria byly zvoleny okrajové meze a to zaokrouhlené hodnoty například k nejnižší a nejvyšší ceně nebo k době návratnosti. Intervaly jsou voleny tak, aby hodnoty mezi byly přibližně stejně vzdálené od krajních hodnot kritérií, a mezi nimi jsou body interpolovány.

Nejdůležitější aspekt celého hodnocení je procento využití obnovitelných zdrojů jako hlavních zdrojů tepla a chladu. Jediná správná cesta k udržitelnému vývoji je přechod na využívání pouze obnovitelných zdrojů energie a materiálů. Proto je tento bod hodnocení přísnější než hodnocení účinnosti neboli topného faktoru COP, který samozřejmě úzce souvisí se spotřebou elektrické energie. Body pro jednotlivé výhody a nevýhody zvolených variant jsou udělovány podle toho, jakou by měly hodnotu pro obyvatele budovy. Ekologická nenáročnost budovy souvisí i s její funkčností. Například pokud by budova byla uživatelsky málo přívětivá, mohou o ni uživatelé ztratit zájem a stala by se zátěží pro okolí nebo investora při případné přestavbě. Proto má velkou váhu například regulace systému vytápění a chlazení. Jelikož se jedná o studii, nejmenší váhu má pořizovací cena, i když je zřejmé, že v praxi by cena hrála jednu z hlavních rolí, a naopak pro tuto studii důležitějším aspektem než cena je doba její návratnosti.

Z předběžného výpočtu pomocí online tabulek [3] je potřebný výkon na přípravu teplé vody 14,44 kW a tepelné ztráty budovy 32 kW.

5.1. Koncept varianty č. 1 - TČ země/voda a voda/voda

V první variantě je využito energetického potenciálu dešťových vod. Srážková voda je svedena ze střech celého objektu do podzemní akumulační nádrže umístěné na přilehlém pozemku kolejí. Ta je posléze využita v letních měsících pro volné chlazení obytných místností. Místnosti jsou chlazeny stropy, tudíž minimální teplota přívodní chladicí vody musí být 16 °C (aby nedocházelo ke kondenzaci) což by srážková voda splnila [22 str. 29]. Naakumulovaná dešťová voda bude navíc využita na zálivku přilehlého pozemku kolejí a na splachování toalet v části budovy. Navrhovat splachování dešťovou vodou v celém objektu by nebylo výhodné, protože plocha střechy není dostatečně velká, nádrž by byla často dopouštěna vodou z vodovodního řádu a na zalévání zeleně by nezbyla kapacita (navíc zalévat rostliny dešťovou vodou je z hlediska složení vody lepší). Aby bylo možné v letních měsících stále chladit, splachovat a zalévat, bude nádrž dopouštěna pitnou vodou z veřejného vodovodního řádu na minimální objem. Naopak přebytek je přepadem odveden do vsaku.

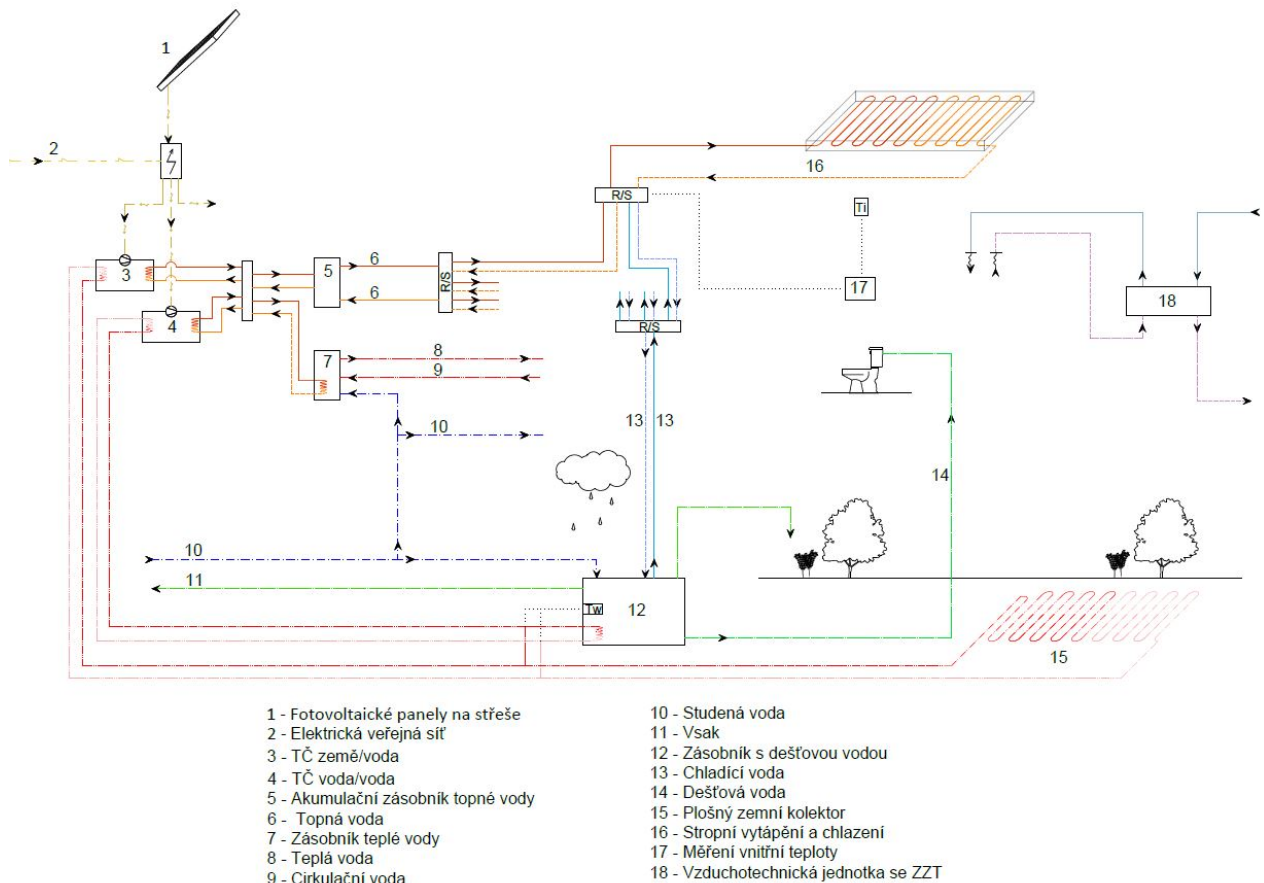
Ohřev teplé vody v letních měsících je řešen pomocí tepelného čerpadla voda/voda, kde tepelnou energii primárně odebírá plošný kolektor umístěný na dně nádrže s dešťovou vodou. Tím

ochlazuje dešťovou vodu, a tedy zvyšuje efektivitu chlazení. Tudíž není pravděpodobné, že by došlo k situaci, kdy by voda v nádrži nebyla dostatečně chladná, aby nepokryla tepelnou zátěž v obytných místnostech, když z ní je zároveň odváděno teplo pro ohřev teplé vody. Pokud by byla ovšem dešťová voda vychlazená na svou minimální mez (zvoleno 5°C), začne tepelné čerpadlo odebírat teplo ze zemního masivu plošnými kolektory.

Ohřev teplé vody a vytápění celého objektu v zimním období obstarají obě tepelná čerpadla. Ty odebírají tepelnou energii ze zemního plošného kolektoru nainstalovaného na pozemku kolejí a i z nádrže s dešťovou vodou.

Jednotlivé místnosti jsou vytápěny pomocí stropního vytápění, tudíž stačí nízký teplotní spád a to např. 35/30 °C. Systém vytápění a chlazení je čtyřtrubní. K buňce pokojů je přivedeno potrubí, jak chladicí tak topné vody, a podle teploty v místnosti bude prostor vytápěn nebo chlazen.

Větrání bude řešeno zvlášť se zpětným získáváním tepla. Na střeše jsou umístěny fotovoltaické panely, které dodají elektrickou energii čerpadlům a do budovy.



Obrázek 3_Schéma konceptu č. 1

5.1.1. Řešení konkrétních prvků varianty č. 1

Střední část budovy kolejí má sedlovou střechu orientovanou na sever a jih se sklonem 15°. Na jižně orientované polovině střechy budou umístěny fotovoltaické panely o ploše 149,5 m². Elektrická energie jimi vyrobená bude spotřebována kompresory tepelných čerpadel, spotřebiči v budově a přebytek bude prodáván do veřejné sítě. Z dat ze serveru PVGIS lze získat hodnoty měsíčních

intenzit slunečního záření na metr čtvereční plochy panelů [23]. Podle nich, je stanoveno měsíční pokrytí spotřeby energie kompresorů a přebytky energie prodávané do sítě. Intenzity slunečního záření jsou vynásobeny 20 % účinností fotovoltaických panelů.

Stanovení měsíční spotřeby energie z příkonů kompresorů čerpadel:

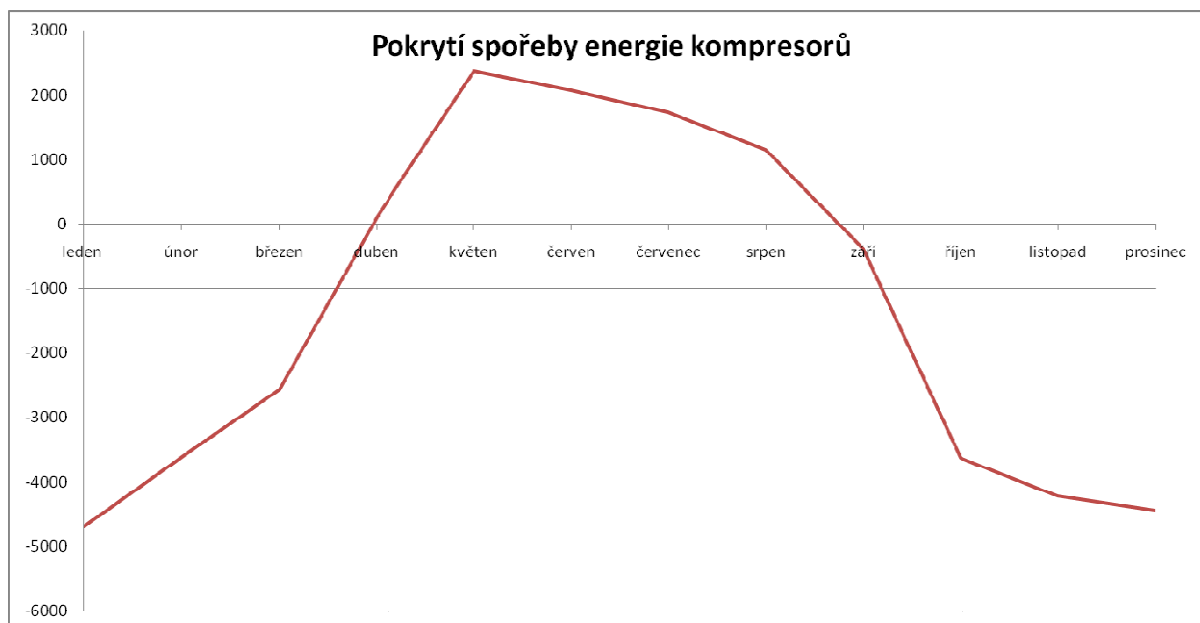
příkon čerpadla voda/voda P_1 3,65 kW

příkon čerpadla země/voda P_2 4,06 kW

$$E_{\text{més}} = (P_1 + P_2) \cdot 24 \cdot 30 = (3,65 + 4,06) \cdot 24 \cdot 30 = 5551,2 \text{ kWh/měsíc}$$

Tabulka 2_Pokrytí spotřeby elektrické energie fotovoltaickými panely

Měsíce	Měsíční sluneční energie kW/m ²		Pokrytí příkonu kompresoru FV panely
	kWh/m ²	Přepočtené na plochu, n=20% kWh	
leden	19,25	863	-4688
únor	43,34	1944	-3607
březen	66,6	2987	-2564
duben	126,33	5666	115
květen	176,73	7926	2375
červen	170,09	7629	2077
červenec	162,47	7287	1736
srpen	149,58	6709	1157
září	115,12	5163	-388
říjen	42,82	1920	-3631
listopad	29,8	1337	-4215
prosinec	24,78	1111	-4440



Obrázek 4_ Grafické znázornění ročního průběhu pokrytí elektrické energie fotovoltaickými panely

Tepelné čerpadlo Vitocal s výkonem 15,46 kW při W10/W55 pokrývá energii potřebnou pro ohřev teplé vody. Ačkoli se nejedná o klasický systém čerpadla voda/voda, kde je voda čerpána mezi studnami, tak výrobce uvádí jak hodnoty výkonu při W10, tak i B0. Je tudíž možné zkombinovat zdroje tepelné energie do jednoho systému, tedy jak vodu, tak zemní masiv. Tepelné čerpadlo země/voda s výkonem 17,24 kW při B0/W35 společně s čerpadlem voda/voda mají výkon 32,7 kW. Ty dohromady plně pokrývají potřebu teplé vody a při extrémních podmínkách necelých 60 %

tepelných ztrát budovy. Navrhovat čerpadlo na 100 % tepelných ztrát by bylo neekonomické, tudíž při extrémních podmínkách bude sepnut elektrokotel, který je defaultně instalován v tepelném čerpadle. Pokud by při chodu obou čerpadel teplota v nádrži dosáhla svého minima, pak by tepelné čerpadlo voda/voda začalo odebírat energii ze země. V případě, že by energie ze země na ohřev teplé a topné vody nestačila, začaly by se spínat postupně elektrokotle, dokud by podmínky nedovolovaly znovu využívat energii z prostředí.

Celková užitná plocha střechy je 1410 m². Objem nádrže je navržen na překlenutí sucha, tudíž by podle online výpočtu měla mít objem 30 m³. Nádrž je betonová skládaná od firmy Prefa Brno. Aby se do systému potrubí vytápění a chlazení nedostaly nečistoty z dešťové vody, bude chlad předáván přes tepelný výměník do uzavřeného systému chlazení.

Množství srážek	j = 550 mm/rok ???
Délka půdorysu včetně přesahů	a = 10 m ???
Šířka půdorysu včetně přesahů	b = 12 m ???
Využitelná plocha střechy (<input checked="" type="checkbox"/> zadat ručně)	P = 1410 m ² ???
Koeficient odtoku střechy	f _g = 0.6 <= asphalt s násypem křemíku ???
Koeficient účinnosti filtru mechanických nečistot	f _f = 0.9 ???
Množství zachycené srážkové vody Q: 558.36 m³/rok ???	
Objem nádrže dle množství využitelné srážkové vody	
Množství odvedené srážkové vody	Q = 558.3 m ³ /rok
Koeficient optimální velikosti (-)	Z = 20
Objem nádrže dle množství využitelné srážkové vody V_p: 30.6 m³ ???	

Obrázek 5_Výpočet objemu nádrže [24]

5.1.2. Zhodnocení varianty č. 1

Velkou výhodou tohoto řešení je čtyřtrubní systém vytápění a chlazení. Nádrž s dešťovou vodou, tedy zdroj chladu, a zásobník s topnou vodou jsou k dispozici celoročně. Zásobník může být v létě ohříván dopředu v závislosti na předpovědi počasí (pokud by hrozilo neobvyklé chladné období, během kterého by bylo nutné topit). Tudíž v závislosti na vnitřní teplotě lze některé místnosti chladit a jiné vytápět. Menší nevýhodou je nutné zajištění správné kooperace vnitřní teploty s dodávkou chladu a tepla. Do místnosti je přiváděno minimální hygienické množství vzduchu, tudíž hluk při distribuci je nižší, než kdyby jim byla odváděna i tepelná zátěž.

Stavebním zákonem a jeho prováděcími vyhláškami (§20 odst. 5 vyhlášky č. 501/2006 Sb.) je stanovena povinnost řešit likvidaci dešťových vod na pozemku. Řešená budova je střešní nástavba, bude se tedy měnit celá střecha, proto je tuto povinnost nutné vyřešit. Tudíž se zpětné využití srážkových vod nabízí jako ideální varianta.

Nevýhodou tohoto řešení je složitost mezi přepínáním tepelných čerpadel a možnost zamrznutí nádrže v chladnějším období. Teplota v nádrži je závislá na mnoha faktorech (potřeba ohřevu teplé

vody, tepelná zátěž a aktuální klimatické podmínky) a proto je velmi obtížné předvídat chování systému, teplotu v nádrži, spotřebu energie a její potřebu. Do nádrže se navíc vejde jen omezené množství kolektorů, tudíž nádrž s dešťovou vodou je nestabilní zdroj energie a musí být zajištěna komunikace mezi jednotlivými větvemi primárního okruhu čerpadla. Pokud okruh v nádrži nestačí na ohřev teplé vody, otevřou se v rozdělovači primární části okruhu se smyčkami zemního kolektoru. Další nevýhodou jsou rozsáhlé zemní práce pro instalaci zemního kolektoru a akumulární nádrže.

Nevýhodou podlahového a stropního vytápění je jejich velká tepelná setrvačnost. Tento systém nelze rychle/skokově ovládat. Jednotlivé buňky s pokoji (kuchyňka, koupelna a 2 pokoje) mají společný systém a podle jejich vnitřní teploty je celá buňka chlazená nebo vytápěna. Nelze chladit a zároveň vytápět jednotlivé pokoje zvlášť, ale jen po buňkách.

Tabulka 3_Hodnocená kritéria varianty č. 1

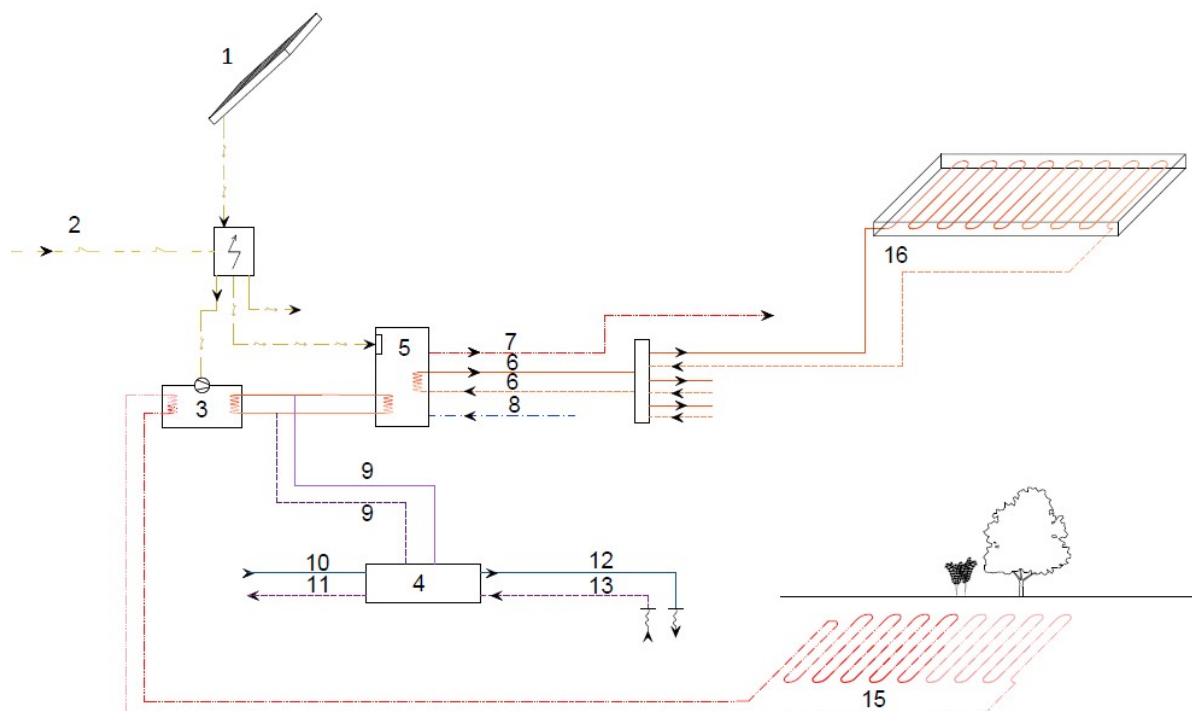
Varianta č. 1.		specifikace	Kč
Tepelné čerpadlo země/voda B0/W35		17,24 kW	218 310
Tepelné čerpadlo voda/voda W10/W55		15,46 kW	216 650
Nádrž na dešťovou vodu např Pefa Brno skládaná		30 m ³	34 000
Fotovoltaické panely na středu 3000 Kč/m ²		149,5 m ²	448 500
Doba návratnosti		5,8 let	
Porytí OZE TČ (celková potřeba tepla-výkon TČ)		70 %	
COP země/voda B0/W35		4,73	Průměrný COP 4,27
COP voda/voda W10/W55		3,80	
Jednotlivé výhody a nevýhody		Výhoda + Nevýhoda -	Body
Využití energetického potenciálu dešťových vod		+	10
Využití dešťové vody na zálivku a splachování		+	8
Změna mezi vytápěním/chlazením		+	8
Okamžitá regulace		-	8
Složitý systém		-	10
Zemní práce		-	2

5.2. Koncept varianty č. 2 - Země/voda a elektrická energie

Zdrojem chladu a tepla je v této variantě reverzibilní tepelné čerpadlo země/voda, které získává energii z plošných kolektorů rozmístěných na přilehlém pozemku. V letních měsících je odebíráný chlad ze země přímo dodáván do vzduchotechnické jednotky. Ta zjišťuje jak přívod čerstvého vzduchu, tak i odvod tepelné zátěže a škodlivin. Ohřev teplé vody v zásobníku během letních měsíců zajišťuje elektrická topná vložka, která získává elektrickou energii primárně z fotovoltaických panelů umístěných na střeše budovy.

V průběhu zimních měsíců tepelné čerpadlo ohřívá zásobník s teplou vodou. V zásobníku je ponořena spirála s topnou vodou, která je průtočně ohřívána. Vytápění místností je řešeno podlahovým vytápěním, které má nízkoteplotní spád např. 40/35 °C. Teplota v zásobníku teplé vody je 55°C a tudíž je možné předat dostatek tepla do topné vody.

V letních měsících, kdy je potřeba chladit a zároveň by slunce dostatečně nesvítilo, bude zásobník teplé vody ohříván elektrinou ze sítě. Naopak při přebytku bude elektrická energie dotovat kompresor tepelného čerpadla, poté bude využita spotřebiči v budově anebo prodávána do sítě.



- | | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| 1 - Fotovoltaické panely na střeše | 9 - Chladicí směs |
| 2 - Elektrická veřejná síť | 10 - Venkovní vzduch |
| 3 - TČ země/voda | 11 - Odpadní vzduch |
| 4 - Vzduchotechnická jednotka se ZZT | 12 - Přívod vzduchu |
| 5 - Akumulační zásobník teplé vody | 13 - Odvod vzduchu |
| 6 - Topná voda | 15 - Plošný zemní kolektor |
| 7 - Teplá voda | 16 - Podlahové vytápění |
| 8 - Studená voda | |

Obrázek 6_Schéma konceptu č. 2

5.2.1. Řešení konkrétních prvků varianty č. 2

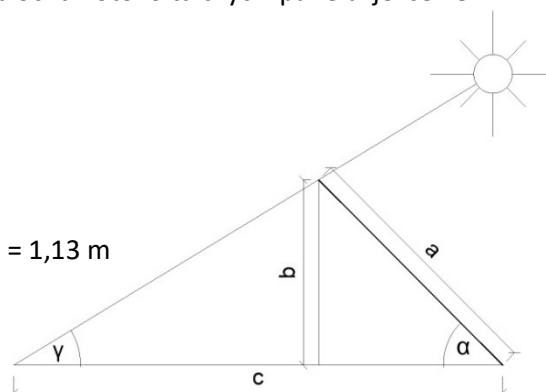
Z dat ze serveru PVGIS lze získat hodnoty hodinových intenzit slunečního záření v letních dnech při jasné a při zatažené obloze [23]. Podle nich je možné zjistit, zda je vůbec reálné, aby FV panely dokázaly v létě pokrýt potřebu teplé vody. Odběr je rozvržen podle modelu 0 - 5 hod 0 %, 5 - 17 hod 35 %, 17 - 20 hod 50 %, 20 - 24 hod 15 %. Jelikož se jedná o nový systém, tak ztráty jsou uvažovány pouze 20 % z potřebného teoretického tepla.

Fotovoltaické panely jsou umístěny na jižně orientované ploše střechy středu budovy a na obou ramenech. Střecha bočních ramen je plochá, a proto budou panely instalovány ve sklonu 45° a rozestupech 3,1 m, aby si navzájem nestínily. Maximální plocha fotovoltaických panelů je celkem 543,8 m².

Výpočet rozestupu panelů:

Délka panelu a 1,65 m
 Sklon panelu α 45°
 Výška zvednutí panelu $b = a \cdot \sin(\alpha) = 1,65 \cdot \sin(45) = 1,13$ m
 Úhel stínu, slunce nad horizontem γ 20°

Rozestup panelů $c = b / \tan(\gamma) = 1,13 / \tan(20) = 3,1$ m



Obrázek 7_Výpočet rozestupu panelů

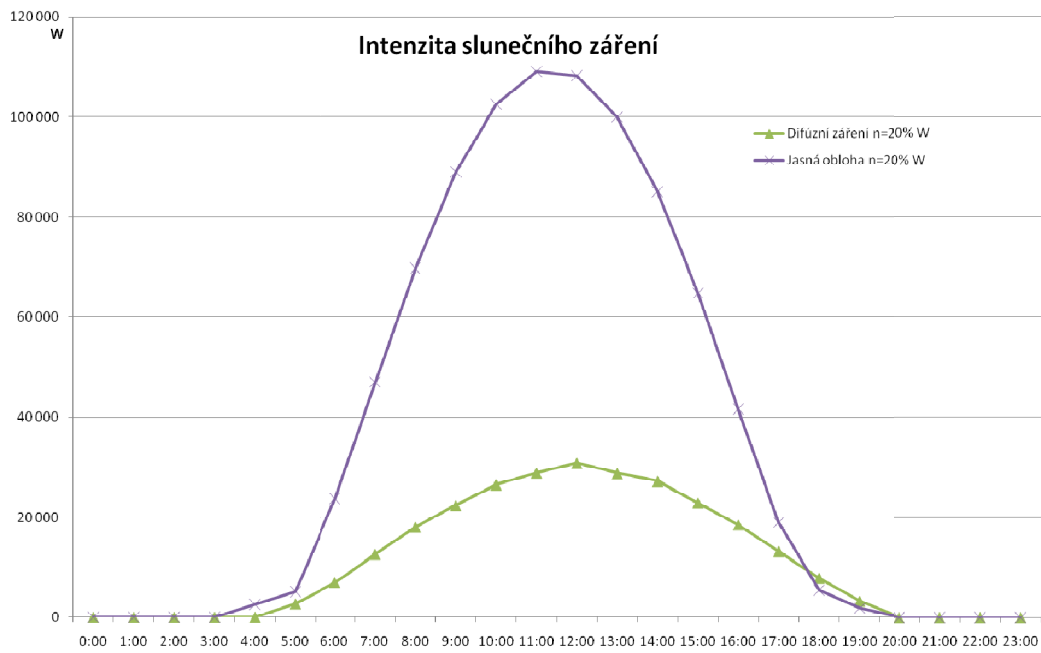
Hodnoty slunečního záření přepočítané na plochu panelů jsou poníženy účinností panelů, a to o 20 %. Ztráty při akumulaci energie ze slunečního záření v zásobníku jsou uvažovány 20 %.

Tabulka 4_Denní průběh odběru teplé vody

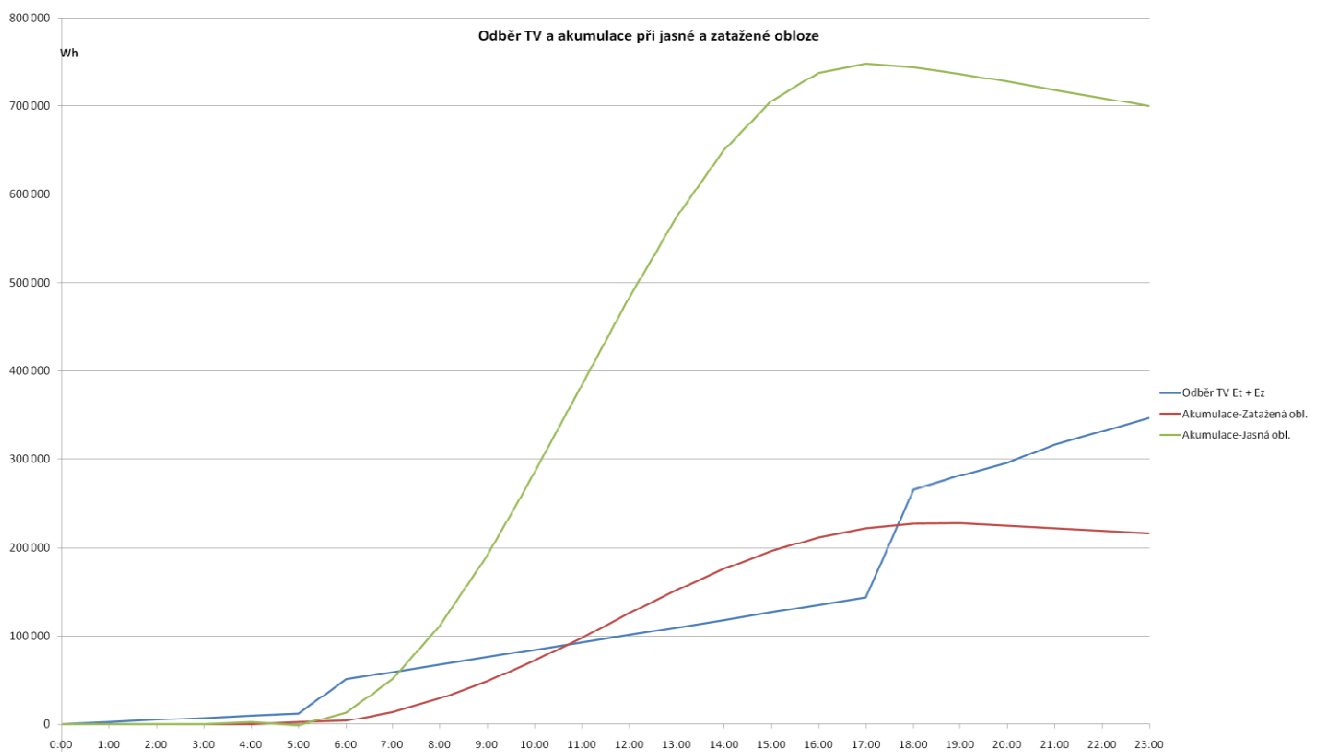
čas	%	pomocný čas	Teoretické teplo Et Wh/den	Ztráty Ez Wh/den	Odběr TV Et + Ez Wh/den
0:00	0%	0	0	0	0
1:00		1	0	2 512	2 512
2:00		2	0	5 024	5 024
3:00		3	0	7 536	7 536
4:00		4	0	10 048	10 048
5:00	0%	5	0	12 560	12 560
6:00		6	35 686	15 072	50 759
7:00		7	41 634	17 585	59 219
8:00		8	47 582	20 097	67 678
9:00		9	53 529	22 609	76 138
10:00		10	59 477	25 121	84 598
11:00		11	65 425	27 633	93 058
12:00		12	71 373	30 145	101 518
13:00		13	77 320	32 657	109 977
14:00		14	83 268	35 169	118 437
15:00		15	89 216	37 681	126 897
16:00		16	95 164	40 193	135 357
17:00	35%	17	101 111	42 705	143 817
18:00		18	221 000	45 217	266 218
19:00		19	233 278	47 730	281 008
20:00	85%	20	245 556	50 242	295 797
21:00		21	263 768	52 754	316 522
22:00		22	276 329	55 266	331 595
23:00	100%	23	288 889	57 778	346 667

Tabulka 5_Hodinové hodnoty letního slunečního záření

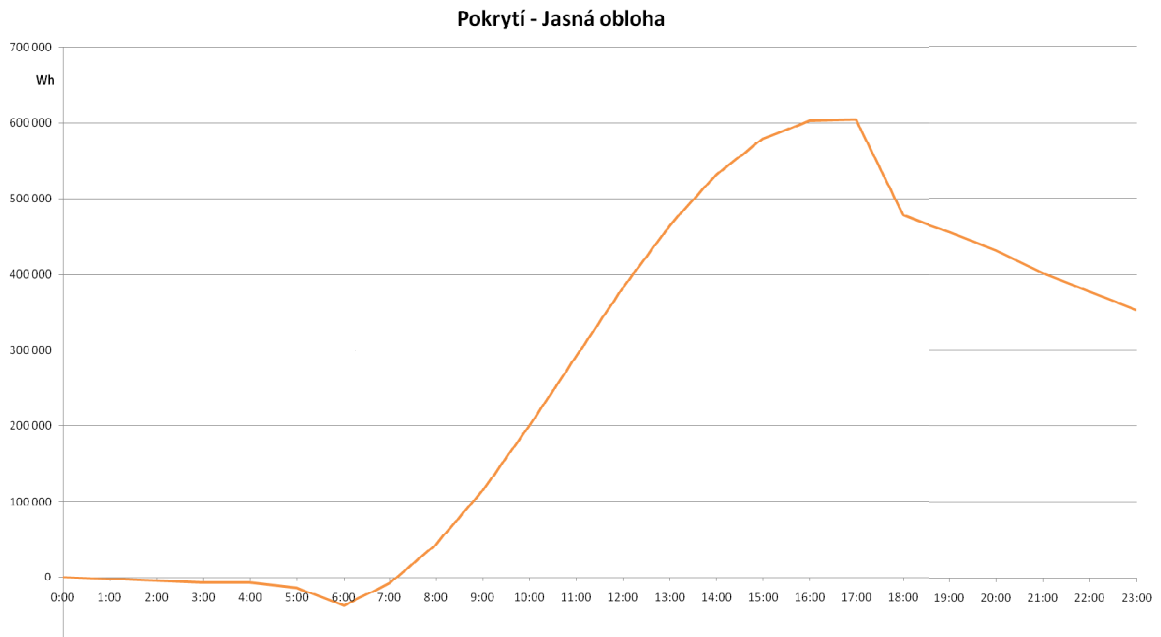
Difúzní záření Wh/m ²	Difúzní záření n=20% W	Jasná obloha Wh/m ²	Jasná obloha n=20% W	Difúzní záření-zataženo				Jasná obloha			
				Akumulace ideální A _i Wh	Ztráty akumul. 20% A _z Wh	A = A _i - A _z Wh	Pokrytí A - (Et+Ez) Wh	Akumulace ideální A _i Wh	Ztráty akumul. 20% A _z Wh	A = A _i - A _z Wh	Pokrytí A - (Et+Ez) Wh
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	-2 512	0	0	0	-2 512
0	0	0	0	0	0	0	-5 024	0	0	0	-5 024
0	0	0	0	0	0	0	-7 536	0	0	0	-7 536
0	0	24	2 610	0	0	0	-10 048	2 610	522	2 088	-7 960
25	2 719	48	5 220	2 719	544	2 175	-10 385	7 831	9 209	-1 378	-13 939
65	7 069	219	23 818	9 788	5 699	4 089	-46 670	31 648	18 418	13 231	-37 528
116	12 616	432	46 983	22 404	8 548	13 856	-45 363	78 631	27 627	51 005	-8 214
166	18 054	641	69 713	40 458	11 398	29 060	-38 619	148 345	36 835	111 509	43 831
206	22 404	818	88 963	62 862	14 247	48 614	-27 524	237 308	46 044	191 263	115 125
244	26 537	942	102 449	89 398	17 097	72 302	-12 296	339 757	55 253	284 504	199 906
265	28 821	1 003	109 083	118 219	19 946	98 273	5 215	448 840	64 462	384 378	291 320
283	30 778	995	108 213	148 997	22 795	126 202	24 684	557 053	73 671	483 383	381 865
264	28 712	919	99 948	177 709	25 645	152 064	42 087	657 001	82 880	574 121	464 144
250	27 189	782	85 048	204 898	28 494	176 404	57 967	742 049	92 089	649 960	531 523
211	22 948	596	64 819	227 846	31 344	196 502	69 605	806 868	101 297	705 571	578 674
170	18 489	383	41 654	246 335	34 193	212 141	76 785	848 522	110 506	738 016	602 659
121	13 160	175	19 032	259 494	37 043	222 452	78 635	867 555	119 715	747 839	604 023
73	7 939	50	5 438	267 433	39 892	227 541	-38 676	872 992	128 924	744 068	477 851
30	3 263	17	1 849	270 696	42 742	227 955	-53 053	874 841	138 133	736 708	455 701
0	0	0	0	270 696	45 591	225 105	-70 692	874 841	147 342	727 500	431 702
0	0	0	0	270 696	48 440	222 256	-94 266	874 841	156 551	718 291	401 769
0	0	0	0	270 696	51 290	219 406	-112 188	874 841	165 759	709 082	377 487
0	0	0	0	270 696	54 139	216 557	-130 110	874 841	174 968	699 873	353 206



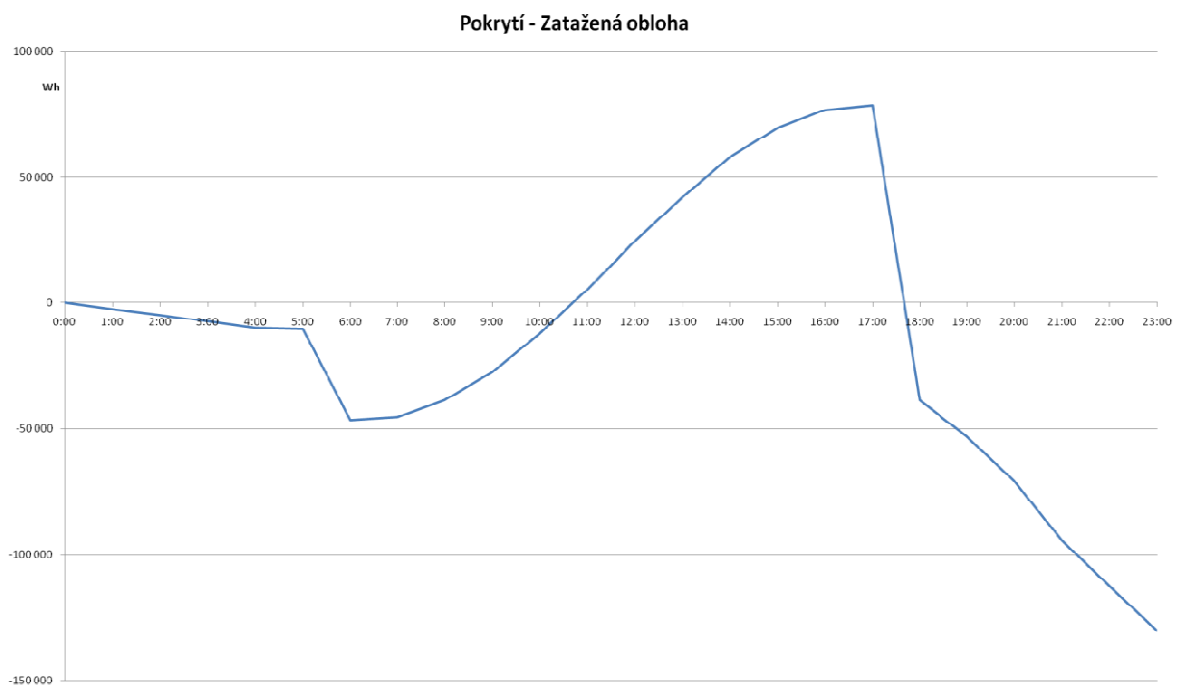
Obrázek 8_Denní průběh intenzity slunečního letního záření



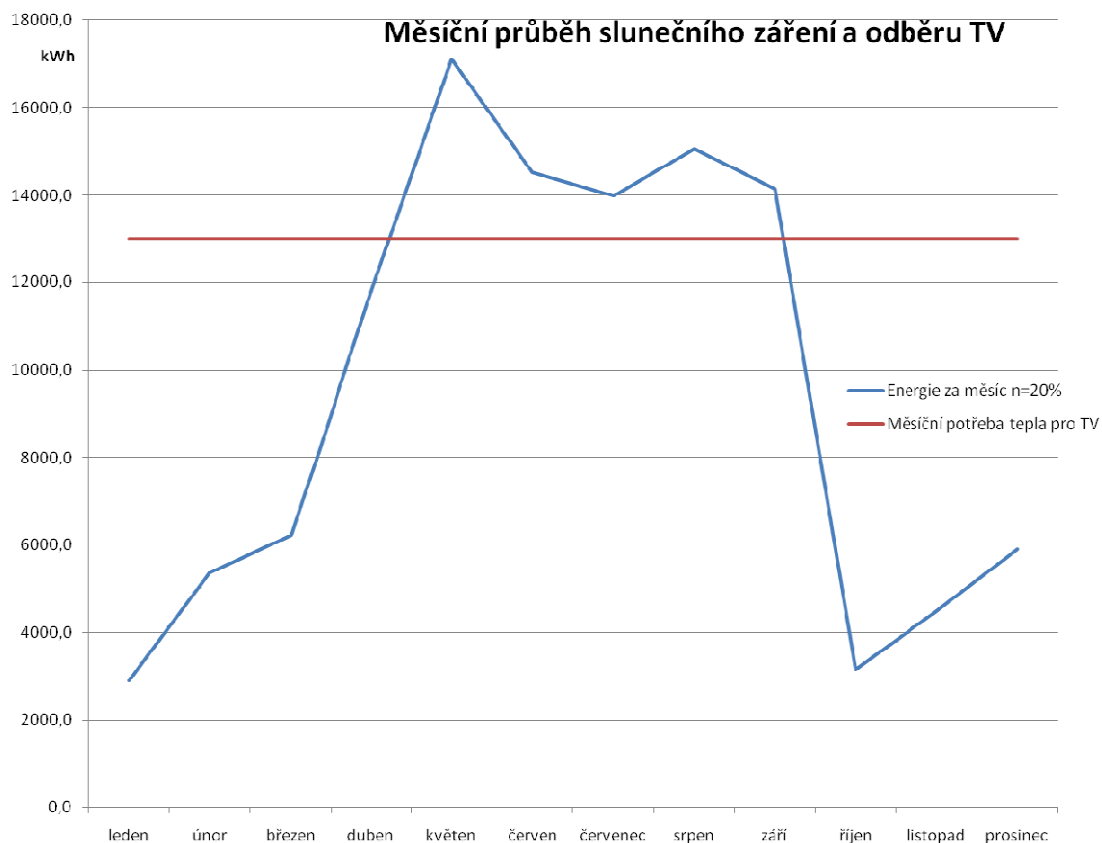
Obrázek 9_Křivka odběru teplé vody a průběhy akumulace energie při jasné a zatažené obloze



Obrázek 10_ Naakumulované teplo získané z letního slunečného dne, snížené hodinovým odběrem teplé vody



Obrázek 11_ Naakumulované teplo získané z celodenně zatažené letní oblohy, snížené hodinovým odběrem teplé vody



Obrázek 12_Měsíční pokrytí spotřeby energie na teplou vodu slunečním zářením

5.2.2. Zhodnocení varianty č. 2

Z grafů vidíme, že při slunečných dnech nebude s pokrytím potřeby tepla fotovoltaickými panely problém. Počáteční záporné hodnoty v ranních hodinách budou vykryty naakumulovaným teplem z předešlého dne. Při zatažené obloze je zisk z FV panelů nižší, ale nedostatek může být pokryt ziskem z předchozího slunečnějšího dne nebo elektřinou ze sítě. Tudíž fotovoltaickými panely lze v létě nabít zásobník s teplou vodou. V hodnotách není započítán odběr tepla topnou vodou, protože výpočet je jen pro letní variantu, kdy je předpokládáno, že nebude třeba místnosti vytápět. I z grafu s měsíčními hodnotami je zřejmé, že v letních měsících je potřeba energie na přípravu teplé vody teoreticky pokryta.

Výhodou této varianty je použití jen jednoho zásobníku s teplou vodou, kde se průtočně ohřeje topná voda, která je k dispozici celoročně. Pro podlahové topení je třeba nízký teplotní spád. V zásobníku teplé vody, kde je teplota okolo 55 °C nebude problém ohřát topnou vodu na 40 °C a méně. Další výhodou je vzduchotechnická jednotka, která nejen že odvádí tepelnou zátěž ve formě citelného i vázaného tepla, ale především umožňuje uživateli rychlou úpravu teploty v místnosti. To v předchozí variantě není možné. Pokud by vytopení místnosti bylo pomalé a komfort pro obyvatele nedostačující, mohla by podlahové vytápění nárazově doplnit VZT jednotka.

Nevýhodou stejně jako u první varianty jsou nutné zemní práce pro instalaci plošného kolektoru. Další nevýhodou je obsazení celé ploché střechy FV panely, a tedy znemožnění jejího využití, jako například dalšího prostoru pro volnočasové aktivity. To by mohlo být například vyřešeno použitím membrán s fotovoltaickými vlákny, které by sloužily jako stínící konstrukce. To by bylo estetičtější, ale účinnost by byla výrazně nižší. Energie z FV panelů bude spotřebována na přípravu TV, ale na pokrytí

kompresorů tepelných čerpadel už stačit nemusí. Tudiž budou kompresory většinu času dotovány ze sítě. Při využití VZT jednotky bude nutné jednotku i potrubí osadit příslušnými tlumiči hluku, aby nedocházelo k diskomfortu uživatelů. Nevýhodou samozřejmě je větší VZT jednotka a větší průměry potrubí, které zaberou více místa, než kdyby VZT jednotka obstarávala jen větrání bez ohřevu a chlazení vzduchu. Další nevýhodou je neobvyklá stavba zásobníku teplé vody se spirálou pro topnou vodu, a tedy jeho pravděpodobné vytvoření na míru.

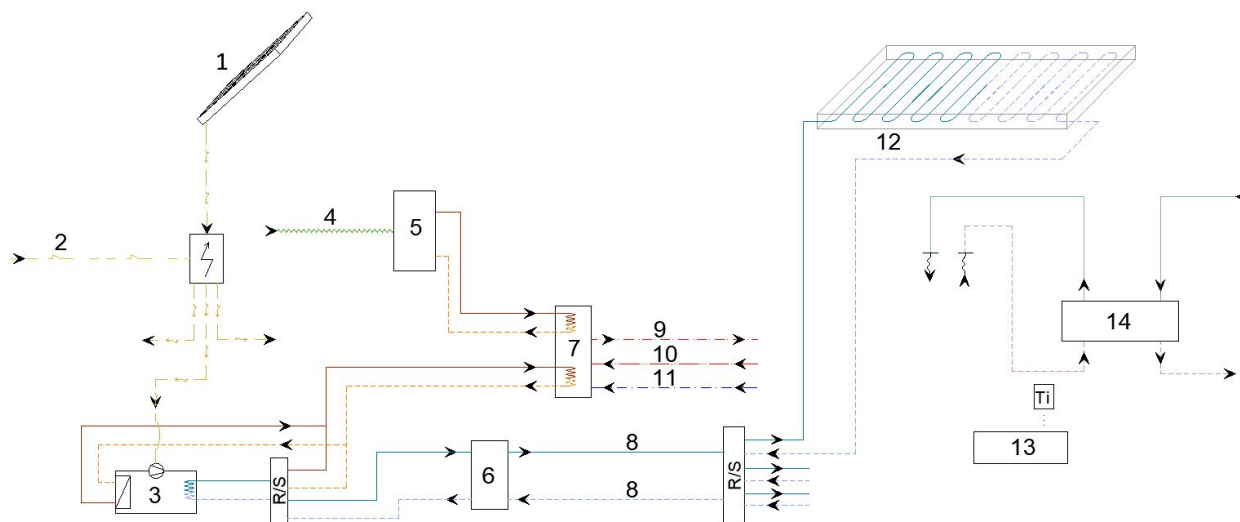
Tabulka 6_Hodnocená kritéria varianty č. 2

Varianta č. 2.		specifikace	Kč
2x Tepelné čerpadlo země/voda		17,24 kW	436 620
Fotovoltaické panely	3000 Kč/m ²	544 m ²	1 632 000
VZT jednotka s chlazením			676 500
Doba návratnosti	19,8 let		
Porytí OZE TČ (celková potřeba tepla-výkon TČ)	73 %		
COP země/voda B0/W35	4,73	Průměrný COP	4,73
COP země/voda B0/W35	4,73		
Jednotlivé výhody a nevýhody		Výhoda + Nevýhoda -	Body
Jeden zásobník pro topnou a teplou vodu		+	4
Okamžitá regulace		+	10
Změna mezi vytápěním/chlazením		+	8
Hluk		-	5
Zemní práce		-	2
Větší VZT jednotka		-	3
Zásobník na míru		-	2
Větší spotřeba elektrické energie na TČ ze sítě		-	5

5.3. Koncept varianty č. 3 - Vzduch/voda a plynový kotel

V této variantě je zdrojem chladu reverzibilní tepelné čerpadlo vzduch/voda s tepelným výměníkem. Tepelné čerpadlo v letních měsících ochlazuje zásobník chladu, z kterého je dál distribuována chladicí voda do stropního chlazení. Přebytečné odpadní teplo, vzniklé při výrobě chladu, je předáno do tepelného výměníku v čerpadle. Díky němu může být předeřhříván zásobník teplé vody. Nevyužité přebytečné odpadní teplo je odvedeno do venkovního prostoru. Pokud by v letních měsících odpadní teplo z chlazení nestačilo pro ohřev teplé vody, bude zásobník dohříván plynovým kondenzačním kotlem. V zimním období ohřev zásobníků s teplou a topnou vodou zajišťuje tepelné čerpadlo v bivalenci s plynovým kondenzačním kotlem. Vytápění místností je opět řešeno stropním vytápěním.

Větrání místností je řešeno zvláště se zpětným získáváním tepla, přičemž na střeše jsou umístěny fotovoltaické panely, které dodají energii tepelnému čerpadlu.



- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1 - Fotovoltaické panely na střeše | 8 - Topná / chladící voda |
| 2 - Elektrická veřejná síť | 9 - Teplá voda |
| 3 - TČ vzduch / voda s deskovým výměníkem | 10 - Cirkulační voda |
| 4 - Plynovodní přípojka | 11 - Studená voda |
| 5 - Plynový kondenzační kotel | 12 - Stropní vytápění/chlazení |
| 6 - Akumulační zásobník topné/chladící vody | 13 - Měření vnitřní teploty |
| 7 - Akumulační zásobník teplé vody | 14- Vzduchotechnická jednotka se ZZT |

Obrázek 13_Schéma konceptu č. 3

5.3.1. Řešení konkrétních prvků varianty č. 3

Stejně jako u první varianty jsou fotovoltaické panely umístěny na sedlovou střechu střední části budovy. Elektrická energie jimi vyrobená bude spotřebována kompresory tepelných čerpadel a přebytek bude přiváděn ke spotřebičům v budově nebo prodáván do veřejné sítě. Z dat ze serveru PVGIS podle hodnot měsíčních intenzit slunečního záření lze spočítat pokrytí elektrické energie spotřebované tepelnými čerpadly [23]. Účinnost FV panelů je volena znovu 20 %. Na celkový požadovaný výkon by jedno čerpadlo nestačilo, proto jsou navrženy tři tepelná čerpadla. Tudiž budou mít obě boční ramena a střední část budovy svá čerpadla vzduch/voda.

Stanovení měsíční spotřeby energie z příkonů kompresorů čerpadel:

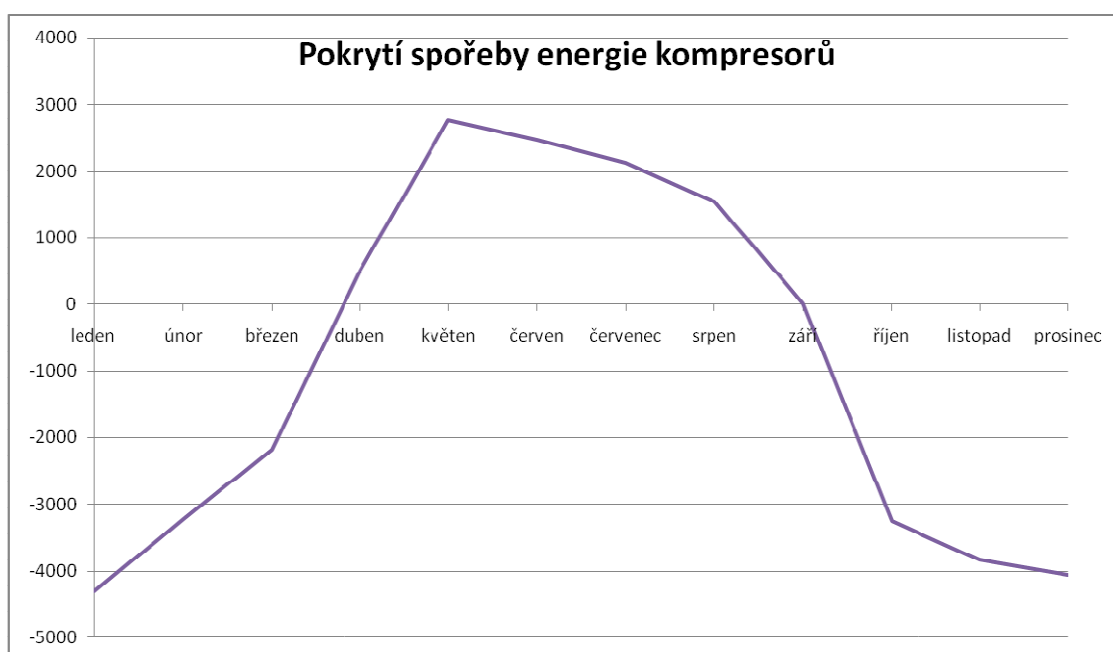
příkon čerpadla vzduch/voda P_1 2,75 kW

příkon čerpadla vzduch /voda P_2 1,67 kW

$$E_{\text{més}} = (2 \cdot P_1 + P_2) \cdot 24 \cdot 30 = (2 \cdot 2,75 + 1,67) \cdot 24 \cdot 30 = 5162,4 \text{ kWh/měsíc}$$

Tabulka 7_ Pokrytí fotovoltaickými panely spotřeby elektrické energie kompresory

Měsíce	Měsíční sluneční energie kW/m ²		Pokrytí příkonu kompresoru FV panely
	kWh/m ²	Přepočtené na plochu, n=20% kWh	
leden	19,25	863	-4299
únor	43,34	1944	-3219
březen	66,6	2987	-2175
duben	126,33	5666	504
květen	176,73	7926	2764
červen	170,09	7629	2466
červenec	162,47	7287	2124
srpen	149,58	6709	1546
září	115,12	5163	0,7
říjen	42,82	1920	-3242
listopad	29,8	1337	-3826
prosinec	24,78	1111	-4051



Obrázek 14_ Grafické znázornění ročního průběhu pokrytí elektrické energie fotovoltaickými panely

5.3.2. Zhodnocení varianty č. 3

Jednou z výhod je, že části budovy na sobě nejsou závislé, a proto bude snazší postavit jednu z nich mimo provoz. To by mohlo být využito například v dnešní době, kdy koleje nemohou být plně obsazené. Další výhodou je jednoduchost systému a jeho aplikace.

Nevýhodou této varianty je, že během roku je k dispozici zásoba buď chladící, nebo topné vody, ale nikdy ne obojího zároveň. Postrádá tedy možnou variabilitu systému vytápění a chlazení současně. Pokud by přišla náhlá změna počasí, není systém dostatečně flexibilní (i díky tepelné setrvačnosti plošného vytápění/chlazení), aby zajistil okamžitou změnu teploty a tedy komfort uživatele. Další velkou nevýhodou je vysoké procento využití neobnovitelného zdroje energie ve formě zemního plynu.

Tabulka 8_Hodnocená kritéria varianty č. 3

Varianta č. 3.		specifikace	Kč
2x Tepelné čerpadlo vzduch/voda A2/W35		9,2 kW	308 422
Tepelné čerpadlo vzduch/voda A2/W35		6 kW	101 850
Plynový kotel pro ohřev TV			108 167
Fotovoltaické panely na středu 3000 Kč/m ²		149,5 m ²	448 500
Doba návratnosti		16 let	
Porytí OZE TČ (celková potřeba tepla-výkon TČ)		52 %	
COP 2x TČ vzduch/voda A2/W35	3,4	Průměrný COP	3,50
COP TČ vzduch/voda A2/W35	3,6		
Jednotlivé výhody a nevýhody		Výhoda + Nevýhoda -	Body
Jednoduchý systém		+	10
Jeden zásobník topné/chladicí vody		+	2
Velký výběr výrobků na trhu		+	2
Nezávislost částí budovy		+	6
Porytí nOZE plynovým kotel potřeby TV		-	9
Okamžitá regulace		-	10
Nelze měnit mezi vytápěním/chlazením		-	8

5.4. Porovnání variant mezi sebou

Ve všech třech variantách jsou použity v určité míře fotovoltaické panely, které alespoň částečně pokrývají energii spotřebovanou tepelnými čerpadly (v 2. variantě jen tolik, kolik bude přebývat z ohřevu TV). Proto není v hodnocení nevyčíslena spotřebovaná elektrická energie, protože by bodové hodnocení výrazně neovlivnila.

Tabulka 9_Multikriteriální analýza variant

Multikriteriální analýza		Varianta č. 1	Varianta č. 2	Varianta č. 3
Pořizovací cena	Celková cena [Kč]	917 460	2 745 120	966 939
	Body	8,11	3,90	8,00
	Váha bodů 4%	0,32	0,16	0,32
Doba návratnosti	Doba návratnosti [roky]	5,8	19,8	16,0
	Body	8,27	3,23	4,60
	Váha bodů 8%	0,66	0,26	0,37
Pokrytí potřeby tepla OZE	Pokrytí potřeby OZE	70	73	52
	Body	7,27	7,56	5,36
	Váha bodů 50%	3,64	3,78	2,68
COP	COP průměrný	4,27	4,73	3,50
	Body	5,20	5,80	4,21
	Váha 10%	0,52	0,58	0,42
Ostatní výhody	Body	26,00	22,00	20,00
	Váha bodů 14%	3,64	3,08	2,80
Ostatní nevýhody	Body	-20,00	-17,00	-27,00
	Váha bodů 14%	-2,80	-2,38	-3,78
Celkové body		5,46	4,89	2,39

Varianta č. 3 vychází jako nejméně příznivá a to hlavně kvůli spotřebě zemního plynu jakožto neobnovitelného zdroje. Pokud by bylo použito pouze čerpadlo vzduch/voda, stále by mělo malý COP, o mnoho více bodů by tedy nezískalo a navíc spotřeba elektřiny by byla ještě větší.

Nejlépe vychází první varianta. Ta zvítězila nad druhou variantou díky použití nevyužívaného energetického potenciálu dešťových vod. Nádrže s dešťovou vodou jsou už běžným prvkem na pozemcích staveb a jejich energie zůstává nevyužita. Systém s tepelným výměníkem chladu v nádrži není příliš složitý na instalaci a mohl by se stát používanějším řešením chlazení obytných budov. Pro chlazení administrativních nebo jiných budov s velkou tepelnou zátěží by musel být pravděpodobně doplněn jiným zdrojem chladu, protože potřeba teplé vody není tak velká a tedy nádrž s dešťovou vodou by nebyla dostatečně chlazená. Numerický návrh výměníku mezi dešťovou vodou a chladicí vodou by byl velmi složitý a vzhledem k dlouhé reakční době plošného vytápění zbytečný. Důležité bude, aby teplota přírodní vody nebyla nižší než teplota rosného bodu v místnosti. To by mohlo být vyřešeno třícestným směšovacím ventilem. Jelikož je nádrž zakopaná v zemi, zároveň je z ní odebráno teplo pro ohřev teplé vody, bude předpokládaná teplota v nádrži jistě nižší než 26 °C (výpočtová vnitřní teplota v letním období) a tedy bude docházet ke chlazení místností.

V porovnávání nejsou zohledněny ekologické dopady samotných variant při provozu, údržbě a hlavně likvidaci. Ve všech variantách jsou použita tepelná čerpadla, která obsahují chladiva proudící v primární straně chladicího okruhu. Ačkoli je čím dál tím větší snaha používat ekologičtější chladicí média (například úplný zákaz používání freonů) stále se jedná o látku, která při úniku je závadná vůči okolí. V 2. variantě jsou po celé ploše střechy instalovány fotovoltaické panely. Po vypršení životnosti FV panelů (výrobci uvádějí až 50 let) mohou být panely recyklovány. Sklo a kovy jsou prvky, které tvoří 95 % panelu a mohou být znovu plně využity. Při použití kvalitních fotovoltaických panelů je většina materiálů recyklovatelná. Otázkou však zůstává, jak energeticky náročná je jejich transformace do nových prvků.

6. Závěr

Cílem diplomové práce bylo vytvoření několika variant zásobování teplem a chladem pro nástavbu studentských kolejí a jejich porovnání. Na základě multikriteriální analýzy byla zvolena nejvhodnější varianta, a to varianta č. 1. Ta je vybrána pro podrobné řešení v příložené projektové dokumentaci na úrovni rozšířené dokumentace pro stavební povolení. Varianta byla vybrána především kvůli využití energetického potenciálu dešťových vod jako zdroje chladu a využití tepelných čerpadel jako zdrojů tepelné energie.

Po zvážení, jsou místo dvou tepelných čerpadel v projektu navrženy tři čerpadla země/voda, každé s odbočkou do nádrže s dešťovou vodou, protože možnost nezávislosti jednotlivých částí budovy je velmi výhodná. Tepelná čerpadla zajišťují ohřev topné a teplé vody s tou výjimkou, že energie bude primárně získávána z kolektorů uložených na dně nádrže s dešťovou vodou. Až by energie na ohřev nestačila, bude odebrána ze zemních kolektorů. Podmínky v nádrži s dešťovou vodou jsou proměnné, a proto je velikost zemního kolektoru navržena na pokrytí potřeby teplé vody a části tepelných ztrát. Tím je návrh na straně bezpečnosti, protože zemní masiv, ze kterého odebrá plošný kolektor teplo, má více času na regeneraci/nabíjení tepelné energie během doby, kdy je energie získávána z vody v nádrži. Chlazení budovy je řešeno přes deskový výměník, který odebrá chlad z nádrže dešťové vody a předává ho do okruhu chlazení. V místnostech je navrženo stropní

vytápění a chlazení, kde před vstupem do místností je dle vnitřní teploty přepínáno mezi vytápěním a chlazením. Návrhy konkrétních prvků systémů jsou zpracovány v příložené dokumentaci.

Ačkoli byla zvažována možnost využít energetického potenciálu z odpadních vod, a to pomocí deskových výměníků pod sprchami, nebyla nakonec využita. Jednak proto, že jejich účinnost je nízká, ale především by byla finančně velice náročná, jelikož sprchových koutům je v objektu mnoho. S tímto zároveň souvisí otázka likvidace takového množství výměníků po vypršení jejich životnosti. Fototermika nebyla v konceptech použita, protože využití fotovoltaiky je univerzálnější a elektřina může být využívána na cokoliv.

7. Seznam použitých obrázků

Obrázek 1_ Vizualizace budovy	13
Obrázek 2_ Schéma řešené budovy	13
Obrázek 3_ Schéma konceptu č. 1	15
Obrázek 4_ Grafické znázornění ročního průběhu pokrytí elektrické energie fotovoltaickými panely	16
Obrázek 5_ Výpočet objemu nádrže [24].....	17
Obrázek 6_ Schéma konceptu č. 2	19
Obrázek 7_ Výpočet rozestupu panelů	19
Obrázek 8_ Denní průběh intenzity slunečního letního záření.....	21
Obrázek 9_ Křivka odběru teplé vody a průběhy akumulace energie při jasné a zatažené obloze.....	21
Obrázek 10_ Naakumulované teplo získané z letního slunečního dne snížené hodinovým odběrem teplé vody.....	22
Obrázek 11_ Naakumulované teplo získané z celodenně zatažené letní oblohy snížené hodinovým odběrem teplé vody	22
Obrázek 12_ Měsíční pokrytí spotřeby energie na teplou vodu slunečním zářením.....	23
Obrázek 13_ Schéma konceptu č. 3	25
Obrázek 14_ Grafické znázornění ročního průběhu pokrytí elektrické energie fotovoltaickými panely	26

8. Seznam použitých tabulek

Tabulka 1_ Hodnocení kritérií	14
Tabulka 2_ Pokrytí spotřeby elektrické energie fotovoltaickými panely	16
Tabulka 3_ Hodnocená kritéria varianty č. 1.....	18
Tabulka 4_ Denní průběh odběru teplé vody.....	20
Tabulka 5_ Hodinové hodnoty letního slunečního záření.....	20
Tabulka 6_ Hodnocená kritéria varianty č. 2.....	24
Tabulka 7_ Pokrytí fotovoltaickými panely spotřeby elektrické energie kompresory.....	26
Tabulka 8_ Hodnocená kritéria varianty č. 3.....	27

9. Seznam použitých zdrojů

1. Obnovitelná energie. *wikipedia*. [Online] https://cs.wikipedia.org/wiki/Obnoviteln%C3%A1_energie.
2. Teorie fotovoltaiky. *isofenenergy*. [Online] <http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx>.
3. Co je solární energie a jak ji doma využít? *E.ON Rádce*. [Online] <https://www.eon.cz/radce/chytra-domacnost/jak-vyuzivat-solarni-energii/co-je-solarni-energie-a-jak-ji-doma-vyuzit>.
4. Fotovoltaika. *TZB-info*. [Online] <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika>.
5. Simultaneous production of fresh water and electricity via multistage solar photovoltaic membrane distillation. *nature communications*. [Online] <https://www.nature.com/articles/s41467-019-10817-6#Fig1>.
6. Na jakém principu funguje sluneční kolektor. *viessmann*. [Online] <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/solarni-kolektor-princip.html>.
7. Topný faktor COP - účinnost tepelného čerpadla. *abeceda čerpadel*. [Online] <https://www.abeceda-čerpadel.cz/cz/topny-faktor-cop-ucinnost-tepelneho-čerpadla>.
8. Aktivní chlazení tepelným čerpadlem. *Projektuj tepelná čerpadla*. [Online] <https://www.projektuj-tepelna-čerpadla.cz/cz/aktivni-chlazení-tepelnym-čerpadlem>.
9. Aktivní chlazení s rekuperací odpadního tepla při chlazení. *Projektuj tepelná čerpadla*. [Online] <https://www.projektuj-tepelna-čerpadla.cz/cz/aktivni-chlazení-s-rekuperací-odpadního-tepla-při-chlazení>.
10. Pasivní chlazení tepelným čerpadlem. *Projektuj tepelná čerpadla*. [Online] <https://www.projektuj-tepelna-čerpadla.cz/cz/pasivni-chlazení-tepelnym-čerpadlem>.
11. Správný typ tepelného čerpadla. *Projektuj tepelná čerpadla*. [Online] <https://www.projektuj-tepelna-čerpadla.cz/cz/spravny-typ-tepelneho-čerpadla>.
12. **doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.** Přednáška: Obnovitelné zdroje energie. *Předmět: Vnitřní prostředí a vytápění budov A*. 2019.
13. Účinnost rekuperačního výměníku odpadní vody není rovna úspoře tepla. *TZB-info*. [Online] <https://voda.tzb-info.cz/uspory-voda-kanalizace/14105-ucinnost-rekuperacního-vymeniku-odpadní-vody-není-rovna-úspoře-tepla>.
14. Správný potřebný výkon zdroje tepla. *Projektuj tepelná čerpadla*. [Online] <https://www.projektuj-tepelna-čerpadla.cz/cz/spravny-potrebny-vykon-zdroje-tepla>.
15. Bivalentní zapojení tepelného čerpadla s dotopovým kotlem. *Projektuj tepelná čerpadla*. [Online] <https://www.projektuj-tepelna-čerpadla.cz/cz/bivalentní-zapojení-tepelneho-čerpadla-s-dotopovým-kotlem>.
16. Postup při návrhu tepelných čerpadel. *TZB-info*. [Online] <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelná-čerpadla/12401-postup-při-navrhu-tepelnych-čerpadel>.
17. Plynový kotel připojený k tepelnému čerpadlu. *Projektuj tepelná čerpadla*. [Online] <https://www.projektuj-tepelna-čerpadla.cz/cz/plynovy-kotel-připojený-k-tepelnému-čerpadlu>.
18. Tepelná čerpadla se systémy plošného vytápění a chlazení. *TZB-info*. [Online] <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelná-čerpadla/13026-tepelna-čerpadla-se-systemy-plošného-vytapaní-a-chlazení>.

19. Vytápění – podlahové, nebo stropní? *TZB-info*. [Online] <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-elektrinou/18083-vytapeni-podlahove-nebo-stropni>.
20. SBToolCZ. *Národní nástroj pro certifikaci kvality budov*. 2010.
21. Dodávka zemního plynu - porovnání nabídek. *Kalkulator TZB-info*. [Online] <https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/dodavka-zemniho-plynu-porovnani-nabidek>.
22. **Stropnický, Martin**. Diplomová práce. *Využití dešťové vody v energetickém a ekologickém systému rodinného domu*. místo neznámé : ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov, 2020.
23. Photovoltaic Geographical Information System - PVGIS - Interactive tools . *Photovoltaic Geographical Information System*. [Online] https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#.
24. Posouzení možnosti využití srážkové vody. *TZB-info*. [Online] <https://voda.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/105-posouzeni-moznosti-vyuziti-srazkove-vody>.
25. Projekční podklady a pomůcky - Potřeba teplé vody (ČSN 06 0320) - tabulky pro dimenzování zařízení. *TZB FSv ČVUT*. [Online] <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=3> .
26. ČSN 73 0548. *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*.
27. ČSN 73 0540. *Tepelná ochrana budov*.
28. Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci. *tzb-info*. [Online] <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicevrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>.
29. Vyhláška č. 193/2007 Sb. *Vyhláška, kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu*.
30. Správné zapojení tepelného čerpadla. *Abeceda čerpadel*. [Online] <https://www.abeceda-čerpadel.cz/cz/spravne-zapojeni>.
31. Tepelná ztráta potrubí s izolací kruhového průřezu. *TZB-info*. [Online] <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/44-tepelna-ztrata-potrubu-s-izolaci-kruhoveho-prurezu>.
32. **Kabele, K. a kol.** *Energetické a ekologické systémy 1 : zdravotní technika : vytápění*. Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. 80-01-03327-9.
33. **Kabele, K. a kol.** *TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV. Vytápění - podklady pro cvičení*. Praha : ČVUT, 10/2014, 2014. 978-80-01-05203-7.