

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

SPOLEČNÉ ZAPOJENÍ TČ A SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ DO TOPNÉ SOUSTAVY RD

SIMULTANEOUS UTILIZING OF A HEAT PUMP AND SOLAR PANELS IN A HEATING
SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB GONGOL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.

Abstrakt

Má bakalářská práce je zaměřena na použití TČ a solárních termických kolektorů ve společném zapojení. Stručně ve své práci představuji princip funkce a typy tepelných čerpadel a solárních termických kolektorů. Uvádím také rozdělení zdrojů nízkopotenciálního tepla, které jsou využitelné pro tepelné čerpadlo. Na závěr je proveden výběr čerpadla a solárních kolektorů pro typový dům. Jsou spočítány náklady na vytápění při starém způsobu vytápění a s novým čerpadlem a kolektory. Ty jsou porovnány a je zhodnocena ekonomická návratnost.

Summary

My bachelor thesis focuses on simultaneous utilizing of a heat pump and a solar thermal collectors. I introduce principle and types of heat pumps and thermal collectors. I also introduce different sources of low-potential heat, which can be used for a heat pump. In conclusion, heat pump and solar collectors are chosen for a type house. I calculate costs needed for heating house without and with heat pump. These costs are compared and economic return is evaluated.

Klíčová slova

tepelná čerpadla, topný faktor, bivalentní provoz, nízkopotenciální teplo, termické kolektory, solární záření, tepelné ztráty

Keywords

heat pumps, coefficient of performance, bivalent mode, low-potential heat, thermal collectors, solar radiation, heat losses

GONGOL, J. *SPOLEČNÉ ZAPOJENÍ TČ A SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ DO TOPNÉ SOUSTAVY RD.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojíního inženýrství, 2010. 29 s. Vedoucí doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Společné zapojení TČ a solárních kolektorů do topné soustavy RD vypracoval samostatně a to s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Jakub Gongol

Děkuji tímto způsobem doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi za cenné připomínky a rady, které mi pomohly při vypracování. Rovněž děkuji za vstřícný přístup, za trpělivost a čas, který mně věnoval.

Jakub Gongol

Obsah

| | |
|--|-----------|
| 1 Úvod | 2 |
| 2 Tepelná čerpadla | 3 |
| 2.1 Princip funkce tepelného čerpadla | 3 |
| 2.2 Komponenty TČ | 4 |
| 2.2.1 Kompresor | 4 |
| 2.2.2 Expanzní ventil | 4 |
| 2.3 Topný faktor | 5 |
| 2.4 Chladiva | 5 |
| 2.5 Bivalentní provoz TČ | 5 |
| 2.6 Absorpční TČ | 6 |
| 3 Nízkopotenciální zdroje tepla | 7 |
| 3.1 Původ nízkopotenciálního tepla | 7 |
| 3.2 Zdroje nízkopotenciálního tepla pro TČ | 7 |
| 3.2.1 TČ vzduch-voda | 7 |
| 3.2.2 TČ země-voda | 8 |
| 3.2.3 TČ voda-voda | 9 |
| 4 Solární termické kolektory | 10 |
| 4.1 Sluneční energie | 10 |
| 4.2 Přeměna sluneční energie | 10 |
| 4.3 Solární termické systémy | 11 |
| 4.4 Aktivní termické systémy | 12 |
| 4.4.1 Systémy používající vzduch k přenosu tepla | 12 |
| 4.4.2 Systémy používající vodu k přenosu tepla | 12 |
| 4.5 Typy solárních kolektorů | 13 |
| 4.5.1 Ploché solární kolektory | 14 |
| 4.5.2 Vakuové trubicové kolektory | 15 |
| 4.5.3 Koncentrační kolektory | 15 |
| 5 Návrh zapojení TČ a kolektorů do topného systému | 16 |
| 5.1 Charakteristika objektu | 16 |
| 5.2 Výpočet tepelných ztrát | 16 |
| 5.3 Výpočet potřeb tepla za rok | 17 |
| 5.4 Náklady na vytápění a TUV bez TČ a kolektorů | 19 |
| 5.5 Výpočet výkonu solárního systému | 20 |
| 5.6 Náklady na vytápění a TUV s TČ a kolektory | 20 |
| 6 Ekonomická návratnost | 24 |
| 7 Závěr | 25 |

1 Úvod

V České republice můžeme sledovat stále rostoucí zájem nejen odborníků, ale i běžných uživatelů o úspory energií všeobecně. Tento zájem je ve většině případů hnán touhou po finančních úsporách. Ruku v ruce se zájmem běžných uživatelů jde i stále rostoucí zájem legislativních orgánů o úspory energií a nové způsoby její výroby. Jako případ si můžeme vzít zákaz prodeje běžných žárovek v Evropské unii nebo připravované limity na spotřebu energie elektronických přístrojů v režimu stand-by. Nedávné dění v Evropě po přerušení dodávek zemního plynu nás také přesvědčilo, že energetická soběstačnost Evropské unie je našem vlastním zájmu. To, že jsou ostatní státy ochotny prodávat nám své energetické zdroje nyní, ještě neznamená, že to budou ochotny dělat i v budoucnosti. Je jen stěží představitelné, co by se stalo, kdyby nám vypadlo zásobování elektrickou energií v domácnostech a v průmyslových podnicích. Tento scénář však není tak vzdálený jak si může mnoho z nás myslet. Vyjádření ČEZu jasně varují, že nedojde-li ke zvýšení výrobní kapacity elektrické energie, může docházet k black-outům (výpadkům elektrické sítě) již ve velmi krátkém horizontu. Nejlepším způsobem, jak z této situace ven je však snižování energetické spotřeby. Energie, kterou nemusíme vyrobit je totiž ta nejlevnější a k životnímu prostředí nejšetrnější.

Je přitom velmi důležitý zodpovědný přístup státu při vytváření podpor pro obnovitelné zdroje energie a snižování energetické spotřeby objektů. Jako příklad nám může sloužit stále trvající podpora při dodávání elektrické energie vyrobené pomocí fotovoltaických systémů. Tento systém dotování výkupních cen elektřiny znamenal více než impuls pro běžné uživatele k pořízení fotovoltaických panelů, dobrý investiční záměr velkých firem.

Soustředíme-li se na rodinné domy, nejvíce energie je v našich klimatických podmínkách spotřebováno na vytápění. Většina domů sice netopí přímo elektrickými přímotopy, ale ve výsledku je úspora jednoho kilowattu elektrické energie to samé, jako úspora kilowattu zemního plynu nebo dřeva.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a zhodnotit systém využívající tepelné čerpadlo a solární termické kolektory a jejich zapojení do stávajícího otopného systému budovy. V prvních kapitolách bakalářské práce představím stručně princip fungování a typy tepelných čerpadel a solárních kolektorů. Objekt, na který budu systém dimenzovat, je jednopodlažní rodinný dům v obci Bludovice, která se nachází asi 20 kilometrů od Ostravy. V domě žijí 2 osoby a je využíván celoročně. Stávajícím typem vytápění je kotel na tuhá paliva. Investor má v plánu se ucházet o dotace z programu Zelená úsporám. V další části práce budu počítat energetické úspory a na závěr provedu ekonomické zhodnocení a vyhodnotím finanční návratnost pořizovacích nákladů.

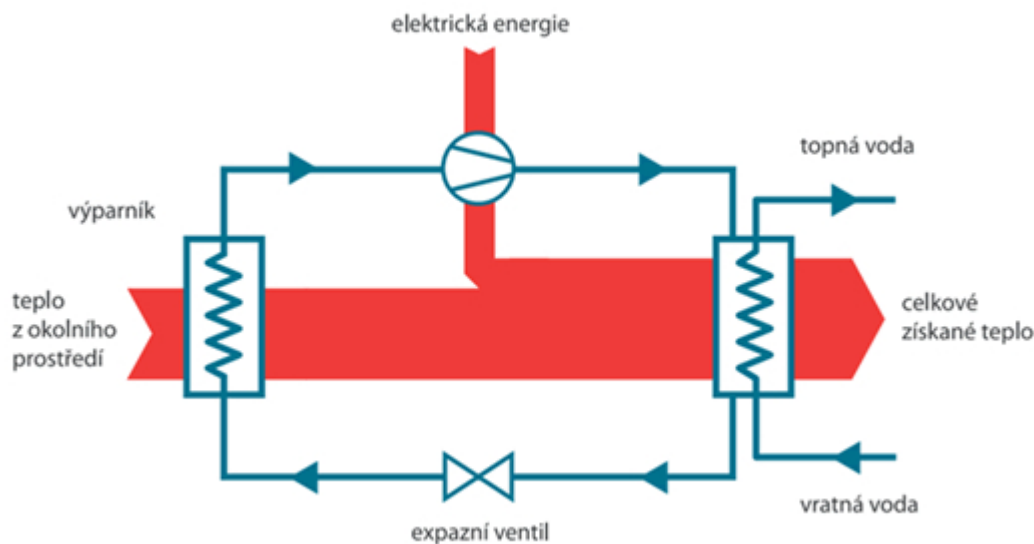
2 Tepelná čerpadla

TČ jsou jednou z posledních velkých inovací, které se v oblasti zásobování domácností a průmyslových objektů tepelnou energií objevily. Je třeba říci, že v České republice se toto zařízení ve velkém v praxi začalo používat naproti zemím na západě se značným zpožděním. A i přes fakt, že samotný princip funkce je znám již od 19. století, dodnes k TČ mnoho lidí vzhlíží s nedůvěrou. K plnému pochopení funkce obráceného Carnottova oběhu, kterým se dá oběh TČ zjednodušeně popsat, je totiž nutná alespoň minimální znalost zákonů termomechaniky, kterou většina běžných uživatelů nemá. Také samotný výběr typu tepelného čerpadla a dimenzování výkonu na konkrétní nemovitost je spíše úkolem pro firmu TČ dodávající, než pro samotného uživatele.

2.1 Princip funkce tepelného čerpadla

K popisu principu funkce TČ použijeme obr. 2.1. Ve většině případů získáváme tepelnou energii k vytápění nebo výrobě teplé užitkové vody ze zdrojů o vyšší teplotě než má vytápěný objekt. V případě tepelných čerpadel je to naopak. Získáváme teplo z okolí o nižší teplotě než má vytápěný objekt. K tomu, abychom toto nízkopotenciální teplo dostali na využitelnou úroveň, musíme TČ dodat energii navíc ve formě elektrické energie potřebné k pohonu kompresoru. Ve výsledku nám však tato energie navíc tvoří pouze malou část tepelné energie, kterou získáme k vytápění. Větší část energie získáme tedy z okolí. My si funkci ukážeme na systému vzduch-voda, který si tuto tepelnou energii bere z okolního vzduchu.

Při běhu tepelného čerpadla teplo z okolního vzduchu přechází do výparníku, kde se při sníženém tlaku chladicí médium o nižší teplotě než je teplota okolního vzduchu a kapalném skupenství vypařuje.



Obrázek 2.1: Okruh tepelného čerpadla[101]

Tím se hodnota nesené energie oběživem zvýší o latentní teplo fázové přeměny. Je třeba zdůraznit, že se v těchto případech nepoužívá voda ale jiné chemické sloučeniny. Za tímto výparníkem se nachází kompresor, který je většinou poháněn elektromotorem.

2.2. KOMPONENTY TČ

Oběživo je nasáváno kompresorem, stlačováno na vyšší tlak a je pod zvýšeným tlakem vháněno do dalšího výměníku, který nazveme kondenzátor. K tomu, aby v kondenzátoru páry zkondenzovaly, není důležitý jen zvýšený tlak, ale také správný směr teplotního gradientu mezi kondenzátorem a sekundárním okruhem. Teplo musí z kondenzátoru odcházet a odvádět teplo generované kondenzací. Při kondenzaci se uvolňuje tepelná energie, která byla uložena ve fázovém skupenství. Ohřátý kondenzátor ohřívá sekundární okruh, jehož pracovní látkou už může být běžná nemrzoucí vodní směs, která nám odchází do topného systému nebo ohřívá teplou užitkovou vodu. Nyní už oběživo v kapalném skupenství a o vysokém tlaku jde do expanzního ventilu, který ho opět vpouští do výparníku. Celý okruh TČ je tedy hermeticky uzavřený.

2.2 Komponenty TČ

2.2.1 Kompresor

Na kompresor TČ jsou kladeny vysoké nároky jak z hlediska účinnosti, tak z hlediska hluku. Podstatným hlediskem je však také životnost kompresorů, která dnes dosahuje velmi vysokých hodnot. To je umožněno hlavně tím, že kompresory pracují v uzavřeném okruhu a tedy s velmi čistým chladivem. Všechny tyto požadavky splňují a do TČ jsou instalovány kompresory typu SCROLL. Kompresory typu SCROLL jsou ideální volbou pro tepelná čerpadla. Díky své konstrukci obsahují méně pohyblivých částí než kompresory pístové a jsou tedy mechanicky daleko spolehlivější. Není u nich potřeba výfukových ventilů a také je téměř eliminován škodný prostor, který se u pístových kompresoru objevuje nad pístem při výfuku. Při běhu také dochází k menším vibracím a také je daleko stabilnější proud stlačených par. Princip funkce si ukážeme na obrázku 2.2.



Obrázek 2.2: Schéma kompresoru SCROLL[102]

Základem kompresoru jsou 2 spirály. Jedna je ukotvena pevně a druhá excentricky rotuje kolem ní. Při rotaci vzniká mezera, ve které je uvězněno chladivo. Při otáčení otáčející se spirály se tato kapsa s chladivem zmenšuje a ve středu jsou tyto páry vyfouknuty.

2.2.2 Expanzní ventil

Expanzní ventil je součástí TČ, která reguluje množství vypouštěného oběživa do výparníku. Ve většině tepelných čerpadel se používají ventily řízené jednoduchou hydraulikou. Nedávno se však objevila největší novinka u TČ a to elektronický expanzní ventil, který je řízen elektronicky a je schopen pružně reagovat na změny provozních podmínek tepelného čerpadla. To sebou přináší zvýšený topný faktor TČ.

2.3 Topný faktor

Právě proto, že k pohonu čerpadla potřebujeme dodatečnou energii, byla stanovena veličina nazvaná topný faktor (Coefficient of performance). Termín účinnost se příliš nehodí kvůli svému specifickému termodynamickému významu. Topný faktor nám dává do poměru tepelnou energii na výstupu, s výkonem, který potřebujeme k pohonu čerpadla. Topný faktor je definován jako :

$$\epsilon_{top} = \frac{|q_H|}{|a_t|} \quad [-] \quad (2.1)$$

- q_H - tepelný výkon, který dostáváme na výstupu z TČ [kW]
- a_t - příkon dodávaný TČ [kW]

Topný faktor je veličina, která nezůstává konstantní, ale její hodnota a tím i úspory za vytápění se s různými vstupními a výstupními teplotami mění. Již z teorie obráceného Carnottova cyklu, který můžeme použít jako zjednodušenou interpretaci cyklu TČ vyplývá, že čím menší je rozdíl teplot, které musí čerpadlo překonat, tím většího topného faktoru dosáhneme. Použijeme-li k vytápění podlahové topení, které nám poskytuje při menších teplotách daleko větší tepelný komfort než vytápění pomocí radiátoru, dosáhneme většího TF a tím větších úspor.

2.4 Chladiva

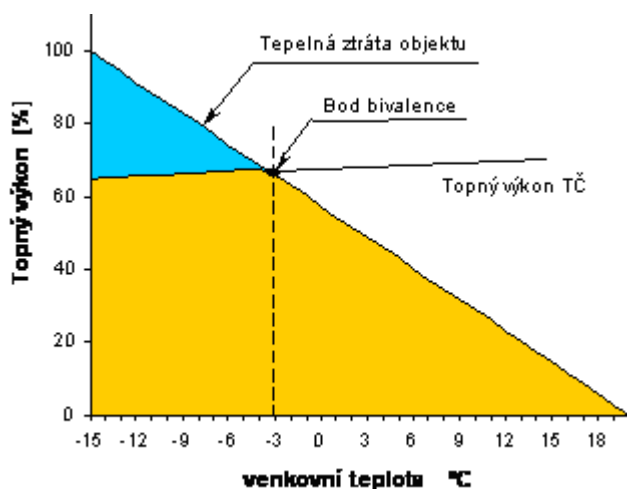
Neméně důležitou součástí TČ je chladivo, které nám v uzavřeném okruhu obíhá. Jsou u něj požadovány hlavně specificky definované vlastnosti, jako výparné teplo a provozní tlaky. V minulosti se používaly uhlovodíky, kde byly atomy vodíku nahrazovány fluorem a chlorem. Ukázalo se ale, že tyto látky nazvány FREONY jsou vzhledem k životnímu prostředí nepřijatelné. Byly proto vyvinuty chemikálie pod označením HCFC (hydrochloro-fluoro uhlovodíky), které jsou také deriváty uhlovodíků, ale s daleko menšími dopady na ozónovou vrstvu. Mezi tyto látky zařazujeme také velmi používanou látku s označením R-22. Vyspělé země jsou však nuceny se i těchto látek zbavovat a z jejich struktury naprosto vyloučit chlor. Toto splňují nejnovější deriváty zvané HFC (hydrofluoro-uhlovodíky).

2.5 Bivalentní provoz TČ

Při dimenzování TČ na konkrétní vytápěný objekt se ve většině případů maximální výkon čerpadla nerovná maximálním ztrátám vytápěného objektu. Pokud by potřebu tepla domu i v těch nejchladnějších dnech bylo schopno zajišťovat TČ, jednalo by se o tzv. monovalentní provoz. Pokud by bylo čerpadlo dimenzováno na maximální ztráty, byla by však jednotka neúměrně velká a to znamená také drahá. Je daleko ekonomičtější volit tepelné čerpadlo o výkonu menším a topit jím v případě, že venkovní teplota nedosahuje extrémních hodnot. TF je v těchto případech větší a tepelné čerpadlo pracuje

2.6. ABSORPČNÍ TČ

samo. Když se venku ochladí na nízkou teplotu, začneme topit navíc ještě sekundárním zdrojem tepla například kamny nebo krbem, který nemusí být napojený na topný systém TČ. Takto řešený systém vytápění se hodí také v případě výpadku proudu nebo poruchy TČ. Při použití TČ, které odebírá energii z okolního vzduchu byl v minulosti bivalentní zdroj tepla nezbytný, jelikož toto TČ nebylo při extrémně nízkých teplotách schopno pracovat. Dnešní moderní jednotky již však umí čerpat teplo i za velmi nízkých teplot. Stanovení toho, při jaké kombinaci výkonu TČ a bivalentního zdroje bude provoz neekonomičtější, není jednoznačně dané. Některé zdroje uvádí, že by výkon tepelného čerpadla měl pokrývat spotřebu 60 % energie nutné k vytápění za nejchladnějšího dne v roce.



Obrázek 2.3: Bivalentní provoz TČ[103]

2.6 Absorpční TČ

Výše uvedené tepelné čerpadlo je označováno jako kompresorové. Přecherpávání tepla na vyšší hladinu je totiž zajišťováno kompresorem. Dalším typem tepelného čerpadla je čerpadlo absorpční. Zde se nevyužívá kompresoru ale absorpce roztoku. *Ve výparníku se vypařuje roztok vysoké koncentrace a rozdílem tlaků proudí do absorbéru. Tam se pohlcuje roztokem nízké koncentrace. Roztok zvýší absorpci chladiva svoji koncentrací a stává se bohatým. Poté je dopraven čerpadlem do výměníku tepla, kde se za přívodu tepla z roztoku vypařuje chladivo a odvádí se do kondenzátoru, kde předává teplo ohřívané látce a zkapalňuje. Kapalně chladivo se opět škrtí na vypařovací tlak a vede se do výparníku*[17]. Dalším typem jsou hybridní TČ, které kombinují prvky kompresorových a absorpčních TČ. Ty se však v praxi moc nepoužívají.

3 Nízkopotenciální zdroje tepla

Při představě vody o teplotě 3°C se nám v hlavě asi nevytvoří představa tepla. Avšak i tento zdroj v sobě určitou tepelnou energii ukrývá. Přímo jí sice v otopné soustavě nemůžeme využít kvůli nízké teplotě, ale po přečerpání na vyšší úroveň se stává využitelnou. V kapitole o TČ jsme si princip funkce vysvětlovali na systému, který si tepelnou energii bral z okolního vzduchu. Toto však není jediné místo ze kterého můžeme nízkopotenciální teplo čerpat. Každý tento zdroj se liší v mnoha ohledech a před pořízením TČ musíme zvážit, který systém pro nás bude nejvhodnější.

3.1 Původ nízkopotenciálního tepla

Způsoby, jak se nízkopotenciální teplo, které v TČ využíváme dostává na zem, jsou v zásadě 3. A to:

- Elektromagnetickým zářením ze slunce, v jehož jádře probíhá termonukleární fúze.
- Zbytek kinetické energie, která se při vzniku naší planety přeměnila srážkou vesmírných těles v tepelnou energii. (geotermální energie)
- Odpadní nízkopotenciální teplo z ostatních procesu (rekuperační teplo, odpadní teplo z chladicích procesů)

Toto rozdělení se v praxi tepelných čerpadel nepoužívá. Je ale důležité si uvědomit, že pokud se podíváme na výše uvedené zdroje, tak zjišťujeme, že jsou to zdroje sice neobnovitelné, ale prakticky nevyčerpatelné a hlavně zadarmo. Neplatí to sice pro 3. bod, ale toto teplo se u běžných systémů pro vytápění rodinných domů nepoužívá.

3.2 Zdroje nízkopotenciálního tepla pro TČ

My jsme si princip funkce TČ vysvětlovali na systému vzduch - voda. Toto značení je v praxi nejpoužívanější. Prvním slovem je označován zdroj, ze kterého je teplo odebíráno a druhým slovem je označováno, do jakého média se toto teplo předává. Například u systému vzduch-voda si nízkopotenciální teplo bereme z venkovního vzduchu a předáváme ho do topného systému, kde v radiátorech proudí voda s nemrznoucí směsí.

3.2.1 TČ vzduch-voda

Jedná se nejjednodušší, nejlevnější, ale také nejméně účinný systém. Tepelná čerpadla typu vzduch-voda si berou tepelnou energii z okolního vzduchu. Tyto čerpadla bývají instalována ve většině případů venku a s vnitřním prostorem domu jsou spojeny sekundárním okruhem. Je také možné umístit čerpadlo do vnitřních prostorů objektu a venkovní vzduch vést rozvodem například do staré kotelny, kde máme umístěné čerpadlo. Výhodou tohoto tepelného čerpadla je také to, že není důležitý žádný zásah do krajiny nebo zahrady. V případě, že nemáme k dispozici zahradu, je možné čerpadlo umístit například na střechu objektu. Nevýhodou tohoto typu čerpadel je hlučnost zapříčiněná nutností odvádět ochlazený vzduch z okolí výparníku ventilátorem pryč. Musíme samozřejmě počítat také

3.2. ZDROJE NÍZKOPOTENCIÁLNÍHO TEPLA PRO TČ

s elektrickou energií nutnou k pohonu ventilátoru. V minulosti bylo určitým omezením tohoto typu TČ také to, že nebylo schopno pracovat pod bodem mrazu nebo za velmi nízkých teplot. To již v dnešní době, kdy se používají kvalitní chladiva a kompresory není překážkou. Stále však v místech, kde je nízká teplota vzduchu v zimních měsících není díky nízkému topnému faktoru vhodné tato čerpadla používat. Další výhodou oproti ostatním typům TČ je, že nemusíme mít vyhotoveny geologické a hydrologické studie. Toto je velká výhoda, která v dnešní době úřednické a legislativní byrokracie velmi zjednodušuje pořízení TČ. Teplo, které odebereme okolnímu vzduchu, je opět díky tepelným ztrátám objektu navraceno do okolí a odpadá například nutnost regenerace vrtů.



Obrázek 3.1: TČ vzduch-voda[104]

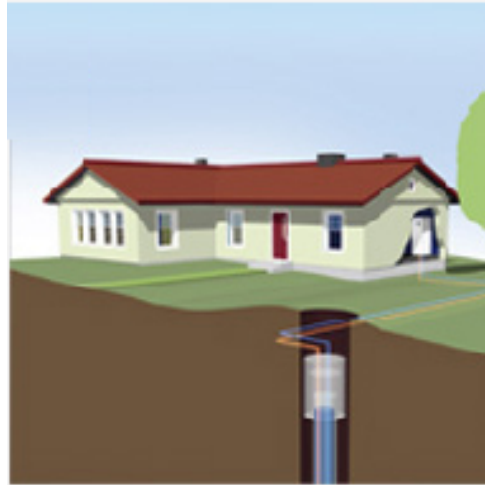
Další možností je použití systému vzduch-vzduch, kde v sekundárním okruhu neproudí voda, ale vzduch, který vháníme přímo do místností. Problém zde je však v předávání tepla mezi primárním a sekundárním okruhem. Vzduch má menší měrnou tepelnou kapacitu než voda a tak je schopen pojmout menší množství tepla. U nás se tento systém příliš nepoužívá. Z historických důvodů totiž v ČR používáme kapalinové radiátory. Naopak v USA je tento systém zastoupen ve větší míře.

3.2.2 TČ země-voda

Při tomto způsobu využívání nízkopotenciálního tepla využíváme tepelnou energii nahromaděnou v půdě. Toho je docíleno dvěma možnými způsoby. Prvním způsobem je hloubkový vrt. V tomto případě jsou na pozemku poblíž místa, kde je instalováno TČ provedeny hlubinné vrty do hloubek kolem 100-150m, ze kterých je pak získáváno geotermální teplo pro výparník našeho TČ. Teplota zeminy v těchto hloubkách je v zimě vyšší a má méně proměnlivý charakter než venkovní vzduch. Toto zvyšuje topný faktor našeho TČ. Toto řešení je nákladné a vyžaduje hydrologické studie provedeny certifikovaným hydrologem a je vyžadováno také stavební povolení. Z hlediska bezpečnosti je důležité hlavně abychom vrtem nespojili 2 různá prostředí podzemní vody. Je-li to nevyhnutelné, musíme opláštěváním zabránit průniku vody z 1.místa na druhé. Do takto vzniklých šachet se vkládá potrubí. To bývá většinou měděné s povlakem. Je také důležité, aby při vrtání šachet byly umístěny tyto šachty v dostatečné vzdálenosti od sebe. Musíme zajistit, aby každý vrt čerpal energii z jiného místa půdy a ne aby se tyto zóny překrývaly. Po zimě je okolí vrtů vyčerpané a někdy se také vrty regenerují například

3. NÍZKOPOTENCIÁLNÍ ZDROJE TEPLA

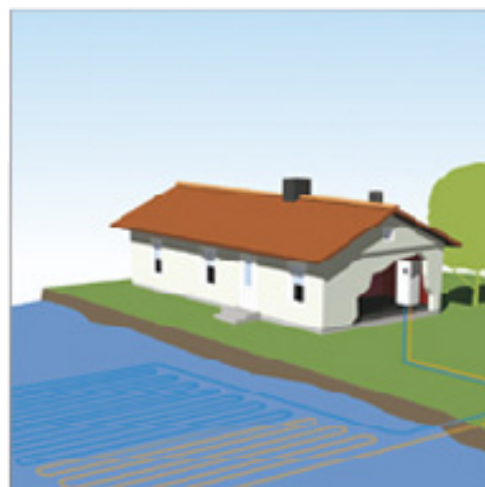
zisky ze solárních termických panelů. Druhým způsobem je pokládání kolektorů do nízké hloubky kolem 2 m. Tento způsob pak nevyužívá geotermální energie, ale sluneční energie, která se nahromadila v půdě v malých hloubkách. Tento způsob vyžaduje velkou plochu a další nevýhodou je omezená možnost stavby nad potrubím. Výstavba by mohla poškodit potrubní systém.



Obrázek 3.2: TČ země-voda[104]

3.2.3 TČ voda-voda

Při tomto způsobu využívání nízkopotenciálního tepla využíváme vodních zdrojů a to jak povrchových tak podpovrchových. Je-li naše nemovitost v blízkém okolí například rybníku, u kterého teplota vody na dně neklesá pod 0°C , můžeme na dno položit vedení a čerpat teplo ze dna. Toto vedení nemusí splňovat takové pevnostní nároky jako v případě TČ země-voda. Často se používají i běžné plastové hadice. Stavba takového systému je však opět spojena s legislativními obtížemi. Dalším způsobem je čerpání tepla ze studny. V tomto případě přečerpáváme vodu z jedné studny do druhé (vsakovací). Je zde důležité, aby studna měla dostatečnou zásobu vody. K zajištění se provádějí hydrologické zkoušky.

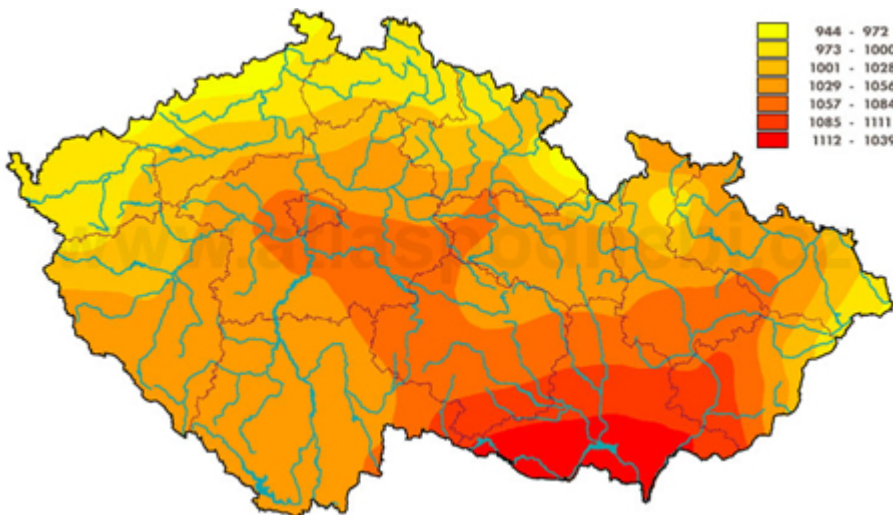


Obrázek 3.3: TČ voda-voda[104]

4 Solární termické kolektory

4.1 Sluneční energie

Sluneční energii rozumíme energii, která na povrch Země dopadá ve formě elektromagnetického záření a je přeměněna na tepelnou energii. Na zemi dopadá $1,373 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ solární energie, pokud je místo na přivrácené straně slunci. Tuto hodnotu nazýváme solární konstanta. Toto je však množství dopadající na hranici atmosféry, kde se mu do cesty nic nepostavilo. Při průchodu atmosférou se intenzita snížila a je závislá také na řadě dalších faktorů, mezi něž patří geografická poloha místa, sklon plochy ke které intenzitu vztahujeme, roční doba, oblačnost a další. Na následujícím obrázku je uveden průměrný roční úhrn slunečního záření v kWh/m^2 .



Obrázek 4.1: Mapa slunečního záření[105]

Množství sluneční energie, které slunce vyzáří a které dopadne na povrch naší planety je ohromné. *Zářivý výkon celého slunce je $3,85 \cdot 10^{23} \text{ kW}$. Většina tohoto výkonu se vyzáří do prostoru a k Zemi dorazí jen asi půl miliardy[14].* Je ale velmi obtížné tuto energii využít, protože není koncentrována do jednoho místa, ale rozptýlená prakticky po celé přivrácené polokouli. Je třeba si uvědomit, že energii slunce musíme hledat u procesů, které s ní na první pohled nemají mnoho společného. Například pokud používáme k výrobě energie vodní elektrárnu, jedná se opět o využití sluneční energie i když nepřímou. Voda se totiž dopadajícím zářením vypařuje a naprší nám do míst, kde má větší potenciální energii. Ta je pak přeměněna na chod turbíny. Podobně fungují i větrné elektrárny. Vítr je také způsoben zahříváním vzduchu slunečními paprsky.

4.2 Přeměna sluneční energie

Způsobů jak tuto energii přicházející ze slunce využít je více, ale mezi 2 nejběžnější způsoby v případě instalace na běžných rodinných nebo bytových domech patří:

- Fotovoltaické systémy

- Termické solární systémy

Při využití fotovoltaických systémů sluneční záření přeměňujeme přímo na elektrickou energii. Výroba těchto křemíkových soustav, jejichž účinnost v praxi často nepřevyšuje 25%, je velmi nákladná. Pořízení tohoto systému k tomu, abychom sluneční záření přeměnili na elektrickou energii, kterou opět v nějakém kotli přeměníme na tepelnou energii je tedy zbytečné a nákladné. Další možností je přeměna slunečního záření na mechanickou práci a až následná výroba elektřiny. V poslední době se v praxi používají třeba stirlingovy motory a k nim připojené asynchronní generátory. Ty vyrábějí elektrickou energii a ta je pak dodávána do sítě. Tento způsob také pro vytápění domu není vhodný. Systémy jsou hlučné a dosti složité. Proto je v případě, kdy je námi vytápěný objekt v dosahu rozvodné sítě, rozumnější použít termický systém. V tomto systému energie slunečního záření zvyšuje vnitřní energii látky, která pak svou tepelnou energii dodává našemu domu.

4.3 Solární termické systémy

Solární termický systém je velmi jednoduché zařízení. V tomto systému sluneční záření dopadá na plochu absorbéru, kterým protéká tekutina přijímající energii slunečního záření. Tekutina poté putuje do zásobníku, kde předává ve výměníku svou energii sekundárnímu okruhu, kterým pak topíme. Solární systémy se nepoužívají pouze pro přitápění, ale ve větší míře bývají instalovány s cílem ohřívat užitkovou vodu.

Solární termické systémy můžeme rozdělit podle mnoha kritérií. Nejdůležitějším kritériem však je to, je-li k běhu takového systému potřeba nějaké dodatečné energie. Pokud systém funguje sám, nazýváme ho pasivním. Takto navržený systém předává energii do vytápěných místností sám díky fyzikálním zákonům. Pokud například použijeme solární střešní kolektory a umístíme zásobník do místa nad kolektorem, bude nám teplá voda nahrazovat tu v zásobníku přirozeně, protože má menší hustotu a stoupá vzhůru. V takovémto zařízení není nutné použít oběhové čerpadlo a nemusíme platit elektrickou energii nutnou k jeho pohonu. Jako pasivní solární systém však můžeme označit celou budovu jako takovou. Každá plocha našeho domu nějakou tu energii slunečního záření pohlcuje a tu pak předává do vnitřních prostor. Množství tepelné energie, kterou tímto způsobem můžeme získat je závislé na stavebně-architektonickém řešení naší stavby. Chceme-li dosáhnout co největších tepelných zisků, měli bychom co možná nejvíce prosklených ploch domu orientovat na jih, kde je úhrn slunečního záření na naší polokouli největší. Naopak na severu, kde slunce příliš nesvítí a dům zde tepelnou energii spíše ztrácí, bychom měli co nejlépe izolovat plášť. Tento princip získávání solárních zisků má také své nevýhody. Použitím pasivního systému se totiž vzdáváme možnosti přímé regulace. Například pokud přijímáme sluneční zisky v zimě je to v pořádku, ale v létě se nám může prostor přehřívat. Můžeme sice zatáhnout závěsy nebo použít zastínění, ale takováto regulace není příliš příjemná. Aktivní systém oproti tomu můžeme regulovat například elektronicky a využívat ho pouze pokud to potřebujeme. K takovému systému potřebujeme na druhou stranu dodatečnou energii k běhu řídicího systému čerpadla a jiných zařízení. Také dimenzování pasivního solárního systému je jednodušší u novostaveb. Chceme-li systém aplikovat na již stojící stavbu, je vhodnější počítat s aktivním solárním ziskem. Chceme-li termický systém navíc používat v kombinaci s tepelným čerpadlem, je použití pasivního

4.4. AKTIVNÍ TERMICKÉ SYSTÉMY

systemu jen velmi těžko realizovatelné. V další části práce se tedy budu soustředit na použití aktivního systému.

4.4 Aktivní termické systémy

Při použití aktivního systému jsme daleko méně omezeni architektonickým řešením. Solární systém má sice vyšší účinnost, jsou-li absorbery slunečního záření natočeny pod určitým úhlem a jsou směřovány na jih, ale to se dá i u plochých střech zařídit instalací panelů na rámy. V našich krajích jsou nejčastěji používány systémy, kde v sekundárním okruhu obíhá voda, nebo nemrznoucí kapalina. Toto však není jediný způsob. To nás přivádí k dalšímu rozdělení. Termické solární systémy můžeme rozdělit na:

- Systémy používající vzduch k přenosu tepla
- Systémy používající vodu k přenosu tepla

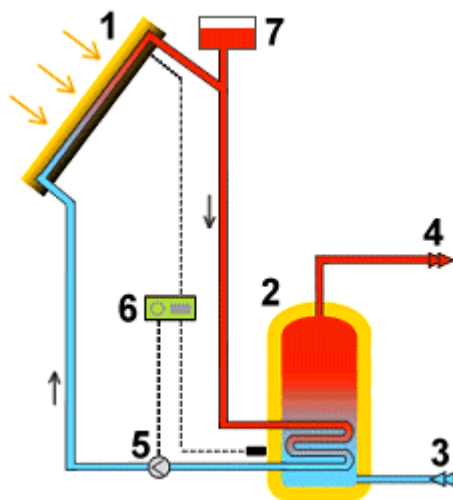
4.4.1 Systémy používající vzduch k přenosu tepla

Tyto systémy v našich krajích příliš využívány nejsou. Jsou oproti systémům kde obíhá voda daleko jednodušší, levnější a nejsou tak náchylné na kvalitu montáže. Ve skutečnosti si je hlavně v severských státech instaluje mnoho lidí svépomocí. U takového systému stačí jednodušší kolektor, kterým obíhá vzduch pod atmosférickým tlakem. Obíhání je nejčastěji zabezpečováno ventilátorem, který vynucuje oběh vzduchu. Tento ventilátor samozřejmě musíme napájet ze sítě nebo z fotovoltaického systému. Nevýhodou je, že oproti vodě, která má měrnou tepelnou kapacitu 4 180 J.kg.K, má vzduch měrnou tepelnou kapacitu 1 003 J.kg.K. Jeden kilogram vody tedy přenes 4x tolik energie jako 1 kg vzduchu. Také hustota vzduchu při atmosférickém tlaku je daleko menší než hustota vody. To znamená, že chceme-li použít teplovzdušný systém, tak musíme použít rozvody o daleko větším průřezu. Také akumulace tepla je komplikovaná a v praxi se nepoužívá voda, ale šterk nebo oblázky[4]. Tyto systémy také nemusí pracovat v uzavřeném okruhu, ale mohou nasávat vytápěný vzduch přímo z místnosti, v absorberu ho ohřívat a ventilátorem vhnět zpět do místnosti. Také je možnost tento systém napojit na teplovzdušné vytápění. Protože v objektu, na který dimenzujeme náš systém teplovzdušné vytápění není a je již staršího data výstavby, tento systém uvažovat nebudeme a použijeme systém s vodou jako teplotním médiem.

4.4.2 Systémy používající vodu k přenosu tepla

Princip funkce si ukážeme na obr 4.2. Tepelné záření ze slunce přijímáme do absorberu slunečního záření označeného v obrázku číslem 1. V něm protéká voda a ohřívá se. Takto ohřátá voda nebo nemrznoucí směs putuje do výměníku, kde svou tepelnou energii odevzdá do akumulátoru nebo sekundárnímu okruhu. Čísly 3 a 4 jsou označeny vstup studené vody sekundárního okruhu a výstup teplé vody sekundárního okruhu. Ochlazená voda, která odevzdala část své tepelné energie sekundárnímu okruhu putuje do oběhového čerpadla označeného číslem 5, které zajišťuje nucený oběh. Tato voda opět putuje do absorberu a ohřívá se. Tím je okruh uzavřen. Číslem 7 je označena expanzní nádoba,

která kompenzuje objemovou roztažnost vody v systému. Číslem 6 je označen elektronický regulační systém, který stále detekuje teplotními čidly teplotu vody v kolektoru a v sekundárním okruhu a podle námi nastaveného režimu automaticky spíná a vypíná čerpadlo a uvádí tak do chodu oběh kapaliny.



Obrázek 4.2: Aktivní solární systém[106]

4.5 Typy solárních kolektorů

Nejjednodušším typem kolektoru by byla na černo natřená nádoba nebo nějaký deskový výměník. Takový kolektor je jednoduché si postavit i svépomocí a umístit jej na střechu. Asi však cítíme, že takto navržený kolektor by nám příliš financí na vytápění nebo na přípravu teplé užitkové vody neušetřil. Úkolem inženýrů navrhujících solární kolektory není jen zařídit, aby kolektory měly co největší plochu, ale je důležitá také účinnost a tepelné ztráty nejen panelů, ale celého systému. V současné době je na trhu mnoho firem vyvíjející solární panely a množství jejich typů je velké. Mezi 3 základní typy solárních termálních kolektorů patří:

- Ploché kolektory
- Trubicové kolektory
- Koncentrační kolektory

Každý z těchto typů kolektorů má své výhody i nevýhody. Podle studie provedené roku 2008 Ministerstvem průmyslu a obchodu lze odhadnout procentuální zastoupení jednotlivých typů kolektorů. V tabulce je celkový počet metrů čtverečních instalovaný v jednotlivých letech na území ČR.

Je tedy evidentní, že nejpoužívanější typy kolektorů jsou ploché zasklené. Za nimi následují trubicové a až na posledním místě jsou koncentrační.

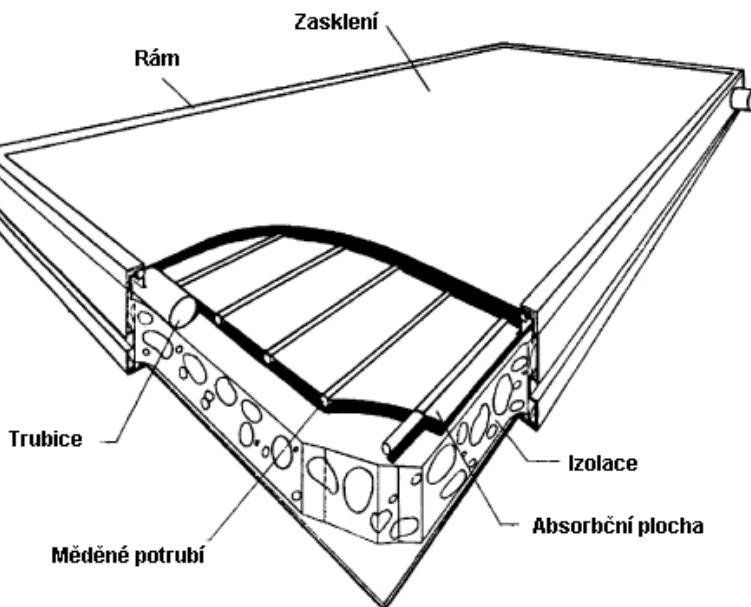
4.5. TYPY SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

| | Celková instalovaná plocha činných systémů | | | | | |
|-------------------|--|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
| Ploché zasklené | 52 228 | 60 657 | 73 768 | 90 647 | 109 547 | 135 561 |
| Vakuové trubicové | 6 000 | 7 768 | 10 121 | 13 663 | 19 763 | 28 274 |
| Koncentrační | 727 | 745 | 805 | 805 | 805 | 815 |
| Celkem | 58 955 | 69 170 | 84 694 | 105 115 | 130 115 | 164 650 |

Obrázek 4.3: Zastoupení typů kolektorů[107]

4.5.1 Ploché solární kolektory

Jedná se v současnosti o nejpoužívanější typ kolektorů. Základem je absorbér, který je vyroben z materiálu, který je schopen co nejvíce záření pohltit a minimum odrazit. Také je vhodné, když tento materiál co nejméně energie vyzaří do okolí. Toho se dá dosáhnout použitím selektivního povrchu, který krátkovlnné záření dobře absorbuje a dlouhovlnné záření už vyzařuje méně. Absorbér poté tepelnou energii předává protékající vodě. Absorbér je umístěn v rámu a je zasklen. Toto zasklení je důležité z důvodu ztrát tepelné energie konvekcí. Další vlastností skla, která zvyšuje účinnost solárních kolektorů je schopnost propouštět krátkovlnné elektromagnetické záření ve formě viditelného světla, ale zase v daleko menší míře propouštět dlouhovlnné záření ve formě tepelného záření. Z důvodu zvýšení účinnosti se může použít i více vrstev skla, které však omezí množství záření dopadajícího na absorbér. Další věc, která musí být zabezpečena, je tepelná izolace na straně směřující ke střeše. Tato izolace je umístěna přímo v rámu a již malá vrstva běžné izolace snižuje tepelné ztráty na minimum. Dalším opatřením, které snižuje tepelné ztráty kolektoru může být snížení tlaku vzduchu v kolektoru, což omezuje ztráty vedením. U plochých kolektorů je však obtížné zajistit aby při rozdílu atmosférického a sníženého tlaku nepraskla skleněná deska uzavírající absorbér. Protože však dosažení vysokého vakua je obtížné, mají tyto kolektory přece jen nějaké ztráty a výstupní teplota není tak vysoká. Hodí se tedy hlavně do slunných dnů například pro ohřev teplé vody. Pro přitápění v zimních měsících jsou vhodnější vakuové kolektory trubicového typu.



Obrázek 4.4: Ploché kolektory[108]

4.5.2 Vakuové trubicové kolektory

Jsou druhým nejpoužívanějším typem kolektorů. Díky své vysoké účinnosti způsobené především schopností dosažení vysokého vakua jsou tyto systémy schopné fungovat i za velmi nízkých teplot. Je v nich také možné dosáhnout větších teplot. Vakuové trubicové systémy můžeme opět rozdělit podle mnoha kritérií. Nejdůležitějšími jsou však počet trubic a to, jestli se jedná o systém s tepelnou trubicí nebo s průtokem tekutiny přímo solárním kolektorem. Kolektor s tepelnou trubicí funguje na trochu odlišném principu než ostatní kolektory. Uvnitř trubice solárního kolektoru je s absorberem spojená měděná trubička fungující jako výparník. V trubičce je tekutina, která prochází díky zahřání fázovou přeměnou kapalina-plyn. Po změně skupenství na plynné se tento plyn dostane do malého výměníku, kolem kterého protéká voda. Tam plynná fáze z kondenzuje, čímž předá tepelnou energii proudící vodě a znovu změní skupenství na kapalinu a putuje zpět do kolektoru. Druhým způsobem je vložení U-trubice do kolektoru, kde voda pak protéká přímo kolektorem a zahřívá se. Pokud máme systém, ve kterém jsou 2 trubice, tak ta vnější je průsvitná a její funkce je udržovat vakuum. Naproti tomu 2. trubice je opatřena selektivním povrchem a její úkol je absorbovat záření. Tato trubice pak opět teplo předává buď tepelné měděné trubicí nebo U-trubicí kterou protéká voda.

4.5.3 Koncentrační kolektory

Jsou u nás zdaleka nejméně používané typy solárních kolektorů. Jedná se o kolektory u nichž je využíváno odrazu nebo lomu světla. Sluneční záření nám dopadá na koncentrátor a je pomocí čoček nebo zrcadel soustředěno na daleko menší plochu absorberu. Docílíme tím hlavně toho, že pokud je absorber menší, má také menší tepelné ztráty. Další výhodou je ekonomická. Metr čtvereční koncentrátoru je totiž daleko levnější než metr čtvereční absorpčního povrchu v kolektoru. Nevýhodou je však nutnost naváděcího systému, který nám kolektor posouvá za sluncem. Tento systém je také náročnější na údržbu a na vytápění našeho objektu není vhodný.

5 Návrh zapojení TČ a kolektorů do topného systému

5.1 Charakteristika objektu

Objektem, na který budeme topný systém dimenzovat, je jednopodlažní podsklepený rodinný dům v obci Bludovice, která leží asi 20km severně od Ostravy. Dům byl postaven v roce 1970 z plných cihel. Před dvěma lety byla provedena rekonstrukce. Na fasádu bylo přidáno 5cm polystyrenu, nad stropy 20cm minerální vlny a stará dřevěná okna byla nahrazena plastovými s dvojitým sklem. V objektu je 5 obytných místnosti, kuchyň a koupelna. Jako původní zdroj tepelné energie pro dům sloužil kotel EMKA o výkonu 22,3 kW přizpůsobený ke spalování tuhých paliv, který byl umístěn v kotelně. K tomuto kotli byl také připojen zásobník TUV s elektrickou topnou spirálou, která zajišťovala ohřev vody v letních měsících. Dům je připojen na plynový rozvod. Jedná se o budovu, která je ze všech stran obklopena okolní zástavbou.

Charakteristika místa:

- Nadmořská výška místa je 380m.
- Venkovní výpočtová teplota: $t_e = -15^{\circ}C$
- Střední venkovní teplota za otopné období: $t_{es} = 3,8^{\circ}C$
- Počet dnů v otopném období: $d = 236$
- Průměrná vnitřní výpočtová teplota: $t_{is} = 20^{\circ}C$

5.2 Výpočet tepelných ztrát

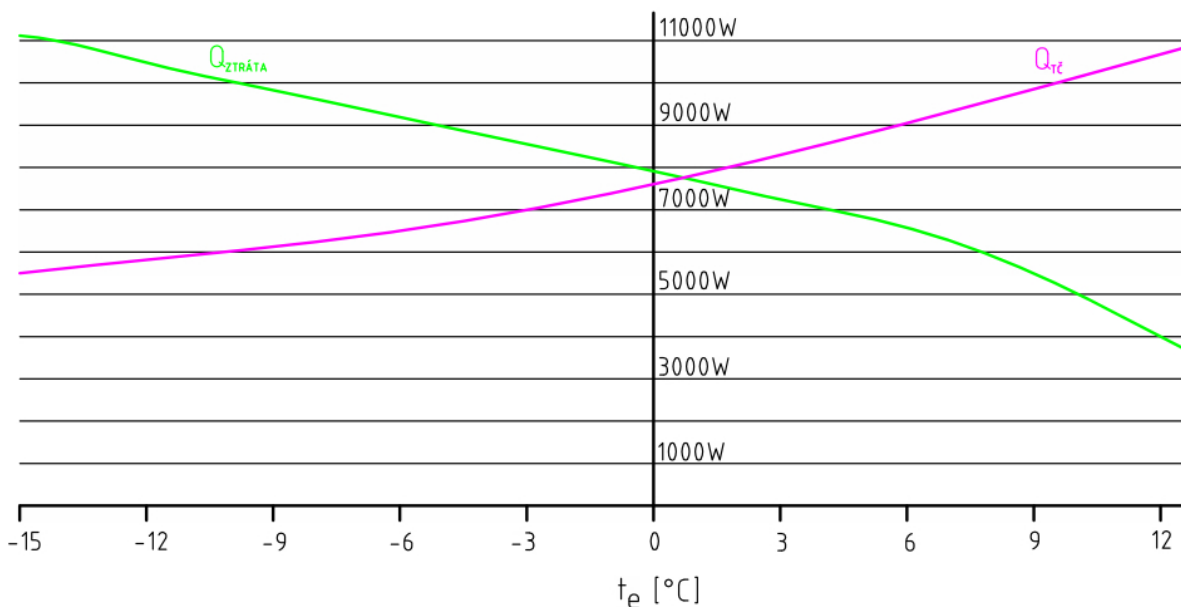
Pro výpočet tepelných ztrát našeho objektu jsem použil normu ČSN 06 0210. Tato norma již byla zrušena a nahrazena evropskou normou ČSN EN 12831, která je výsledkem snahy Evropské unie o jednotný systém hodnocení tepelných ztrát objektů. Tato norma také zavádí energetické hodnocení budov podle štítků, které již v současnosti můžeme na mnoha budovách vidět. Pro tuto normu však ještě není dostupný bezplatný kalkulátor a výsledky, ke kterým obě normy docházejí, se liší jen minimálně. Pro náš orientační výpočet je tedy plně dostačující norma ČSN 06 0210. Tento kalkulátor je oproti normě zjednodušen, ale pro orientační výpočet opět naprosto dostačující.

5. NÁVRH ZAPOJENÍ TČ A KOLEKTORŮ DO TOPNÉHO SYSTÉMU

| t_e [°C] | Q[W] | t_e [°C] | Q[W] |
|------------|-------|------------|------|
| -15 | 11127 | 3 | 7290 |
| -12 | 10481 | 6 | 6586 |
| -9 | 9836 | 9 | 5507 |
| -6 | 9194 | 12 | 4006 |
| -3 | 8554 | 15 | 2504 |
| 0 | 7920 | 18 | 1002 |

Tabulka 5.1

Výsledky v tabulce 5.1 byly získány v kalkulátoru tepelných ztrát na stránkách tzb-info.cz změnou výpočtové venkovní teploty. Tyto hodnoty nám udávají, jaký výkon musí mít náš topný systém k tomu, aby byl schopen kompenzovat tepelné ztráty objektu a udržoval konstantní vnitřní teplotu 20°C. K tomu, abychom nyní mohli navrhnout TČ, musíme znát výkony, které je schopno poskytovat za různých venkovních teplot. Na obrázku 5.1 porovnáváme tepelné ztráty a topný výkon TČ. Zvolil jsem tepelné čerpadlo HOTJET 11i. Křivku výkonů TČ při různých teplotách jsem si vyžádal od výrobce. Na osu x je vynesena venkovní výpočtová teplota a na ose y je tepelný výkon. Z obrázku jsme schopni zjistit bivalentní bod. Ten se nachází kolem 1°C nad bodem mrazu. Jedná se o čerpadlo vzduch-voda, a proto křivka výkonu s klesající teplotou klesá relativně rychle. Mohli jsme zvolit také výkonnější čerpadlo, ale to by zase znamenalo zvýšení investic na jeho pořízení.

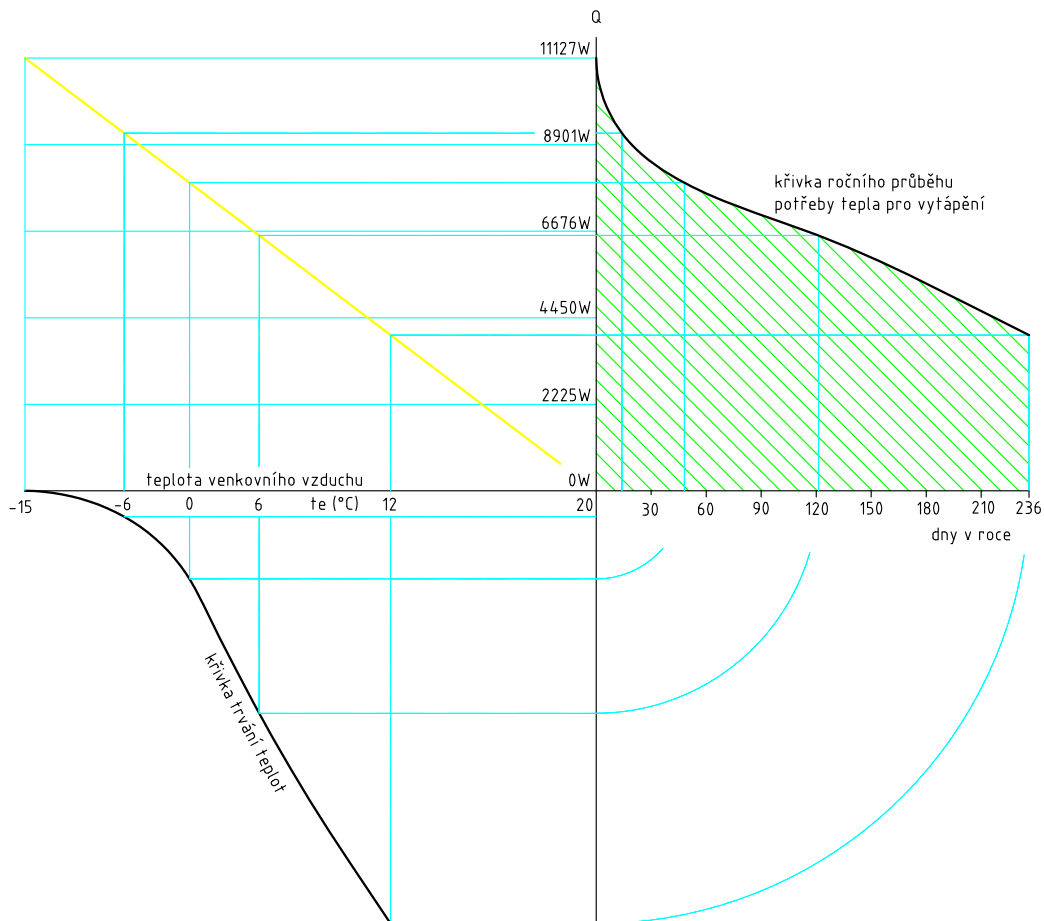


Obrázek 5.1: Volba tepelného čerpadla

5.3 Výpočet potřeb tepla za rok

Chceme-li zjistit, je-li pro nás instalace TČ a solárních kolektorů výhodná a jaká je ekonomická návratnost investic vložených do pořízení takového systému, musíme znát potřebu tepla na vytápění za celý rok. Z tohoto důvodu jsme si sestrojili Diagram ročního průběhu potřeby tepla (obr. 5.2).

5.3. VÝPOČET POTŘEB TEPLA ZA ROK



Obrázek 5.2: Diagram potřeby tepla

Na obrázku je v I. kvadrantu zobrazena křivka ročního průběhu teplot. Plocha pod touto křivkou nám znázorňuje celkovou tepelnou energii, kterou za celý rok budeme potřebovat. Tuto plochu bychom mohli po vyjádření křivky parametricky počítat pomocí integrace ,ale pro zjednodušení použijeme jednoduchou iterační metodu, otopnou sezónu si rozdělíme do 8 měsíců a budeme počítat s průměrnou tepelnou ztrátou v měsíci, kterou odečteme ze sestrojeného grafu.

| i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Q[W] | 4282 | 4993 | 5691 | 6315 | 6864 | 7358 | 8006 | 9241 |
| t [h] | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 624 |

Tabulka 5.1

Celkovou spotřebu tepla na vytápění za rok Q_{CRV} tedy vypočítáme jako součet tepla potřebného za určené 30-ti denní úseky:

$$Q_{CRV} = \sum_{i=1}^8 Q_i \cdot t_i \quad [\text{kWh}] \quad (5.1)$$

$$Q_{CRV} = 4282 \cdot 720 + 4993 \cdot 720 + 5691 \cdot 720 + 6315 \cdot 720 + 6864 \cdot 720 + 7358 \cdot 720 + 8006 \cdot 720 + 9241 \cdot 624 = 37092 \text{ kWh}$$

5. NÁVRH ZAPOJENÍ TČ A KOLEKTORŮ DO TOPNÉHO SYSTÉMU

Celková spotřeba tepla na vytápění za rok je tedy 37MWh. Musíme však ještě znát celkovou spotřebu tepla na ohřev teplé vody, abychom mohli vypočítat celkovou potřebu tepla. Energetické nároky na přípravu TUV se v létě a v zimě příliš neliší, takže budeme předpokládat, že na přípravu teplé vody budeme potřebovat 3 kWh/osobu za den. V domě žijí 2 osoby a počítáme-li, že dům využívají každodenně, tak $Q_{CRTUV} = 2190$ kWh za rok. Celková spotřeba tepla v objektu Q_{CR} je tedy:

$$Q_{CR} = Q_{CRV} + Q_{CRTUV} \quad [\text{kW.h}] \quad (5.2)$$

$$Q_{CR} = 37092 + 2190 = 39282 \text{ kWh}$$

5.4 Náklady na vytápění a TUV bez TČ a kolektorů

Nyní spočteme náklady na vytápění a přípravu TUV. V topné sezóně je jak vytápění i příprava TUV realizována kotlem na uhlí. Tedy spotřeba tepla v 8mi topných měsících, kterou kryjeme kotlem Q_{KOTZ} je:

$$Q_{KOTZ} = Q_{CRV} + \frac{8}{12} Q_{CRTUV} \quad [\text{W.h}] \quad (5.3)$$

$$Q_{KOTZ} = 37092 + 1460 = 38552 \text{ kWh}$$

Je-li výhřevnost černého uhlí $h_{UHL} = 5,52$ kWh/kg, účinnost kotle $\eta_{KOT} = 0,6$ a cena za 1kg uhlí je podle uhliostrava.cz $N_{UHL} = 3,29$ Kč/kg, můžeme náklady na vytápění a přípravu TUV za 8 otopných měsíců vyjádřit jako:

$$N_{KOTZ} = \eta_{KOT} \cdot \frac{Q_{KOTZ}}{h_{KOTZ}} \cdot N_{UHL} \quad [\text{Kč}] \quad (5.4)$$

$$N_{KOTZ} = \frac{1}{0,6} \cdot \frac{38552}{5,52} \cdot 3,29 = 38295 \text{ Kč}$$

Mimo topnou sezónu potřebujeme energii pouze na přípravu teplé vody a to elektrickou patronou. Tato energie Q_{ELL} je:

$$Q_{ELL} = \frac{4}{12} Q_{CRTUV} \quad [\text{W.h}] \quad (5.5)$$

$$Q_{ELL} = 730 \text{ kWh}$$

Nyní spočteme náklady na vyhřívání TUV v měsících, kdy netopíme kotlem a TUV vyhříváme elektrickou spirálou. Cena 1kWh elektrické energie v nevýhodném tarifu D01 d je $N_{ELD1} = 5,206$ Kč a náklady na přípravu za rok tedy jsou:

$$N_{ELL} = Q_{ELL} \cdot N_{ELD1} \quad [\text{Kč}] \quad (5.6)$$

$$N_{ELL} = 730 \cdot 5,206 = 3800 \text{ Kč}$$

Nyní tedy sečteme náklady na přípravu TUV a topení za obě období a dostaneme celkové roční náklady na přípravu TUV a vytápění N_{KOT} :

$$N_{KOT} = N_{KOTZ} + N_{ELL} \quad [\text{Kč}] \quad (5.7)$$

$$N_{KOT} = 38295 + 3800 = 42095 \text{ Kč}$$

5.5 Výpočet výkonu solárního systému

Chceme-li znát návratnost investic, musíme si spočítat jakou měrou nám bude přispívat solární systém. Solární systém jsem nedimenzoval. Je totiž využito nabídky společnosti HOTJET, která k čerpadlu námi pořízenému dodá zdarma 1 modul solárních vakuových trubcových kolektorů zdarma. Jedná se o 16 trubec. Objekt, na který budeme kolektory umisťovat, má plochou střechu a můžeme tedy solární panely nastavit do ideální polohy na jih pod sklonem 60°. Tato nabídka platí, pouze pokud cena TČ i s instalací přesahuje cenu 100 000 Kč. Tuto podmínku však splníme a kolektory zdarma dostaneme. Nejdříve si z literatury[15] zjistíme Průměrnou energii dopadající za měsíc na plochu našeho kolektoru Q_{Smes} pro věcech 12 měsíců v roce. Tu vyneseme do tabulky 5.1. K tomu, abychom zjistili jakou část energie jsme schopni využít, použijeme vzorec pro Teoretický měsíční využitelný tepelný zisk ze solárních kolektorů $Q_{K,V}$ [13].

$$Q_{K,V} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot Q_{Smes} \cdot A_k \cdot (1 - p) \quad [\text{KWh/měs}] \quad (5.8)$$

- $\eta_k[-]$ - průměrná účinnost solárního kolektoru. Z prospektu firmy HOTJET 79,8[-]
- $Q_{Smes}[\text{kWh/měs}]$ - průměrná energie dopadající za měsíc na metr čtvereční solárního kolektoru.
- $A_k[m^2]$ - plocha apertury solárního kolektoru. Z prospektu firmy HOTJET 1,4m².
- $p[-]$ - hodnota srážky tepelných zisků vlivem tepelných ztrát solární soustavy. Zvolil jsem hodnotu 0,2.

Tento výpočet provedeme pro každý měsíc zvlášť a výsledky také vyneseme do tabulky.

| měsíc | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| $Q_{Smes}[\text{kWh/měs}]$ | 35 | 60 | 103 | 120 | 150 | 158 | 158 | 144 | 118 | 74 | 34 | 23 |
| $Q_{K,V}[\text{kWh/měs}]$ | 28 | 48 | 83 | 97 | 121 | 127 | 127 | 116 | 95,1 | 60 | 28 | 19 |
| Výkon [W] | 40 | 67 | 115 | 135 | 168 | 177 | 177 | 161 | 132 | 83 | 38 | 26 |
| Potřeba TUV [W] | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |

Tabulka 5.3

Z tabulky je jasné, že solární systém ani v nejteplejším měsíci není schopen pokrýt ani spotřebu TUV. Je však k TČ dodáván zdarma a v budoucnosti může být jeho kapacita rozšířena.

5.6 Náklady na vytápění a TUV s TČ a kolektory

K tomu, abychom mohli zjistit ekonomickou návratnost systému, musíme nyní znát spotřebu elektrické energie k pohonu čerpadla, k vytápění vody v letních měsících a také spotřebu plynu při bivalentním provozu TČ. Úlohu budeme pro lepší názornost řešit opět v diagramu potřeb tepla. Hodnoty topného faktoru, příkonu a výkonu v tabulce 5.4 jsem si vyžádal od výrobce HOTJET.

5. NÁVRH ZAPOJENÍ TČ A KOLEKTORŮ DO TOPNÉHO SYSTÉMU

| | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| t_e | 12 | 7 | 0 | -7 | -15 |
| P_{pTC} | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| COP | 3,533 | 3,1 | 2,533 | 2,133 | 1,833 |
| P_{TC} | 10,6 | 9,3 | 7,6 | 6,4 | 5,5 |
| P_{VYUZ} | 4 | 6,26 | 7,6 | 6,4 | 5,5 |
| p_{PRIK} | 0,283 | 0,323 | 0,395 | 0,469 | 0,545 |
| P_{ELM} | 1,132 | 2,019 | 3 | 3 | 3 |
| P_{NIZ} | 2,868 | 4,241 | 4,6 | 3,4 | 2,5 |

Tabulka 5.4

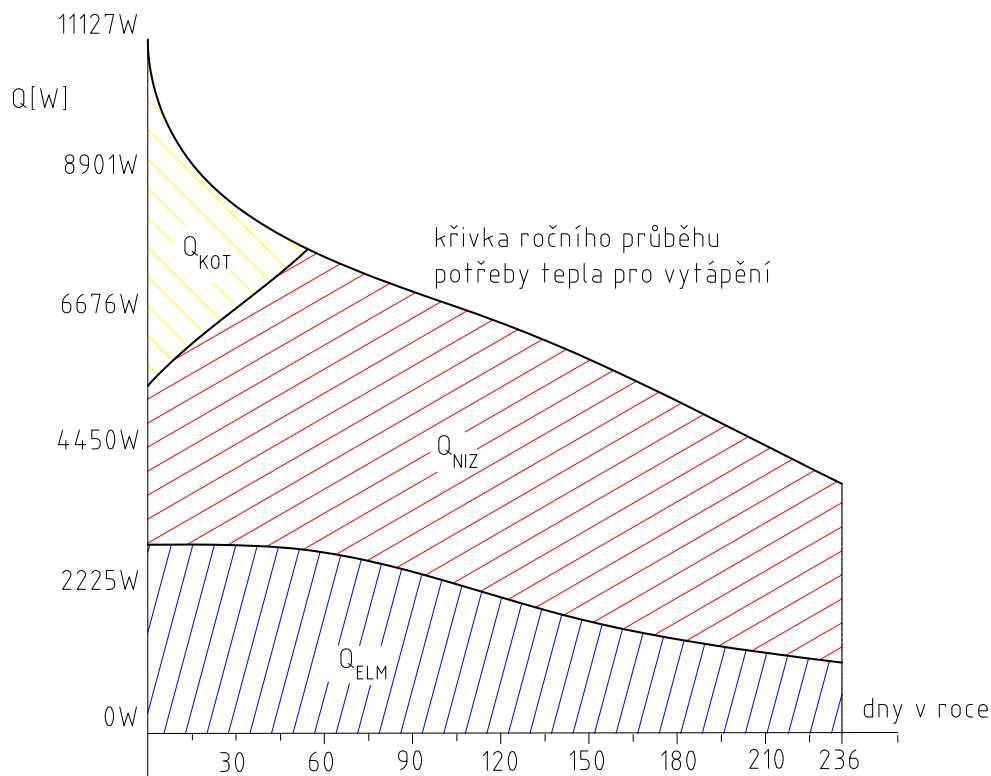
- t_e - Venkovní výpočtová teplota [C°]
- P_{pTC} - Příkon TČ [kW]
- COP - Topný faktor [-]
- P_{TC} - Max. výkon TČ [kW]
- P_{VYUZ} - Využitelný výkon TČ při dané teplotě [kW]
- p_{PRIK} - Část výkonu krytá el. příkonem [-]
- P_{ELM} - Spotřeba el. energie při dané teplotě na chod TČ [kW]
- P_{NIZ} - Výkon dodávaný ze zdroje NPT při dané teplotě [kW]

K výpočtu opět použijeme jednoduchou iterační metodu, kdy budeme počítat s průměrnými měsíčními hodnotami. Nyní již známe hodnoty příkonu TČ a výkonu, který dodává. Můžeme tedy zanást tyto hodnoty do diagramu, ze kterého je jasné jaká část energie je dodávána ze zdroje nízkopotenciálního tepla, a jaká část z příkonu tepelného čerpadla. Na ose x zde máme počet dní a na ose y je výkon potřebný pro vytápění.

Z diagramu je jasné, že největší část energie k vytápění za rok využijeme právě ze zdroje nízkopotenciálního tepla. Druhou největší část energie odebereme z elektrické sítě a nejmenší část energie nám bude dodávat plynový kotel v době, kdy objekt TČ nebudeme schopni dostatečně vytopit. Chceme-li však vypočítat kolik kWh přesně z každého zdroje budeme čerpat, rozdělíme si otopné období opět na 30ti denní intervaly a budeme počítat s průměrnými výkony za měsíc.

- Q_{KOT} - Teplo dodané kotlem za rok. [kWh]
- Q_{NIZ} - Teplo dodané nízkopotenciálním zdrojem tepla za rok. [kWh]
- Q_{ELM} - Energie dodaná ze sítě na pohon kompresoru TČ za rok. [kWh]

5.6. NÁKLADY NA VYTÁPĚNÍ A TUV S TČ A KOLEKTORY



Obrázek 5.3: Diagram potřeby tepla pro vytápění s TČ

| měsíc | P_{KOT} | P_{ELM} | P_{NIZ} | P_{SOL} | P_{ETUV} |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 | 2,8789 | 3,0281 | 3,23612 | 0,04 | 0,21 |
| 2 | 0,6126 | 2,9895 | 4,40611 | 0,067 | 0,183 |
| 3 | 0 | 2,7648 | 4,59043 | 0,115 | 0,135 |
| 4 | 0 | 2,3962 | 4,45 | 0,135 | 0,115 |
| 5 | 0 | 1,9836 | 4,3359 | 0,168 | 0,082 |
| 6 | 0 | 1,6413 | 4,03748 | 0,177 | 0,073 |
| 7 | 0 | 1,3956 | 3,58984 | 0,177 | 0,073 |
| 8 | 0 | 1,2025 | 3,06321 | 0,161 | 0,089 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0,132 | 0,118 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0,083 | 0,167 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0,038 | 0,212 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0,026 | 0,224 |
| Q_{ROK} | 2513,9 | 12529 | 22830,6 | 949,68 | 1210,3 |
| N_{kWh} | 1,053 | 2,4 | 0 | 0 | 2,4 |
| N_{CELK} | 2647,1 | 30070 | 0 | 0 | 2904,8 |

- P_{KOT} - Průměrný výkon dodávaný kotlem v daném měsíci. [kW]
- P_{ELM} - Průměrný výkon krytý el. energií v daném měsíci. [kW]
- P_{NIZ} - Průměrný výkon dodávaný zdrojem NPT v daném měsíci. [kW]
- P_{SOL} - Průměrný výkon solárního systému, využitý na ohřev TUV v daném měsíci. [kW]

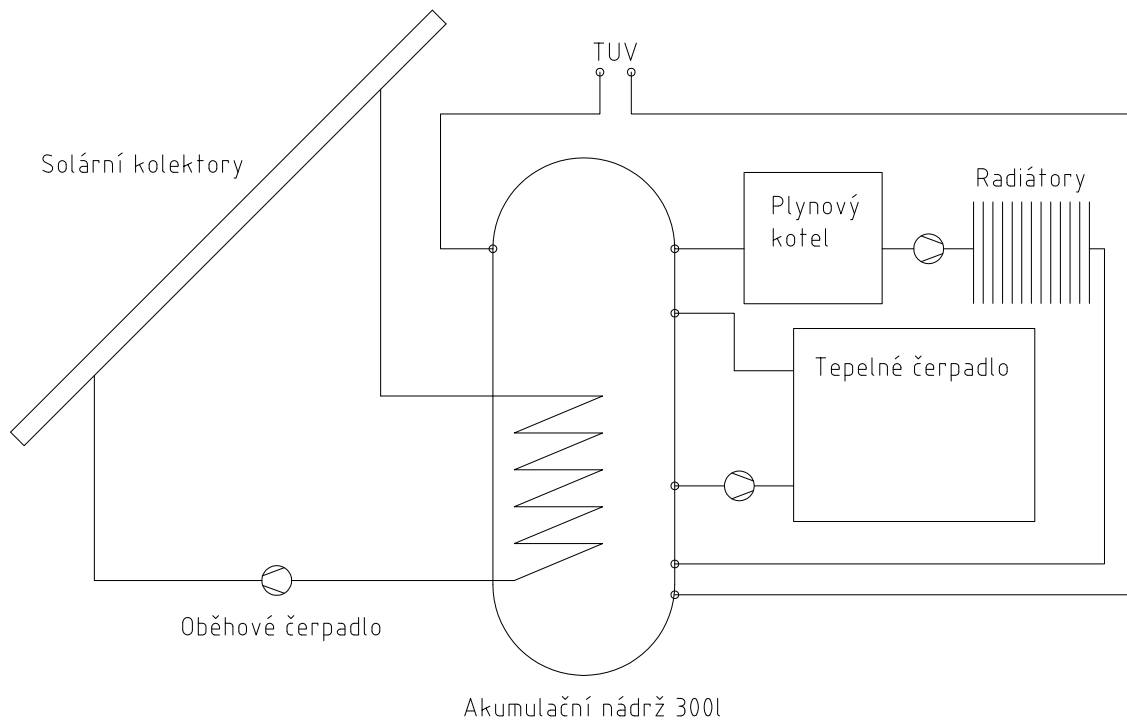
5. NÁVRH ZAPOJENÍ TČ A KOLEKTORŮ DO TOPNÉHO SYSTÉMU

- P_{ETUV} - Průměrný výkon krytý el. energií v daném měsíci na ohřívání TUV. [kW]
- Q_{ROK} - Celková tepelná energie dodaná za rok [kWh]
- N_{kWh} - Cena za 1 kWh paliva. [Kč]
- N_{CELK} - Celková cena energií za rok. [Kč]

Sečteme-li tedy roční náklady na topení kotlem i elektřinou, dostaneme celkové roční náklady na vytápění a ohřev TUV za rok.

$$N_{TC} = N_{CELKPLYN} + N_{CELKEL} \quad [\text{Kč}] \quad (5.9)$$

$$N_{TC} = 2647,1 + 30070 + 2904,8 = 35621,1 \text{ Kč}$$



Obrázek 5.4: Schéma zapojení TČ a solárních kolektorů

6 Ekonomická návratnost

Jedinou věcí, kterou ještě potřebujeme pro ekonomické zhodnocení a výpočet návratnosti investic do pořízení TČ a solárních kolektorů, jsou právě investiční náklady. Rozhodl jsem se pro nabídku společnosti HOTJET, která k TČ s hodnotou větší než 100 000Kč dodá solární kolektory zdarma. Náklady na pořízení TČ jsou tedy:

- Tepelné čerpadlo HOTJET 11i včetně řízení a příslušenství: 109 000Kč
- Oběhové čerpadlo pro solární systém: 5 000Kč
- Akumulační nádrž 300l: 25 000Kč
- Další náklady: 5 000Kč

Celkem jsou tedy investiční náklady 144 000Kč. Do investičních nákladů jsem také nezapočítal plynový kotel, protože kotel na uhlí již dosluhuje a pořízení kotle na plyn bylo nevyhnutelné i v případě nepořízení TČ. Protože jsme však topili neekologickou palivou, můžeme čerpat dotaci z programu Zelená úsporám. Výše této dotace je 50 000Kč. Tuto dotaci tedy odečteme od investičních nákladů a celková cena investice je: $N_{INV} = 96000Kč$. Úspora financí, kterou za rok docílíme pořízením TČ a solárních

kolektorů spočítáme jako:

$$U_{ROK} = N_{KOT} - N_{TC} \quad [Kč] \quad (6.1)$$

$$U_{ROK} = 42095 - 35621 = 6474Kč$$

Za rok tedy ušetříme 6474Kč. Chceme-li dostat dobu, za kterou se nám vložená investice vrátí, počítáme podle vzorce:

$$Y_{INV} = \frac{N_{INV}}{U_{ROK}} = 14,8let \quad (6.2)$$

7 Závěr

Doba, za kterou lze počítat s navrácením námi vložených investic, je tedy kolem 15 let. Tuto hodnotu je však třeba brát s velkou rezervou. Nikdo totiž není schopen přesně odhadnout, jak se v budoucnu budou vyvíjet ceny jednotlivých paliv. Dobu ekonomické návratnosti také výrazně zkrátila dotace z programu Zelená úsporám, který je snahou Ministerstva pro životní prostředí o realizaci opatření, vedoucích k úsporám energií. I přesto, že je TČ považováno za obnovitelný zdroj energie, je z Obrázku 5.3 jasně vidět, že množství elektrické energie, kterou potřebujeme k pohonu TČ, není zdaleka zanedbatelné. Poměr energie, kterou k pohonu potřebujeme a energie, kterou dostaneme se nám se snižující teplotou hodně zhoršuje. Řešením by mohlo být použití TČ země-voda nebo voda-voda, u kterých topný faktor s nízkými venkovními teplotami neklesá tak výrazně. Použití tohoto systému je však nákladné a u domu, na který systém dimenzujeme na jiný systém než vzduch-voda ani není místo. Další součástí systému, který jsem navrhoval je solární kolektor. Solární termické systémy se používají spíše v létě k ohřevu teplé vody než v zimě k vytápění. Je to dáno tím, že potřeba energie, kterou během roku potřebujeme a energie, kterou jsme ze solárních systémů schopni dostat má právě opačný průběh než bychom potřebovali. Je evidentní, že námi instalovaný systém je silně poddimenzován. Ani v létě nám totiž není schopen zajistit dostatek tepla pro ohřívání TUV. Byl však k TČ dodán zdarma a je-li nainstalován, může být v budoucnu rozšířen dalšími moduly. Životnost TČ Hotjet je podle výrobce 20 let. Vysoké životnosti takto složitého systému je dosaženo hlavně použitím kvalitních komponent, které však znamenají stále relativně vysoké pořizovací náklady. Pořízení TČ podle výpočtu tedy považuji za rozumné, přesto, že investor počítal s kratší dobou návratnosti. Mimo to, že již každý měsíc od pořízení TČ můžeme sledovat nižší účty za vytápění, může nás také u srdce hřát to, že se z hlediska udržitelné energetiky chováme zodpovědně. Další výhodou je také sofistikovaný řídicí systém, který nám může topit podle zadaných parametrů a v době kdy dům nevyužíváme, může snížit vnitřní teplotu. U mnoha uživatelů pořízení ekologického systému vytápění také znamená zcela jiný přístup k zacházení s energiemi všeobecně. Začne si daleko více všimnout toho, jak s energiemi plýtvá a uvědomění toho je prvním krokem k zodpovědnému chování v budoucnosti.

Bibliography

- [1] NAVRÁTIL, Jan. *Kutil a ... tepelné čerpadlo*. 1. vyd. Olomouc:Vydal vlastním nákladem. 1997. 80 902244-1-5.
- [2] RYBÁR, Pavol, KUZEVIČ, Štefan. *Alternatívne zdroje energie II: Geotermálna energia*. Košice: elfa s.r.o. 2002. 80-80966-35-6.
- [3] MASTNÝ, Petr. *Tepelná čerpadla v kombinovaných tepelných systémech*. 1. vyd. Brno. 2006. 80-214-3307-8.
- [4] MURTINGER, Karel, TRUXA, Jan. *Solární energie pro váš dům*. 2. vyd. Brno: ERA. 2006. 80-7366-076-8.
- [6] Online. Dostupný z WWW:
<http://www.mastertherm.cz/>.
- [7] Online. Dostupný z WWW:
http://www.geolog.cz/odborne_clanky/seda-rizika.htm.
- [8] Online. Dostupný z WWW:
<http://www.tzb-info.cz/t.py?i=1705&t=2>.
- [9] Online. Dostupný z WWW:
http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/01_Pozemni%20stavitelstvi/1_03_Prostredi%20v%20budovach/Sevcikova_Lenka.pdf.
- [10] Online. Dostupný z WWW:
<http://www.solarserver.de/wissen/sonnenkollektoren-e.html>.
- [11] Online. Dostupný z WWW:
http://www.need.org/needpdf/infobook_activities/SecInfo/SolarS.pdf.
- [12] Online. Dostupný z WWW:
<http://hestia.energetika.cz/>.
- [13] Online. Dostupný z WWW:
http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/14/4497-metodika_bilance_ss.pdf.
- [14] Online. Dostupný z WWW:
<http://www.wikipedia.cz>.
- [15] CIHELKA, Jaromír. *SOLÁRNÍ tepelná technika*. 1. vyd. 80-900759-5-9.
- [16] LÁŽŇOVSKÝ, M, KUBÍN, M, FIŠER, P. *Vytápění rodinných domků*. 1. vyd.
- [17] Online. Dostupný z WWW:
<http://stag.zcu.cz/fel/kee/et/www/predtepcerp.pdf>.
- [101] Online. Dostupný z WWW:
<http://www.terms-cz.com/>

- [102] Online. Dostupný z WWW:
http://en.wikipedia.org/wiki/Scroll_compressor
- [103] Online. Dostupný z WWW:
<http://www.kea-olomouc.cz/>
- [104] Online. Dostupný z WWW:
<http://www.cerpadla-ivt.cz/>
- [105] Online. Dostupný z WWW:
<http://www.photovoltaike.cz/>
- [106] Online. Dostupný z WWW:
<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k22.htm>
- [107] Online. Dostupný z WWW:
<http://download.mpo.cz/get/39530/43995/533286/priloha001.pdf>
- [108] Online. Dostupný z WWW:
http://www.need.org/needpdf/infobook_activities/SecInfo/SolarS.pdf

Seznam použitých zkratek a označení

Seznam použitých zkratek

| Zkratka | Význam |
|---------|--|
| EU | Evropská unie |
| ČEZ | České energetické závody |
| TČ | Tepelné čerpadlo |
| ČSN | česká technická norma |
| VUT | Vysoké učení technické |
| COP | Topný faktot, Coefficient of performance |
| NPT | Nízkopotenciální teplo |
| měs | Měsíc |
| Kg | Kilogram |

Seznam použitých veličin

| Veličina | Význam |
|------------------|---|
| P_{TC} | [kW]...Výkon Tepelného čerpadla |
| Q_{CRV} | [kWh]...Potřeba tepelné energie pro vytápění za rok |
| Q_{CRTUV} | [kWh]...Potřeba tepelné energie pro přípravu teplé užitkové vody za rok |
| Q_{CR} | [kWh]...Celková potřeba tepla za rok |
| Q_{KOTZ} | [kWh]...Spotřeba tepelné energie v 8mi topných měsících |
| Q_{ELL} | [kWh]...Spotřeba tepelné energie ve 4 měsících mimo topnou sezónu |
| N_{UHL} | [Kč]...Cena 1kg uhlí |
| h_{UHL} | [kWh/kg]...Výhřevnost 1kg uhlí |
| N_{KOTZ} | [Kč]...Náklady na topení a TUV v 8mi topných měsících |
| N_{ELD1} | [Kč]...Cena 1kWh el. energie v nezávazném tarifu |
| η_{KOT} | [-]...Účinnost kotle |
| N_{ELL} | [Kč]...Náklady na přípravu TUV mimo topnou sezónu |
| N_{KOT} | [Kč]...Náklady na topení a přípravu TUV bez TČ a kolektorů za rok |
| $Q_{k,v}$ | [kWh]...Teoretický měsíční využitelný tepelný zisk ze solárních kolektorů |
| A_k | [m ²]...Plocha apertury solárních kolektorů. |
| η_k | [-]...Průměrná účinnost solárního kolektoru |
| P_{pTC} | [kW]...Příkon tepelného čerpadla |
| P_{VYUZ} | [kW]...Využitelný výkon TČ v měsíci |
| p_{PRIK} | [-]...Část výkonu krytá el. příkonem |
| P_{ELM} | [kW]...Spotřeba el. energie při dané teplotě na chod TČ |
| Q_{KOT} | [kWh]...Teplo dodané kotlem za rok |
| Q_{NIZ} | [kWh]...Teplo dodané zdrojem NPT za rok |
| Q_{ELM} | [kWh]...Energie dodaná ze sítě na pohon kompresoru TČ za rok |
| P_{KOT} | [kW]...Průměrný výkon dodávaný kotlem v daném měsíci. |
| P_{ELM} | [kW]...Průměrný výkon krytý el. energií v daném měsíci. |
| P_{NIZ} | [kW]...Průměrný výkon dodávaný zdrojem NPT v daném měsíci. |
| P_{SOL} | [kW]...Průměrný výkon solárního systému, využitý na ohřev TUV v daném měsíci. |
| P_{ETUV} | [kW]...Průměrný výkon krytý el. energií v daném měsíci na ohřívání TUV. |
| ϵ_{top} | [-]...Topný faktor |
| $ a_t $ | [kW]...Příkon TČ |
| $ q_H $ | [kW]...Výkon dodávaný TČ |
| Y_{INV} | [rok]...Ekonomická návratnost |
| U_{ROK} | [Kč]...Úspora za vytápění za rok |
| N_{TC} | [Kč]...Roční náklady na vytápění po pořízení TČ |
| N_{KOT} | [Kč]...Roční náklady na vytápění před pořízením TČ |
| N_{INV} | [Kč]...Investiční náklady na pořízení TČ a solárních kolektorů. |