



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

ZEMNÍ ZDROJE TEPLA PRO TEPELNÁ ČERPADLA – PLOŠNÉ KOLEKTORY

EARTH HEAT SOURCES FOR HEAT PUMPS – FLAT COLLECTORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MILAN HOUDEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL JAROŠ, Dr.

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Houdek Milan

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

Zemní zdroje tepla pro tepelná čerpadla – plošné kolektory

v anglickém jazyce:

Earth heat sources for heat pumps – flat collectors

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tepelná čerpadla odebírají tepla okolnímu prostředí. Jako zdroje tepla lze přitom využít např. okolní atmosféru, povrchovou a podzemní vodu, zemní výměníky apod. V poslední době převažuje získávání tepla ze vzduchu a ze země. Druhý uvedený způsob má výhodu zejména ve stálé teplotě zdroje a tedy i stálé hodnotě topného faktoru tepelného čerpadla.

Cíle bakalářské práce:

Zhodnoťte využití plošných zemních kolektorů jako zdroje tepla pro tepelná čerpadla, zejména z investičního a provozního hlediska (složitost instalace, investiční a provozní náklady, možné provozní problémy, ekologická hlediska atd.). Posuďte jejich přednosti a nedostatky při vytápění budov a přípravě TUV v podmínkách ČR. Uveďte případné konkrétní aplikace a jejich ekonomické srovnání s jinými druhy tepelných zdrojů.

Seznam odborné literatury:

- Dvořák, Z., Klazar, L., Petrák, J.: Tepelná čerpadla. SNTL Praha, 1987.
Srdečný, K., Truxa, J.: Tepelná čerpadla. ERA Group, Brno, 2005.
Tintěra, L.: Tepelná čerpadla. ABF, 2003.
Schulz, H.: Teplo ze slunce a země. Nakl. HEL, 2002.
Internetové zdroje dle vlastního výběru studenta.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Jaroš, Dr.

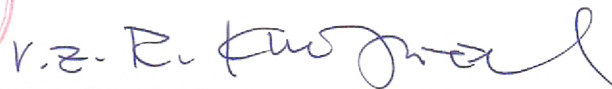
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 22.11.2007

L.S.



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ANOTACE

Cílem této bakalářské práce je stručně popsat typy plošných kolektorů a porovnat je s ostatními zdroji tepla pro tepelná čerpadla z investičního hlediska. Dále srovnat tento způsob vytápění s jinými druhy tepelných zdrojů pro domácnosti z hlediska investičních a provozních nákladů. Na základě výše uvedených kritérií stanovit jejich vhodnost a možnosti využití.

Klíčová slova:

Tepelná čerpadla, Plošné kolektory, Nízkopotenciální teplo, Vytápění

ANOTATION

The aim of this bachelor's thesis is to summarize the types of flat collectors and to compare them with the other sources of heat for heat pumps from the investment standpoint. Then to compare this kind of heating with the other kinds of heat sources for households in light of investment and operation costs. Finally, to find out usability of this heating source based on above-mentioned criterions.

Key words:

Heat pumps, Flat collectors, Low potential heat, Heating

Bibliografická citace mé práce:

HOUDEK, M. *Zemní zdroje tepla pro tepelná čerpadla – Plošné kolektory*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Jaroš, Dr.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci Zemní zdroje tepla pro tepelná čerpadla – plošné kolektory vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce Ing. Michala Jaroše, Dr. a v seznamu uvedl všechny použité zdroje literatury.

.....
Milan Houdek

V Brně 15. května 2008

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Michalu Jarošovi, Dr. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

1. OBSAH

1. OBSAH	8
2. ÚVOD	9
3. TEPELNÁ ČERPADLA	9
3.1 PRINCIP FUNKCE	9
3.1.1 <i>Obecné tepelné čerpadlo</i>	9
3.1.2 <i>Zdroje tepla pro tepelná čerpadla</i>	10
3.1.3 <i>Tepelné čerpadlo se zemními kolektory</i>	11
3.2 TOPNÝ FAKTOR	11
3.2.1 <i>Teoretický topný faktor</i>	12
3.2.2 <i>Reálný topný faktor</i>	12
3.2.3 <i>Vlivy na reálný topný faktor</i>	12
3.2.4 <i>Topný faktor otopného systému</i>	13
3.2.5 <i>Průměrný topný faktor</i>	13
4. PLOŠNÉ KOLEKTORY	13
4.1 SMYČKOVÝ KOLEKTOR	14
4.2 SPIRÁLOVÝ KOLEKTOR	14
4.3 KOLEKTORY S PŘÍMÝM VYPAŘOVÁNÍM	14
4.4 NOVÉ MATERIÁLY PE KOLEKTORŮ	15
4.5 ULOŽENÍ A UMÍSTĚNÍ KOLEKTORŮ.....	16
4.6 DIMENZOVÁNÍ KOLEKTORU	16
5. POROVNÁNÍ PLOŠNÝCH KOLEKTORŮ S OSTATNÍMI ZDROJI TEPLA PRO TEPELNÁ ČERPADLA	17
5.1 SROVNÁNÍ INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ	17
5.1.1 <i>Výpočet plochy kolektorů a hloubky vrtů</i>	18
5.1.2 <i>Modelový dům 7,5 kW</i>	18
5.1.3 <i>Modelový dům 16 kW</i>	20
5.2 HODNOCENÍ.....	22
5.2.1 <i>Monovalentní nebo bivalentní zapojení?</i>	22
5.2.2 <i>Srovnání plošných kolektorů s ostatními zdroji tepla</i>	22
5.3 POROVNÁNÍ SLOŽITOSTI INSTALACE	23
5.4 VHODNOST PLOŠNÝCH KOLEKTORŮ.....	24
6. EKONOMICKO – ENERGETICKÉ HODNOCENÍ	24
6.1 SROVNÁNÍ S OSTATNÍMI ZPŮSOBY VYTÁPĚNÍ.....	24
6.1.1 <i>Výpočet potřebné energie k vytápění a ohřevu TUV</i>	24
6.1.2 <i>Výpočet provozních nákladů</i>	26
6.1.3 <i>Hodnocení</i>	28
6.2 POROVNÁNÍ INVESTIČNÍCH A PROVOZNÍCH NÁKLADŮ	30
6.2.1 <i>Srovnání investičních a provozních nákladů TČ s vytápěním elektřinou a zemním plynem</i>	30
6.2.2 <i>Srovnání investičních a provozních nákladů TČ s vytápěním hnědým uhlím a dřevem</i>	31
6.2.3 <i>Prostá doba návratnosti investic</i>	32
6.2.4 <i>Diskontní doba návratnosti investic</i>	33
6.2.5 <i>Čistá současná hodnota</i>	33
6.2.6 <i>Hodnocení investičních a provozních nákladů</i>	35
7. EKOLOGICKÉ HODNOCENÍ	36
8. ZÁVĚR	37
9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	38
10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A JEDNOTEK	40
11. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	43

2. ÚVOD

Myšlenku tepelného čerpadla formuloval v roce 1852 anglický fyzik lord Kelvin (William Thomson). Podle něho lze využít obráceně fungujícího tepelného motoru nejen k chlazení, ale i k vytápění. První praktická aplikace tohoto zařízení se objevila až roku 1927 v USA, kde bylo tepelného čerpadla o výkonu 1,4 MW využito k vytápění úřední budovy v Los Angeles.

V dnešní době jsou tepelná čerpadla stále častěji využívaným zdrojem tepelné energie jak pro domácnosti, tak pro průmyslové provozny. Na jakém principu tepelná čerpadla pracují a v čem tkví jejich výhody? Tepelné čerpadlo je vlastně obráceně využitým chladicím zařízením. Toto zařízení odjímá nízkopotenciální teplo zdroji a přečerpává ho na vyšší teplotní hladinu. Takové teplo již může být využito například k vytápění nebo ohřevu teplé užitkové vody (dále jen TUV). Je ale nutné dodat externí práci, nejčastěji ve formě elektrické energie k pohonu kompresoru, aby mohlo být teplo přečerpáno na vyšší teplotní hladinu a nejednalo se o perpetuum mobile druhého druhu. Z toho také vyplývá, že tepelné čerpadlo je stroj, který potřebuje ke svému provozu určité množství energie a produkováné teplo není zcela zdarma. Pravdou ovšem je, že u těchto zařízení se poměr získaného tepla ku přivedené energii (tzv. topný faktor) pohybuje okolo 3. To pro uživatele v praxi znamená, že na 1/3 dodané energie čerpadlo dodá do systému další 2/3 tepla odňatého okolí, které je samozřejmě zdarma, což je hlavní ekonomickou výhodou tepelných čerpadel. Věc ale není tak jednoduchá. Kdyby byla, tepelná čerpadla by dnes už levným teplem zásobovala většinu domácností a podniků. Tato zařízení jsou dosti investičně a instalačně nákladná a navíc je nelze realizovat všude. Ekonomicky výhodná jsou pouze za určitých podmínek.

3. TEPelnÁ ČERPADLA

3.1 PRINCIP FUNKCE

3.1.1 Obecné tepelné čerpadlo

Tepelná čerpadla využívají ke své činnosti skutečnost, že teplota kondenzace či vypařování závisí na tlaku. Chladivo, které je pracovním médiem tepelného čerpadla, mění svoje skupenství z kapalného na plynné a naopak i za nízkých teplot. Obecně při vypařování jakákoli kapalná látka odjímá teplo nutné k vypařování (tzv. výparné teplo) svému okolí. Naopak při kondenzaci toto teplo svému okolí předává. Díky této skutečnosti je možné při dodání externí práce přečerpávat teplo na vyšší teplotní hladinu.

Obecné tepelné čerpadlo pracuje na poměrně jednoduchém principu a skládá se ze čtyř hlavních částí: výparníku, kompresoru, kondenzátoru a škrticího ventilu.

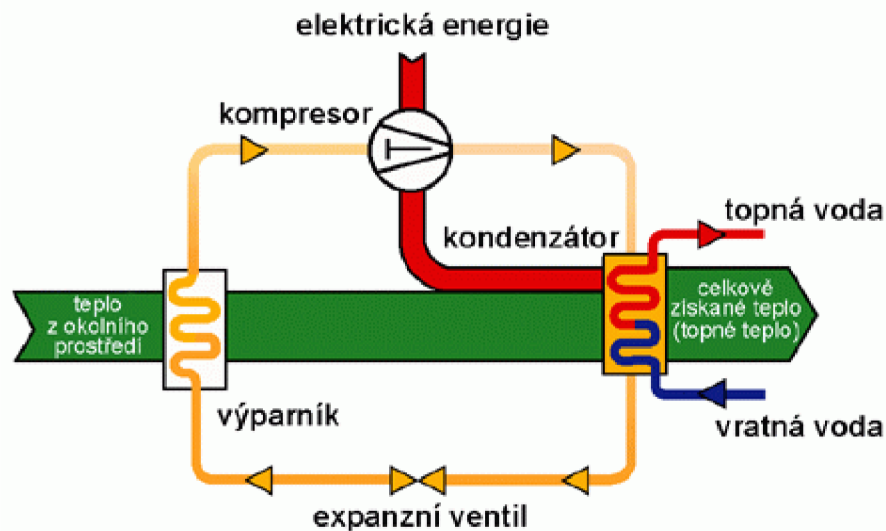
Výparník je tepelný výměník, kde předává okolí teplo chladivu, které je sem přiváděno o nízkém tlaku (p_v) a nízké teplotě (T_v). Ta je nižší, než teplota okolí. Dochází k vypařování chladiva, které odebírá skupenské teplo okolnímu prostředí a tím ho ochlazuje.

Páry chladiva dále putují do kompresoru, kde dochází k jejich stlačení na vyšší tlak (p_k) dodáním práce. Vzhledem k tomu, že je tento děj poměrně rychlý, lze jej považovat za téměř adiabatický. Nedochází tedy k dodání tepla, ale pouze k zvýšení vnitřní energie plynu, což se projeví zvýšením teploty.

Chladivo ve formě stlačených par o vyšší teplotě (T_k) putuje do kondenzátoru, kde kondenzuje na kapalinu o stále vysokém tlaku. Tím, že kondenzuje, chladivo teplo odevzdává. Kondenzátor má opět charakter tepelného výměníku, v němž dochází k předávání tepla teplotněmu médiu, což může být např. voda sloužící k vytápění nebo k ohřevu TUV.

Zkapalněné chladivo o stále vysokém tlaku proudí zpět do výparníku přes škrťací ventil, kde je izoenthalpickým seškrčením snížena tlak chladiva na tlak původní (p_v) a cyklus je znovu opakován.

Výše uvedený princip funkce tepelného čerpadla platí zcela obecně. Vzhledem k jejich praktickému využití je dále popsáno tepelné čerpadlo jako zdroj tepla k vytápění a ohřevu TUV.



Obr.1 – Princip funkce tepelného čerpadla, Zdroj: [13]

3.1.2 Zdroje tepla pro tepelná čerpadla

Z výše popsaného principu tepelného čerpadla je zřejmé, že toto zařízení potřebuje tepelný zdroj, kterému by mohlo odjímat teplo a přečerpávat ho na vyšší teplotní hladinu. Při využití tepelných čerpadel k vytápění objektů se používá jako zdroj tepla voda, okolní vzduch nebo půda.

Při použití vody se jedná buď o povrchovou, podzemní nebo spodní vodu. Tento zdroj má nespornou výhodu v celoroční teplotě okolo 10 °C, což zabezpečuje tepelnému čerpadlu vysoký topný faktor, který bude detailněji popsán dále. Vodu je nutné čerpat ze zdroje, přivádět do výparníku, kde odevzdává část svého tepla chladivu a navracet zpět buď zdroji, pokud se jedná např. o rybník, nebo do vsakovací studny. Tento systém je možné realizovat pouze pokud jsou zabezpečeny vhodné hydrologické podmínky a je proto atypický.

Odebírat teplo je možné také okolnímu vzduchu. Topným médiem může být v tomto případě voda nebo opět vzduch. Okolní vzduch je jediným zdrojem tepla, jehož teplota v průběhu roku značně kolísá. Z toho důvodu kolísá i topný faktor tepelného čerpadla. Bohužel s klesající teplotou venkovního vzduchu klesá i schopnost tepelného čerpadla krýt tepelné ztráty objektu.



Obr.2 – Tepelné čerpadlo voda–voda, Zdroj: [14]

Proto je u tohoto systému nutné použití ještě doplňkového zdroje tepla. Je ho však možné realizovat vždy a jeho instalace je poměrně jednoduchá.

Posledním používaným zdrojem tepla je půda. Zde je nutná stavba zemního kolektoru, který je půdním tepelným výměníkem, v němž proudí nemrznoucí směs odebírající zemině teplo, které potom odevzdává chladivu ve výparníku. V praxi se používají dva typy kolektorů, a to plošné kolektory a vrty. Společné mají to, že jsou tvořeny potrubím, v němž koluje nemrznoucí směs. U vrtů se jedná o potrubí stočené do tvaru písmene U. Tyto kolektory jsou až okolo 100 m hluboké. Hornina v těchto hloubkách má stálou, poměrně vysokou teplotu, která zabezpečuje dobré provozní podmínky tepelného čerpadla. Vrty na pozemku nezabírají mnoho prostoru, jejich stavbu musí však povolit báňský úřad a realizace je finančně dosti nákladná.

Druhou variantou zemního kolektoru je plošný kolektor. Potrubí s nemrznoucí směsí se v tomto případě ukládá v nezámrazné hloubce 1,2–1,6 m pod povrchem. Teplota zeminy v této hloubce v průběhu roku mírně kolísá, tyto změny však nejsou nikterak značné a nemají u správně dimenzovaného kolektoru velký vliv na provozní parametry. Při realizaci tohoto typu kolektoru je nutné povolení vodohospodářského úřadu. Další část této práce je věnována právě tepelným čerpadlům s plošnými kolektory.



Obr.3 – Tepelné čerpadlo s vrty, Zdroj: [14]

3.1.3 Tepelné čerpadlo se zemními kolektory

Tepelné čerpadlo se zemními kolektory obsahuje kromě výše zmíněných částí ještě primární a sekundární okruh.

Primární okruh je tvořen půdním kolektorem a obíhá v něm nemrznoucí směs (solanka, monopropylenglykol nebo monoethylenglykol), která je poháněna oběhovým čerpadlem. Ta má na vstupu do půdního kolektoru nižší teplotu než okolní půda. Tento rozdíl teplot je nutný k přestupu tepla mezi půdou a nemrznoucí směsí. Po odejmutí tepla okolní půdě putuje nemrznoucí směs do výparníku, kde předává získané teplo chladivu.

Sekundární okruh je tvořen otopným systémem, popřípadě zásobníkem na ohřev TUV nebo obojím. Teplonosným médiem zde bývá nejčastěji voda, která je taktéž poháněna oběhovým čerpadlem. Teplo, které odejmula nemrznoucí směs chladivu a které bylo výše zmíněným cyklem přečerpáno na vyšší teplotní hladinu, je předáváno teplonosnému médiu kolujícímu sekundárním okruhem v kondenzátoru.

3.2 TOPNÝ FAKTOR

Topný faktor je nejdůležitější charakteristikou tepelného čerpadla. Je však třeba rozlišovat mezi teoretickým topným faktorem, topným faktorem reálným a topným faktorem celého otopného systému.

3.2.1 Teoretický topný faktor

Teoretický topný faktor slouží k porovnání hospodárnosti a účinnosti reálného zařízení s ideálním. Ideálním zařízením je myšleno takové, které pracuje podle obráceného Carnotova cyklu. Pracovní médium je zde ideální plyn, k výměně tepla dochází pouze při izotermických dějích a stav látky mezi pracovními teplotami se mění adiabaticky, tedy bez výměny tepla s okolím. Topný faktor obráceného Carnotova cyklu definujeme vztahem (1.1), ze kterého je zřejmé, že teoretický topný faktor je funkcí pouze pracovních teplot. Topný faktor reálného zařízení bývá pak vždy nižší než teoretický.

$$\varepsilon_{TOP} = \frac{T_K}{T_V - T_K} \quad [-] \quad (1.1)$$

3.2.2 Reálný topný faktor

Reálný topný faktor je definován jako poměr vyprodukovaného tepla ku množství energie dodané tepelnému čerpadlu vztahem (1.2). Tím nám vlastně říká, kolik energie je nutné vynaložit k získání určitého množství tepla.

$$\varepsilon_{TOP} = \frac{Q}{E} \quad [-] \quad (1.2)$$

3.2.3 Vlivy na reálný topný faktor

Teoretického topného faktoru nelze dosáhnout už z toho důvodu, že pracovním médium tepelného čerpadla není ideální plyn, ale chladivo, kde vznikají ztráty třením a probíhající děje jsou nevratné. Dále snižují hodnotu topného faktoru tepelné ztráty do okolí, typ kompresoru, druh chladiva a rozdíly teplot ve výparníku mezi nemrznoucí směsí a chladivem a v kondenzátoru mezi chladivem a teplotnějším médiem. Ty jsou zde nezbytné, bez těchto teplotních diferencí by nedocházelo k přenosu tepla mezi médii. Hodnotu topného faktoru však snižují. Dále má na hodnotu topného faktoru výrazný vliv vstupní a výstupní teplota.

Vliv ztrát do okolí není tak značný a je možné je odhadnout nebo i zanedbat. Pokud je zařízení instalováno uvnitř objektu, ztrátové teplo pak dokonce přispívá k vytápění. Ztráty přivedené energie v kompresoru činí obvykle okolo 5 %.

Nejvíce ovlivňují topný faktor teploty primárního a sekundárního okruhu neboli teplota kondenzační (topného systému) a teplota vypařovací (teplota nízkopotenciálního zdroje tepla). Hodnota topného faktoru bez uvedení teplot, při jakých ho bylo dosaženo, je bezcenná.

Tab. 1 – Vliv provozních teplot na topný faktor u tepelného čerpadla IVT Greenline, Zdroj: [12]

Teplota vstup/výstup [°C]	Výkon [kW]	Příkon [kW]	Topný faktor [-]
0 / 35	5,9	1,3	4,5
0 / 50	5,4	1,7	3,2

V literatuře se vyskytuje množství vztahů pro výpočet reálného topného faktoru. Zde je uveden vztah (1.3), který je z publikovaných rovnic nejjednodušší, pro představu ale

postačující. Koeficient k zde představuje korelační koeficient zohledňující parametry skutečného oběhu (jeho velikost se pohybuje od 0,4 do 0,6).

$$\varepsilon_{TOP} = k \cdot \frac{T_K}{T_V - T_K} \quad (1.3)$$

3.2.4 Topný faktor otopného systému

Reálný topný faktor zohledňuje neideálnost dějů a médií i tepelné ztráty. Pokud ale chceme zjistit množství skutečně spotřebované energie a tím pádem i tzv. topný faktor celého otopného systému, je třeba zahrnout i ostatní zařízení spotřebovávající energii, což jsou např. oběhová čerpadla primárního a sekundárního okruhu. Příkon oběhových čerpadel bývá sice v porovnání s příkonem kompresoru zanedbatelný, činí obvykle 80–150 W, nicméně je třeba jej zahrnout. Pokud má tepelné čerpadlo vestavěný doplňkový zdroj (elektrokotel) pro krytí tepelných potřeb v nejchladnějších dnech, je nutné započítat i energii spotřebovanou tímto zdrojem. Vestavěný elektrokotel je většinou nazýván bivalentním (špičkovým) zdrojem.

3.2.5. Průměrný topný faktor

Teplota nízkopotenciálního zdroje tepla i výstupní teplota během roku kolísají a s nimi se mění i hodnota topného faktoru. Z tohoto důvodu se uvádí tzv. průměrný topný faktor, který se vypočte jako poměr celoroční výroby tepla a celoroční spotřeby energie.

4. PLOŠNÉ KOLEKTORY

Tento typ kolektoru je spolu s hlubinnými vrty jedním ze dvou typů zemních kolektorů. Myšlenka využití tepla podpovrchové vrstvy půdy vznikla na základě zkušeností s pokládáním vodovodního potrubí do nezamrzající vrstvy půdy v hloubce okolo 1 m. Samotný kolektor je většinou tvořen polypropylenovým (dále jen PE) potrubím uloženým v hloubce od 1,2 do 1,6 m. Teplo z okolní půdy je v něm předáváno nemrznoucí směsi, která má o 5–10 K nižší teplotu než okolní půda. Doplnění odebrané energie v průběhu roku zajišťuje geotermální teplo z okolí, teplo předané okolním vzduchem, slunečním zářením a srážkami. Stavbu těchto kolektorů je nutné nahlásit na vodohospodářském úřadu. V ČR se používá zhruba tři typů zapojení půdních kolektorů.



Obr.4 – Tepelné čerpadlo s plošným kolektorem, Zdroj: [14]

4.1 SMYČKOVÝ KOLEKTOR

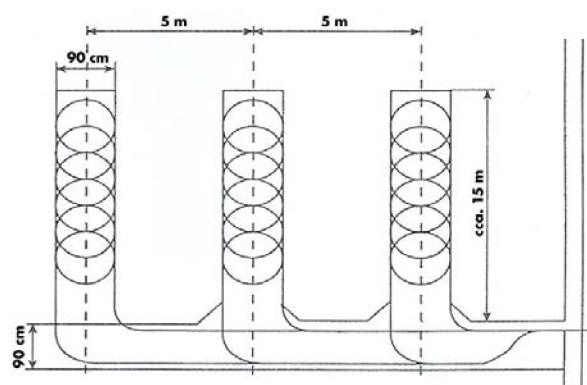
Prvním typem jsou smyčkové kolektory tvořené jedním nebo více okruhy PE hadice. Nejčastěji se používá potrubí o průměru 32 mm. Jednotlivé smyčky potrubí jsou pokládány ve vzdálenosti zhruba 1 m od sebe. Pokud se jedná o menší objekt, pak je možné kolektor realizovat jako jeden okruh. U většiny staveb se ale spíše používá více okruhů napojených na primární rozdělovač. U takového zapojení je třeba, aby měly okruhy stejnou délku. Tento typ půdních kolektorů je zřejmě nejrozšířenější.

4.2 SPIRÁLOVÝ KOLEKTOR

Další možností je použití takzvaného spirálového kolektoru neboli slinky. Ten se ukládá do hlubších výkopů, obvykle okolo 2 m. Výkop bývá široký asi 90 cm a kolektor vznikne rozvinutím PE potrubí o průměru 20 až 25 mm. Smyčky takto rozvinutého potrubí se ukládají 25 až 40 cm od sebe. Délky výkopů pro tyto kolektory se různí v závislosti na projekční firmě, ale většina udává do 15 m. V takovém výkopu bývá rozvinuto 100 až 200 metrů PE potrubí a ten pak orientačně poskytuje výkon okolo 100 W na 1 m výkopu v závislosti na okolní půdě. Vzdálenost jednotlivých kolektorů musí být alespoň 5 m. Tyto kolektory lze realizovat i rozvinem potrubí v úzkém výkopu „na stojato“. V takovém případě je ale nutný hlubší výkop, aby vrcholy slinek byly bezpečně v nezamrzlé hloubce. Nevýhodou slinkových kolektorů je horší odvzdušňování, výhodou, že zabírají méně místa na pozemku.



Obr. 5 – Svinování PE hadice ve výkopu,
Zdroj: [15]



Obr. 6 – Schéma spirálového kolektoru,
Zdroj: [16]

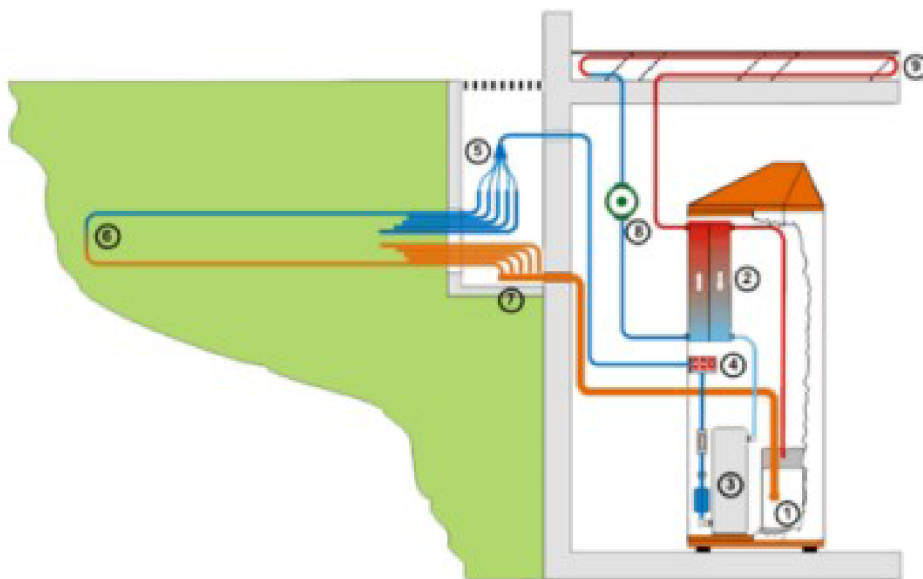
4.3 KOLEKTORY S PŘÍMÝM VYPAŘOVÁNÍM

System s přímým vypařováním se od klasických plošných kolektorů dosti liší. Místo PE hadic se používají měděné trubičky potažené plastovou ochrannou vrstvou, ve kterých koluje ekologické chladivo. Odpadá tím použití nemrzoucí směsi a navíc systém pracuje pouze s jedním výměníkem tepla. Měď je vynikající tepelný vodič, takže zde dochází k lepšímu přenosu tepla z půdní vrstvy přímo chladivu. Navíc zde není nutné použití oběhového

čerpadla, chladivo je přímo vstříkováno do potrubí, v němž se vypařuje. Chod chladiva v systému je zajištěn rozdílem tlaků na vstupu a výstupu.

Výhody:

- Dosahuje se vyšších topných faktorů (chladivo se odpařuje při vyšší teplotě než u klasického systému a odpadá okruh nemrznoucí směsi).
- Snižuje se spotřeba energie (odpadá jedno oběhové čerpadlo).
- Stačí menší plocha kolektoru (intenzivnější přestup tepla).
- Stačí vyhloubit užší rýhy (zabudovává se trubička o malém průměru).



Obr.7 – Schéma tepelného čerpadla s kolektorem s přímým vypařováním, Zdroj: [9]

- | | |
|------------------------|----------------------|
| 1 – kompresor | 6 – kolektor |
| 2 – tepelný výměník | 7 – sběrač |
| 3 – sběrač | 8 – oběhové čerpadlo |
| 4 – vstříkovací ventil | 9 – podlahové topení |
| 5 – rozdělovač | |

4.4 NOVÉ MATERIÁLY PE KOLEKTORŮ

U standardního PE dochází k šíření trhlin v čase, což při zakopání do půdy znamená, že materiál ustupuje např. tlačícímu kameni. To vede k proražení, následnému úniku nemrznoucí směsi a ztrátě tlaku, nehledě na ekologická hlediska. Proto je nutné při pokládání potrubí do výkopu odstranění větších ostrých kamenů a navíc ukládání do pískového lože.

Tuto negativní vlastnost nemá nový PE materiál, který se v poslední době značně rozšířil, takzvaný FAST kolektor. Jedná se o jednovrstvý tvrzený PE, který nepotřebuje pískového lože. Je možné jej zasypávat přímo



Obr.8 – Zásyp FAST kolektoru vytěženou zeminou bez pískového lože, Zdroj : [15]

vytěženou zeminou bez dalších úprav, což přináší řadu výhod. První výhodou je jednodušší instalace bez nutnosti zasypaní pískem a odvozu části vytěžené zeminy, která byla pískem nahrazena a s tím spojené ušetřené náklady na písek, jeho dopravu, odvoz zeminy a popř. její uskladnění. Druhou nespornou výhodou je jistá bezpečnost takového kolektoru, protože zasypaní pískem nemusí být proveden vždy důkladně. Životnost těchto zařízení výrobci uvádějí na 100 let při simulovaném tlakovém zatížení, což je hodnota více než dostačující.

4.5 ULOŽENÍ A UMÍSTĚNÍ KOLEKTORŮ

Jak již bylo řečeno, obyčejné PE potrubí je podle stavebních předpisů nutné zasypávat do pískového lože. U FAST kolektorů tomu tak není. Kvůli odvodu vzdušnosti se kolektory pokládají v mírném spádu k tepelnému čerpadlu. Pokud tak není možné učinit, je třeba nainstalovat speciální odvodu vzdušnosti zařízení.

Co se týče umístění kolektoru na pozemku, je třeba dodržovat jisté bezpečnostní vzdálenosti. Kolektor by měl být nejméně 1,5 m od podzemních rozvodů vody a kanalizace, nejméně 1,5 m od základů budov a alespoň 0,5 m od hluboce kořenicí zeleně.

Vzhledem k tomu, že se potrubí pokládá minimálně 30 cm pod nezámrznou hloubku, nemělo by být ovlivněno rostlinstvo na pozemku nad kolektorem. Samozřejmě zde není možné vysazovat stromy nebo stavět budovy se základy. Mohlo by dojít k poškození kolektoru.

4.6 DIMENZOVÁNÍ KOLEKTORU

Dimenzování kolektoru úzce souvisí s dimenzováním tepelného čerpadla. Je nutné navrhovat tepelné čerpadlo podle energetických potřeb budovy, respektive podle nutnosti krytí tepelných ztrát. Tepelná ztráta budovy je vypočtena nebo změřena za nejnižších okolních teplot v závislosti na lokalitě. V mírnějších pásmech se udává $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, v běžných $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v klimaticky drsnějších oblastech $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tepelná čerpadla se dimenzují buď na plné krytí tepelných ztrát budov, kdy je tepelné čerpadlo jediným zdrojem tepla na vytápění, což je označováno jako monovalentní provoz, nebo na částečné krytí tepelných ztrát, kdy je kvůli vyšší potřebě tepla v nejchladnějších zimních dnech instalován ještě doplňkový zdroj tepla, nejčastěji elektrokotel. Ten může být integrován přímo v jednotce tepelného čerpadla od výrobce, nebo instalován zvlášť. V praxi se toto řešení volí kvůli nižším investičním nákladům. Obecně lze ale označit za bivalentní řešení nejenom doplnění tepelného čerpadla elektrokotlem, ale spolupráci s jakýmkoli jiným zdrojem tepla, např. krbem či kotlem na pevná paliva.

Při bivalentní provozu, kdy je doplňkovým zdrojem elektrokotel, se tepelné čerpadlo dimenzuje obvykle na 50–80 % tepelných ztrát objektu. Zbytek tepelných ztrát při nejnižších teplotách kryje bivalentní zdroj. V ČR je většina systémů navrhována jako bivalentní, naopak v zahraničí, např. v Německu nebo ve Švýcarsku, je více jak 70 % monovalentních systémů s tepelnými čerpadly.

K zaručení dostatečného výkonu tepelného čerpadla a jeho správné funkce je třeba správně dimenzovaný kolektor. Velikost kolektoru závisí na konkrétních podmínkách. Není tak důležité, jestli je tepelné čerpadlo navrženo jako zdroj monovalentní nebo bivalentní, je ale třeba, aby měl kolektor dostatečnou kapacitu na krytí daného výkonu tepelného čerpadla. Množství tepla, které je možno získat z 1 m² pozemku, závisí na termofyzikálních vlastnostech půdy, jako je objemová tepelná kapacita nebo tepelná vodivost. Obecně platí, že čím vlhčí půda s vyšším obsahem minerálů (křemen nebo živec) a s menším obsahem

vzduchových pórů, tím je energeticky vydatnější. Naopak suché, nesoudržné půdy jsou málo energeticky vydatné. Pokud nejsou k dispozici podrobnější údaje o vlastnostech půdy, je možné vycházet z následujících průměrných hodnot.

Tab. 2 – Energetická vydatnost druhů půd, Zdroj: [10]

Měrné výkony jímání tepla	q_{zp} [W/m ²]
suché nesoudržné půdy	10–15
vlhké soudržné půdy	15–20
velmi vlhké soudržné půdy	20–25
půdy obsahující vodu	25–30
půdy s výskytem spodní vody	30–40

Plochu kolektorů lze přibližně určit na základě vlastností půdy a chladicího výkonu tepelného čerpadla. Chladicí výkon se spočte z energetické bilance podle rovnice (4.3). Je určen rozdílem topného výkonu a příkonu tepelného čerpadla.

$$Q_C = Q_H - P_T \quad [\text{kW}] \quad (4.1)$$

$$S = Q_C/q_{zp} \quad [\text{m}^2] \quad (4.2)$$

Vzhledem k tomu, že se PE hadice pokládají do výkopů s roztečí 1 m, odpovídá 1 m hadice 1 m² plochy půdy. Pokud je to možné, je výhodou kolektor mírně předimenzovat. Systém má stálejší topný faktor i v chladných zimních měsících a nedochází k zamrznání půdy v okolí kolektoru. Půda je potom ke konci topné sezony méně energeticky vyčerpaná a snadněji se regeneruje. Nárůst investičních nákladů spojených s naddimenzováním kolektoru o 5–10 % nebývá nikterak značný, jak je vidět z následující kapitoly.

5. POROVNÁNÍ PLOŠNÝCH KOLEKTORŮ S OSTATNÍMI ZDROJI TEPLA PRO TEPELNÁ ČERPADLA

5.1 SROVNÁNÍ INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ

V této kapitole jsou plošné kolektory srovnány z hlediska investičních nákladů s ostatními běžnými zdroji tepla pro tepelná čerpadla, konkrétně s vrty a jímáním tepla z okolního vzduchu. Systém voda–voda nebyl uvažován, protože jeho využití je velmi atypické a obecně ho lze realizovat pouze za určitých podmínek. Stejně tak není uvažován systém vzduch–vzduch, protože se v tomto případě nerealizuje standardní teplovodní otopná soustava a srovnání by bylo velice obtížné. Vybrány byly dva hypotetické modelové rodinné domky. Průmyslový objekt nebyl uvažován, protože by k jeho vytápění byla zapotřebí rozsáhlá plocha kolektoru, kterou by nebylo možno jinak využívat a proto je tato varianta pro podniky málo zajímavá.

V obou případech je použito tepelného čerpadla k vytápění a ohřevu TUV. Navíc je vždy uvažována akumulární nádrž topné vody, která představuje investici navíc, ale zabraňuje

častému spínání kompresoru a tím výrazně prodlužuje jeho životnost. Charakteristiky tepelných čerpadel byly převzaty z údajů od výrobce [24] pro nízkoteplotní otopný systém s teplotním spádem 0/35 °C.

Pro výpočet ceny zemního kolektoru byla použita orientační cena 130 Kč/m, neboť se nepodařilo zjistit detailnější ceny výkopových prací. K výpočtu ceny vrtů pak orientační cena 800 Kč/m. Cena zahrnuje injektáž cemento-bentonitovou směsí, vystrojení vrtu PE hadicí a tlakovou zkoušku. Tyto ceny závisí zejména na typu půdy, u vrtů pak na druhu horniny a podloží. Jejich navýšení v případě obtížných podmínek však není větší než cca 20 %.

Pro stanovení plochy kolektoru byl použit měrný výkon jímání tepla $q_{zp} = 20 \text{ W/m}^2$, což odpovídá realizaci kolektoru ve vlhké soudržné zemině. Při výpočtu hloubky vrtu pak byl uvažován měrný výkon jímání tepla $q_{zh} = 55 \text{ W/m}$. Tato hodnota odpovídá realizaci vrtu v normální pevné hornině.

Tepelná čerpadla, ostatní komponenty a instalační materiál byly zvoleny od firmy Stiebel Eltron. Ceny jednotlivých položek byly převzaty z ceníku na internetových stránkách výrobce [24]. Cena systému za použití tepelného čerpadla jiné firmy s vestavěnými komponenty se liší jen minimálně. Při výpočtu konečných částek bylo u všech přístrojů, komponent a vykonané práce uvažováno DPH 9 %.

5.1.1 Výpočet plochy kolektorů a hloubky vrtů

K vypočtení potřebné plochy kolektorů bylo použito zjednodušeného vztahu (5.1). Výpočet hloubky vrtů byl taktéž proveden pouze s jednoduchou rovnicí (5.2).

$$S = \frac{Q_C}{q_{zp}} \quad [\text{m}^2] \quad (5.1)$$

$$H = \frac{Q_C}{q_{zh}} \quad [\text{m}] \quad (5.2)$$

Takto získané hodnoty jsou pouze orientační. Při projekci reálného zařízení by bylo zapotřebí provést detailní analýzu půdy či hornin. Vzhledem k tomu, že uvažované objekty jsou pouze hypotetické, jsou získaná data plně dostačující a podávají velice uspokojivé informace o ceně systému a její závislosti na ploše kolektoru či hloubce vrtu. Ta je nejvíce závislá na vlastnostech zeminy nebo horniny, ve které je kolektor či vrt projektován.

5.1.2 Modelový dům 7,5 kW

První modelový příklad je hypotetický rodinný domek s vypočtenou tepelnou ztrátou 7,5 kW situovaný v Ústí nad Orlicí, což lokalita s běžným klimatem. Tato hodnota byla volena jako aktuální příklad energeticky úsporného nebo nízkoenergetického rodinného domku s malou tepelnou ztrátou, kde je způsob vytápění tepelným čerpadlem vyhledávanou variantou.

Pro tento objekt jsou kvůli srovnání investičních nákladů zpracovány tři varianty tepelných zdrojů. První dvě varianty jsou osazeny shodnými tepelnými čerpadly a liší se pouze ve zdroji tepla. U první se jedná o plošný kolektor, u druhé o vrt. U obou variant jsou uvedeny dvě možnosti. Nejprve tepelné čerpadlo plně kryjící tepelné ztráty objektu, tedy monovalentní zapojení, následně tepelné čerpadlo kryjící tepelné ztráty pouze z části, tedy bivalentní zapojení. Toto zpracování slouží k stanovení vhodnosti monovalentního či bivalentního zapojení u vrtů a plošných kolektorů.

Třetí variantou je systém vzduch–voda, který je navržen jako bivalentní s vestavěným elektrokotlem. Ten při velmi nízkých teplotách pomáhá tepelnému čerpadlu pokrýt tepelné ztráty objektu.

V položce instalačního materiálu jsou v následujících tabulkách zahrnuty všechny potřebné komponenty, takže výsledná cena je úplná. Tyto položky nejsou uváděny, zaznamenána je pouze celková cena spolu se samotnou instalací.

- a) V první variantě je zdrojem tepla plošný kolektor. V monovalentním zapojení pracuje tepelné čerpadlo WPF 7 o výkonu 7,8 kW s plošným kolektorem o rozloze 300 m². Druhou možností je bivalentní zapojení tepelného čerpadla WPF 5 o výkonu 5,8 kW. V tomto případě tepelné čerpadlo kryje 77 % tepelných ztrát objektu a velikost kolektoru je 225 m². Výsledný cenový rozdíl oproti monovalentnímu zapojení představuje poslední položku v následující tabulce.

Tab.3 – Tabulka cen TČ a příslušenství u prvního modelového domu s plošným kolektorem

Dům 7,5 kW s plošným kolektorem	
Položka	Cena [Kč]
TČ WPF 7	150 380
Akumulační zásobník SBP 200 E	16 590
Zásobník TUV SBB 300 WP	31 710
Oběhové čerpadlo pro TUV UP 25-60	3574
Instalace a instalační materiál	61 719
Cena zemního kolektoru	39 000
Celková cena	302 973
Celková cena s 9 % DPH	330 240
Cenový rozdíl při bivalentním zapojení TČ WPF 5	-20 150

- b) V druhé variantě je zdrojem tepla vrt. Jsou zde použita stejná tepelná čerpadla jako v předchozím případě, tedy monovalentní zapojení tepelného čerpadla WPF 7 o výkonu 7,8 kW se 110 m hlubokým vrtem a bivalentní zapojení tepelného čerpadla WPF 5 o výkonu 5,8 kW s vrtem hlubokým 82 m. Cenový rozdíl monovalentního a bivalentního zapojení je poslední položkou v následující tabulce.

Tab.4 – Tabulka cen TČ a příslušenství u prvního modelového domu s vrtem

Dům 7,5 kW s vrtem	
Položka	Cena [Kč]
TČ WPF 7	150 380
Akumulační zásobník SBP 200 E	16 590
Zásobník TUV SBB 300 WP	31 710
Oběhové čerpadlo pro TUV UP 25-60	3574
Instalace a instalační materiál	61 719
Cena vrtu (1vtr 110m)	87 270
Kontejner na vytěženou zeminu	5000
Geolog. práce, projektová dokumentace	10 000
Celková cena s 9% DPH	393 755
Cenový rozdíl při bivalentním zapojení TČ WPF 5	-34 313

- c) Třetí variantou je systém vzduch–voda osazený tepelným čerpadlem WPL 10A o výkonu 6,3 kW při 2 °C. Vzhledem k závislosti topného faktoru těchto tepelných čerpadel na teplotě okolního vzduchu je systém navržen jako bivalentní s již zabudovaným elektrokotlem o výkonu 8,8 kW, který bude využíván k vytápění za velmi nízkých teplot.

Tab.5 – Tabulka cen TČ vzduch–voda a příslušenství u prvního modelového domu

Dům 7,5 kW s TČ vzduch–voda	
Položka	Cena [Kč]
TČ WPL 10A	149 800
Akumulační zásobník SBP 200 E	16 590
Zásobník TUV SBB 300 WP	31 710
Oběhové čerpadlo pro TUV UP 25-60	3 574
Ekvitermní regulace WPMW II	13 125
Instalace, tlaková zkouška, instalační materiál	35 933
Celková cena s 9% DPH	273 298

5.1.3 Modelový dům 16 kW

Druhým modelovým příkladem je dům s vypočtenou tepelnou ztrátou 16 kW umístěný ve stejné lokalitě. Tento objekt byl zvolen jako příklad velkého rodinného domu, popřípadě staršího objektu s potřebou rekonstrukce otopné soustavy a tepelného zdroje pro vytápění.

Analogicky jako u předchozího modelového domku jsou i pro tento zpracovány tři varianty tepelných zdrojů. První variantou je opět tepelné čerpadlo s plošným kolektorem, druhou tepelné čerpadlo s vrtem a třetí systém vzduch–voda. U prvních dvou variant byly vyhotoveny tentokrát tři možnosti zapojení různých tepelných čerpadel. Více různých řešení je rozpracováno pro názornost a kvůli skutečnosti, že u objektu s vyššími tepelnými ztrátami je velice dobře vidět závislost ceny kolektoru či vrtu na jeho hloubce či ploše. Následně lze snadno stanovit vhodnost dimenzování tepelných čerpadel na plné krytí tepelných ztrát objektu, nebo pouze na krytí částečné.

- a) U první varianty je zdrojem tepla pro tepelné čerpadlo opět plošný kolektor. V monovalentním zapojení pracuje tepelné čerpadlo WPF 16 o výkonu 16,1 kW s plošným kolektorem o velikosti 625 m². Dále jsou navržena dvě různá tepelná čerpadla v bivalentní zapojení. První tepelné čerpadlo WPF 13 má výkon 13,4 kW a je navrženo na 84% pokrytí tepelných ztrát objektu. Druhé je tepelné čerpadlo WPF 10 o výkonu 9,9 kW dimenzované na 62% pokrytí tepelných ztrát. Velikosti kolektorů jsou v těchto případech 515 m² a 385 m². Cenové rozdíly u obou bivalentních zapojení jsou spočteny vzhledem k monovalentně navrženému tepelnému čerpadlu. Kvůli velikosti objektu a předpokládané vyšší spotřebě TUV je otopný systém navržen s větší kapacitou zásobníků TUV a topné vody.

Tab.6 – Tabulka cen TČ a příslušenství u druhého modelového domu s plošným kolektorem

Dům 16 kW s plošným kolektorem	
Položka	Cena [Kč]
TČ WPF 16	176 890
Akumulační zásobník SBP 400 E	18 980
Zásobník TUV SBB 300 WP	31 710
Oběhové čerpadlo pro TUV UP 25-60	3574
Instalace, tlaková zkouška, instalační materiál	66 663
Cena plošného kolektoru	81 250
Cena s 9% DPH	413 183
Cenový rozdíl při bivalentním zapojení TČ WPF13	-25 353
Cenový rozdíl při bivalentním zapojení TČ WPF10	-43 916

- b) U druhé varianty je zdrojem tepla pro tepelné čerpadlo vrt. Uvažována jsou stejná tepelná čerpadla jako v předchozím případě. U monovalentního zapojení jsou navrženy tři vrty hluboké 76 m, u bivalentního zapojení s tepelným čerpadlem WPF 13 dva vrty o hloubce 94 m. Třetí možností je realizace tepelného čerpadla WPF 10 s dvěma vrty hlubokými 70 m. Cenové rozdíly jsou opět vztaženy k monovalentnímu návrhu.

Tab.7 – Tabulka cen TČ a příslušenství u druhého modelového domu s vrtem

Dům 16 kW s vrtem	
Položka	Cena [Kč]
TČ WPF 16	176 890
Akumulační zásobník SBP 400 E	18 980
Zásobník TUV SBB 300 WP	31 710
Oběhové čerpadlo pro TUV UP 25-60	3574
Instalace, tlaková zkouška, instalační materiál	66 663
Cena vrtu (3 vrty 76m)	182 400
Cena s 9% DPH	523 437
Cenový rozdíl při bivalentním zapojení TČ WPF13	-44 788
Cenový rozdíl při bivalentním zapojení TČ WPF10	-86 644

- c) Třetí variantou je tepelné čerpadlo WPL 18 vzduch–voda. Toto zařízení má výkon 11,6 kW při teplotě okolního vzduchu 2 °C, disponuje navíc vestavěným elektrokotlem 8,8 kW.

Tab.8 – Tabulka cen TČ vzduch–voda a příslušenství u druhého modelového domu

Dům 16 kW s TČ vzduch–voda	
Položka	Cena [Kč]
TČ WPL 18	189 767
Příslušenství	47 277
Akumulační zásobník SBP 400 E	18 980
Zásobník TUV SBB 300 WP	31 710
Oběhové čerpadlo pro TUV UP 25-60	3574
Ekvitermní regulace WPMW II	13 125
Instalace, tlaková zkouška, instalační materiál	35 933
Celková cena s 9% DPH	370 966

5.2 HODNOCENÍ

5.2.1 Monovalentní nebo bivalentní zapojení?

Jedním z prvotních problémů při realizaci tepelného čerpadla je, zda má být dimenzováno na 100% krytí tepelných ztrát, nebo jenom na krytí částečné. Toto rozhodnutí se v první řadě dotýká investičních nákladů. Proto bylo navrženo několik možností osazení uvažovaných objektů tepelnými čerpadly o různém výkonu. Z cenových srovnání bivalentních a monovalentních variant lze následně stanovit, zda mají být tepelná čerpadla s vrtů nebo plošnými kolektory navrhována monovalentní či nikoli.

Pokud hodnotíme systém využívající jako zdroj tepla plošné kolektory, tak navýšení celkové ceny při monovalentním provozu není nikterak značné. U objektu s malou tepelnou ztrátou je monovalentní systém zhruba o 20 000 Kč dražší než bivalentní. U druhého objektu je při realizaci tepelného čerpadla WPF 10 monovalentní zapojení dražší zhruba o 40 000 Kč. Jediný problém představuje velká plocha potřebná k budování kolektoru, která roste s výkonem tepelného čerpadla. Je pravdou, že systém je většinu roku předimenzován, ale vzhledem k celkovým investičním nákladům je toto navýšení minimální a tepelné čerpadlo kryje veškeré potřeby tepla na vytápění a ohřev TUV. V ČR se většina systémů navrhuje bivalentní, což na základě výše uvedených závěrů nelze považovat za rozumné řešení, rozhodně ne u domků s malými tepelnými ztrátami.

U vrtů jako zdroje tepla je situace poněkud odlišná. U prvního domku je cenové navýšení cca 350 00 Kč. To není příliš vysoká částka vzhledem k celkové ceně a lze zde ještě mluvit o přijatelné investici. U druhého domu při realizaci tepelného čerpadla WPF 10 již činí rozdíl okolo 90 000 Kč oproti monovalentnímu systému. Navíc uvažovaná cena odpovídá provedení vrtu v lehčích geologických podmínkách. S přihlédnutím k celkové velmi vysoké částce je pochopitelné, že jsou systémy s vrtů navrhovány jako bivalentní.

5.2.2 Srovnání plošných kolektorů s ostatními zdroji tepla

Nejnižší investiční náklady jsou dle očekávání u tepelného čerpadla vzduch–voda. Je to logické, neboť zde není třeba budovat jakýkoli kolektor či vrt, čímž značně klesají náklady. Další výhody tohoto systému spočívají v jednoduchosti instalace. Nevýhodou zůstává kolísající topný faktor. Právě v období nejnižších teplot, kdy je třeba topit nejvíce, tento

faktor mnohdy klesá pod hodnotu, kdy ještě můžeme hovořit o hospodárnosti tepelného čerpadla.

Naproti tomu systémy země–voda opatřené vrty jako zdroji tepla jsou finančně nejnákladnější. Tento rozdíl roste s hodnotou tepelných ztrát objektu, jinak řečeno s výkonem daného tepelného čerpadla. Je to dáno značnou cenou vrtů. U objektu s malou tepelnou ztrátou výsledná cena činí při monovalentní provozu zhruba 390 000 Kč, u druhého objektu okolo 520 000 Kč, což není zanedbatelná investice. Pokud je tepelné čerpadlo dimenzováno pouze na částečné krytí tepelných ztrát objektu, celková cena samozřejmě klesá, jak lze vidět ze srovnání výše. Výhodou vrtů je stálý topný faktor a fakt, že zabírají menší prostor než plošné kolektory. Mezi nevýhody patří hlavně zmíněná vysoká cena.

Porovnáme-li plošné kolektory jako zdroje tepla s vrty a získáváním tepla z okolního vzduchu, vycházejí jako cenový střed. Je pravdou, že tepelná čerpadla vzduch–voda jsou cenově výhodnější. Tento rozdíl však paradoxně klesá s rostoucím výkonem tepelných čerpadel. U prvního domku činí zhruba 60 000 Kč, u druhého už jen něco přes 40 000 Kč. Ceny jsou vztaheny k monovalentnímu tepelnému čerpadlu s plošným kolektorem, u bivalentního provozu je rozdíl ještě menší. Pro tepelné čerpadlo WPF 10 s plošným kolektorem u domu s tepelnou ztrátou 16 kW již není oproti systému vzduch–voda žádný cenový rozdíl. Je třeba ještě podotknout, že tepelná čerpadla vzduch–voda jsou z drtivé většiny navrhována jako bivalentní, protože při nízkých teplotách nejsou schopna pokrýt tepelné ztráty objektu.

Při srovnání s vrty vycházejí cenové rozdíly vyšší, ale ve prospěch plošných kolektorů. Systém opatřený plošnými kolektory vychází u prvního domku o cca 60 000 Kč levněji než systém s vrty. U druhého objektu je již rozdíl téměř 110 000 Kč. Tyto hodnoty platí pro monovalentní zapojení shodných tepelných čerpadel. Pokud je tepelné čerpadlo navrženo pouze na částečné krytí tepelných ztrát, pak cenový rozdíl klesá, i když zůstává stále značný.

Z toho lze vyvodit výhody plošných kolektorů. Jsou sice investičně o něco nákladnější než systém vzduch–voda, což je velmi levný a často montovaný systém, ale tento rozdíl klesá s rostoucím výkonem tepelného čerpadla. Navíc jsou mnohem levnější než tepelná čerpadla s vrty. Tento rozdíl se ještě stupňuje s velikostí tepelných ztrát objektu, které je třeba krýt. Jejich zřejmě největší výhoda spočívá v tom, že je lze s výhodou navrhovat jako monovalentní u objektů s nižší tepelnou ztrátou. Touto možností vůbec nedisponují tepelná čerpadla využívající jako zdroje tepla okolní vzduch a u vrtů je to vykoupeno značným nárůstem investičních nákladů. Další výhodou spočívá v celoročně poměrně stálém topném faktoru, stejně jako u vrtů, na rozdíl od tepelných čerpadel využívajících jako zdroj tepla okolní vzduch.

5.3 POROVNÁNÍ SLOŽITOSTI INSTALACE

Jak již bylo řečeno, nejjednodušší instalaci má systém využívající jako zdroj tepla okolní vzduch. Je to dáno tím, že zde není třeba budovat žádný vrt ani kolektor a tím odpadá značné množství zemních prací. U vrtů tyto práce zajišťuje kvalifikovaná firma a k jejich realizaci je třeba projektová dokumentace a povolení od báňského úřadu.

Plošné kolektory s sebou nesou v tomto ohledu značnou nevýhodu. K realizaci je nutný poměrně rozsáhlý pozemek určený k položení kolektoru, který navíc není možné později nijak stavebně využít a nelze zde zasazovat ani hluboce kořenicí zeleň.

Výhodou oproti vrtům je ale absence povolení od báňského úřadu, i když je nutné ohlášení na vodohospodářský úřad. Tím pádem nehrozí, že by stavba nebyla povolena a je možné instalovat kolektor vždy, pokud je na něj místo. Velikost potřebné plochy bohužel silně závisí na charakteru zeminy. Další výhodou je možnost provedení výkopových prací

svépomocí. Co se týče objemu pozemních prací, jsou na ně plošné kolektory nejnáročnější a je zapotřebí množství následných terénních úprav.

5.4 VHODNOST PLOŠNÝCH KOLEKTORŮ

Z předchozího hodnocení vyplývá, že plošné kolektory jsou vhodné především pro novostavby. U stávajících objektů je již většinou prostor kolem domu zastavěn či jinak využit a výkopové práce by byly nereálné nebo pro majitele nemyslitelné.

Tato varianta jímání tepla zajišťuje pohodlné bezobslužné vytápění se stálým topným faktorem za přijatelnou cenu vzhledem k ostatním zdrojům tepla. Lze využít také tepelná čerpadla s přímým vypařováním, která jsou orientačně za stejné ceny a mají menší plochu kolektoru, bohužel u nás nejsou ještě příliš vyzkoušena. Další velice zajímavou variantou je instalace tepelného čerpadla s integrovanou rekuperační jednotkou, která odebírá navíc ještě teplo odváděnému vzduchu, čímž se zvyšuje výkon a parametry systému. To je zvláště zajímavé pro nízkoenergetické a pasivní domy. Navíc se pod základy domu zabudovává zemní registr pro přívod vzduchu, který je v létě ochlazován a v zimě ohříván okolní půdou. Tepelná čerpadla pro tento druh vytápění mají malé výkony kvůli nízkým tepelným ztrátám těchto objektů a z tohoto důvodu jsou nutné malé plochy kolektorů a celkově nižší investiční náklady. Vzhledem k současnému vývoji ve stavebnictví a hlavně ve snaze o maximální úspory energií budou tyto systémy nabývat na významu.

6. EKONOMICKO – ENERGETICKÉ HODNOCENÍ

6.1 SROVNÁNÍ S OSTATNÍMI ZPŮSOBY VYTÁPĚNÍ

V této podkapitole je provedeno srovnání provozních nákladů tepelného čerpadla s plošnými kolektory s ostatními běžnými zdroji tepla pro vytápění a ohřev TUV. Nejprve byla u zvoleného hypotetického objektu s danou vypočtenou tepelnou ztrátou spočtena potřeba tepla k vytápění a ohřevu TUV. Dále byly pro tepelné čerpadlo a ostatní zdroje tepla stanoveny provozní náklady na jeden rok podle aktuálních cen energií a paliv platných od 1. 1. 2008. Na základě vypočtených provozních nákladů jsou vybrané zdroje tepla pro domácnost porovnány.

6.1.1 Výpočet potřebné energie k vytápění a ohřevu TUV

Pro porovnání nákladů na vytápění a ohřev TUV byl zvolen první objekt z předchozího srovnání investičních nákladů, tedy dům s vypočtenou tepelnou ztrátou 7,5 kW a to z toho důvodu, že zde lze za přijatelných investičních nákladů navrhnout tepelné čerpadlo jako monovalentní. Tepelné čerpadlo plně kryje potřebu tepla na vytápění a ohřev TUV a proto se dají jednoznačně stanovit roční provozní náklady.

Jak již bylo řečeno, v objektu je uvažována nízkoteplotní otopná soustava realizovaná podlahovým vytápěním, která zlepšuje parametry systému. Dále bylo počítáno s tím, že objekt obývají 4 osoby, což je důležité pro výpočet tepla potřebného k ohřevu TUV.

Pro vlastní výpočet byla použita denostupňová metoda vycházející z platných norem. Jako umístění objektu bylo zvoleno Ústí nad Orlicí. Podrobná data nutná k výpočtu jsou uvedena v následující tabulce. Všechna data a potřebné vztahy pro tento výpočet byly čerpány z [18] a [19].

Tab. 9 – Parametry pro výpočet potřeby tepla k vytápění a ohřevu TUV, Zdroj: [18]

Lokalita	t_e [°C]	t_{em} [°C]	t_{es} [°C]	t_{is} [°C]	d [dny]	Q [kW]
Ústí nad Orlicí	-15	13	3,6	20	251	7,5

Z těchto hodnot se stanoví na základě rovnice (6.1) vytápěcí denostupně D.

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad [K] \quad (6.1)$$

Podle rovnice (6.2) pak lze vypočítat množství tepla potřebného k vytápění za jeden rok.

$$Q_{V,R} = \frac{\varepsilon}{\eta_0 \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3600 \quad [J/rok] \quad (6.2)$$

K určení potřeby tepla k ohřevu TUV se nejprve pomocí rovnice (6.3) určí množství tepla potřebného na 1 den. Podle rovnice (6.4) potom potřebné teplo na celý rok.

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad [MWh] \quad (6.3)$$

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{sv1}}{t_2 - t_{sv2}} \cdot (N - d) \quad [MWh/rok] \quad (6.4)$$

Celkové množství tepla se vypočítá na základě rovnice (6.5) jako součet tepla potřebného k vytápění a k ohřevu TUV. Výsledky výpočtu a hodnoty k nim potřebné, nutné k následnému ekonomickému srovnání nákladů na vytápění s ostatními zdroji tepla, jsou uvedeny v následujících dvou tabulkách.

$$Q_{C,r} = Q_{V,r} + Q_{TUV,r} \quad [MWh/rok] \quad (6.5)$$

Tab.10 – Veličiny nutné k výpočtu potřeby tepla na vytápění a ohřev TUV, Zdroj: [19]

D	ε	η_0	η_r	z	ρ	c	V_{2p}	t_1	t_2	t_{sv1}	t_{sv2}	N
[K.dny]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kg/m ³]	[J/kg.K]	[m ³]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[dny]
4116,4	0,765	0,95	0,95	0,5	1000	4168	0,33	10	55	15	5	365

Tab.11 – Vypočtené hodnoty tepla k vytápění a ohřevu TUV za rok

$Q_{V,r}$ [MWh/rok]	$Q_{TUV,d}$ [kWh/den]	$Q_{TUV,r}$ [MWh/rok]	$Q_{C,r}$ [MWh/rok]
38,28 (64,52 GJ/rok)	25,79	8,35 (30,08 GJ/rok)	46,63 (94,6 GJ/rok)

6.1.2 Výpočet provozních nákladů

Pro výpočet provozních nákladů byla uvažována energie potřebná k vytápění, ohřevu TUV a energie pro ostatní spotřebiče, jejíž hodnota byla brána 2 MWh/rok. U všech druhů paliv byl zohledněn odběr elektřiny v nízkém a vysokém tarifu podle rozsahu těchto tarifů.

Tab. 12 – Ceny za MWh a měsíční poplatky za jističe v různých sazbách, Zdroj: [21]

ε_{TOP}	$VT_{T\check{C}}$	$NT_{T\check{C}}$	NT_E	VT_E	NT_N	VT_N	$J_{T\check{C}}$	J_E	J_N
[-]	[Kč/MWh]	[Kč/MWh]	[Kč/MWh]	[Kč/MWh]	[Kč/MWh]	[Kč/MWh]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
3,5	2581,03	2084,09	2080,52	2640,53	1595,2	4563,5	290,36	453,54	207,06

Tab. 13 – Výchřevnosti, ceny paliv a účinnosti kotlů, Zdroj: [20]

Q_U	η_U	cena _U	P_P	$P_{\check{C}}$	Q_D	η_D	cena _D	Q_{DB}	η_{DB}	cena _{DB}
[MJ/kg]	[%]	[Kč/kg]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[MJ/kg]	[%]	[Kč/kg]	[MJ/kg]	[%]	[Kč/kg]
18	0,55	1,9	1700	1200	14,6	0,75	0,93	17,5	0,75	3,5

Tab.14 – Výchřevnosti, účinnosti kotlů a ceny propanu a zemního plynu, Zdroj: [20]

Q_{PR}	η_{PR}	Cena _{PR}	J_P	Q_P	η_P	cena _P
[MJ/kg]	[%]	[Kč/kg]	[Kč/měsíc]	[MJ/m ³]	[%]	[Kč/m ³]
46,4	0,89	21	227,6	37,82	102	9,86

a) Tepelné čerpadlo

Při výpočtu nákladů na provoz tepelného čerpadla bylo počítáno s topným faktorem 3,5 i přes to, že výrobce uvádí 4,4. Důvodem je to, že tento topný faktor nebere v úvahu vlivy otopného systému ani spotřebu oběhových čerpadel. Celkovou energii potřebnou pro vytápění a ohřev TUV získáme na základě rovnic (6.6) a (6.7).

$$A_{vyt\check{C}} = \frac{Q_{V,r}}{\varepsilon_{TOP}} \quad [MWh/rok] \quad (6.6)$$

$$A_{TUV} = \frac{Q_{TUV,r}}{\varepsilon_{TOP}} \quad [MWh/rok] \quad (6.7)$$

Celkové náklady na vytápění, ohřev TUV a energii pro ostatní spotřebiče získáme dosazením do rovnic (6.8), (6.9) a (6.10). Procentuální využití nízkého tarifu sazby D56d je uvažováno 95 % vzhledem k jeho délce trvání 22 hodin, tedy $y_{NT} = 0,95$; $x_{VT} = 0,05$.

$$N_{vyt\check{C}} = A_{vyt\check{C}} \cdot (VT_{T\check{C}} \cdot x_{VT} + NT_{T\check{C}} \cdot y_{NT}) + 12 \cdot J_{T\check{C}} \quad [K\check{C}] \quad (6.8)$$

$$N_{TUVT\check{C}} = A_{TUV} \cdot (VT_{T\check{C}} \cdot x_{VT} + NT_{T\check{C}} \cdot y_{NT}) \quad [K\check{C}] \quad (6.9)$$

$$N_{ost\check{C}} = A_{el} \cdot (VT_{T\check{C}} \cdot x_{VT} + NT_{T\check{C}} \cdot y_{NT}) \quad [K\check{C}] \quad (6.10)$$

b) Elektrokotel

U vytápění elektrokotlem je v sazbě D45d o 2 hodiny méně nízkého tarifu než u sazby D56d pro tepelná čerpadla, z toho důvodu je ve výpočtu uvedeno využití nízkého tarifu 90 %, tedy $y_{NT} = 0,9$; $x_{VT} = 0,1$. Celkové roční náklady na vytápění, ohřev TUV a ostatní spotřebiče se vypočtou z rovnic (6.11) až (6.13).

$$Q_{V,r} = A_{vyt} ; Q_{TUV,r} = A_{TUV}$$

$$N_{vytE} = A_{vyt} \cdot (VT_E \cdot x_{VT} + NT_E \cdot y_{NT}) + 12 \cdot J_E \quad [Kč] \quad (6.11)$$

$$N_{TUV E} = A_{TUV} \cdot (VT_E \cdot x_{VT} + NT_E \cdot y_{NT}) \quad [Kč] \quad (6.12)$$

$$N_{ostE} = A_{el} \cdot (VT_E \cdot x_{VT} + NT_E \cdot y_{NT}) \quad [Kč] \quad (6.13)$$

c) Plyn

Výpočet nákladů u všech způsobů vytápění, kde je vlastní komodita spalována, je realizován pomocí výhřevnosti vlastního paliva a průměrné účinnosti těchto zařízení. Náklady na vytápění a ohřev TUV pro vytápění plynem se pak vypočtou z rovnic (6.14) a (6.15).

$$N_{vytP} = \frac{Q_{V,r}}{Q_P \cdot \eta_P} \cdot cena_P + 12 \cdot J_P \quad [Kč] \quad (6.14)$$

$$N_{TUV P} = \frac{Q_{TUV,r}}{Q_P \cdot \eta_P} \cdot cena_P \quad [Kč] \quad (6.15)$$

Náklady na ostatní spotřebiče se určí podle rovnice (6.16). Využití nízkého tarifu je zde uvažováno 50 %, tedy $y_{NT} = 0,5$; $x_{VT} = 0,5$. Náklady na ostatní spotřebiče u všech následujících způsobů vytápění jsou totožné, protože jde vždy o stejné množství elektrické energie čerpané v tarifu D25d a tento výpočet již nebude zmiňován.

$$N_{ostP} = N_{ostN} = A_{el} \cdot (VT_N \cdot x_{VT} + NT_N \cdot y_{NT}) + 12 \cdot J_N \quad [Kč] \quad (6.16)$$

d) Propan

U vytápění propanem je použit analogický výpočet jako u vytápění plynem. Náklady se spočtou dle rovnice (6.17).

$$N_{vytPR} = \frac{Q_{V,r}}{Q_{PR} \cdot \eta_{PR}} \cdot cena_{PR} \quad [Kč] \quad (6.17)$$

U vytápění propanem, hnědým uhlím, dřevem a dřevěnými briketami jde při spalování vlastních komodit pouze o získávání tepla na vytápění. Energie k ohřevu TUV je vždy energie elektrická čerpaná ve standardní sazbě D25d. Tato sazba má 8 hodin nízkého tarifu, ve kterém je většinou realizován ohřev TUV pomocí elektrického boileru. Proto je zvoleno využití

nízkého tarifu na ohřev TUV 80 %, tedy $y_{NT} = 0,8$; $x_{VT} = 0,2$. Tyto náklady spočteme podle rovnice (6.18), pro další druhy vytápění jsou naprosto totožné a dále již nejsou zmiňovány.

$$N_{TUVN} = A_{TUV} \cdot (VT_N \cdot x_{VT} + NT_N \cdot y_{NT}) \quad [Kč] \quad (6.18)$$

e) Hnědé uhlí

Při určování nákladů u vytápění hnědým uhlím je nutné připočíst pravidelné platby na vyvážení popela a čištění komína, které jsou běžné u tohoto druhu vytápění a také všech ostatních, kde je teplo získáváno pomocí spalování pevných paliv. Tyto náklady vypočteme pomocí rovnice (6.20).

$$N_{vytU} = \frac{Q_{V,r}}{Q_U \cdot \eta_U} \cdot cena_U + P_p + P_e \quad [Kč] \quad (6.20)$$

f) Dřevo

Náklady na vytápění dřevem se určí podle rovnice (6.21). Uvažován je kotel na zplynování dřeva, který má poměrně vysokou účinnost.

$$N_{vytD} = \frac{Q_{V,r}}{Q_D \cdot \eta_D} \cdot cena_D + P_p + P_e \quad [Kč] \quad (6.21)$$

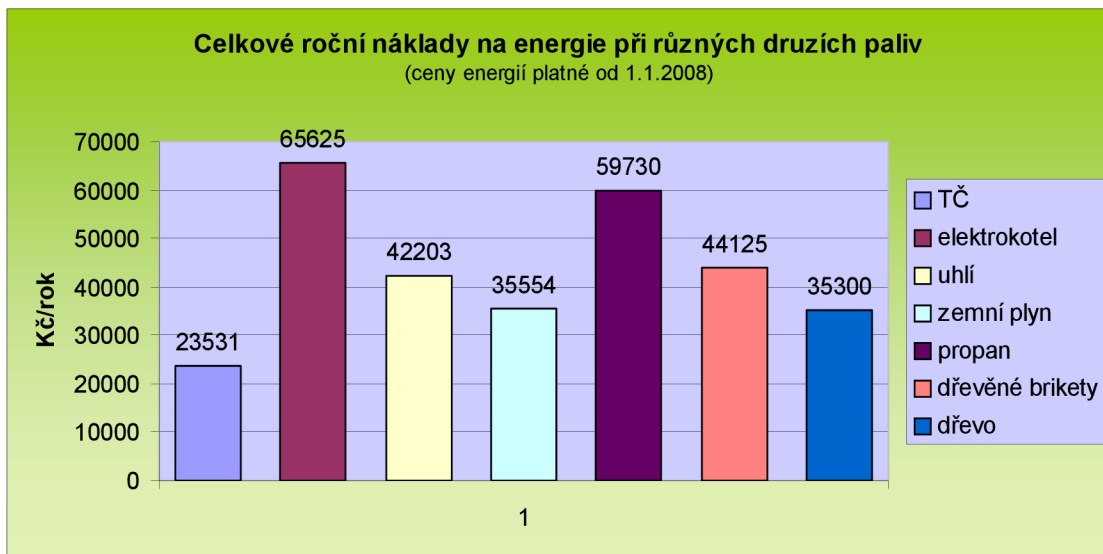
g) Dřevěné brikety

Náklady na vytápění dřevěnými briketami se spočtou podobně jako u vytápění dřevem nebo hnědým uhlím dle rovnice (6.22).

$$N_{vytDB} = \frac{Q_{V,r}}{Q_{DB} \cdot \eta_{DB}} \cdot cena_{DB} + P_p + P_e \quad [Kč] \quad (6.22)$$

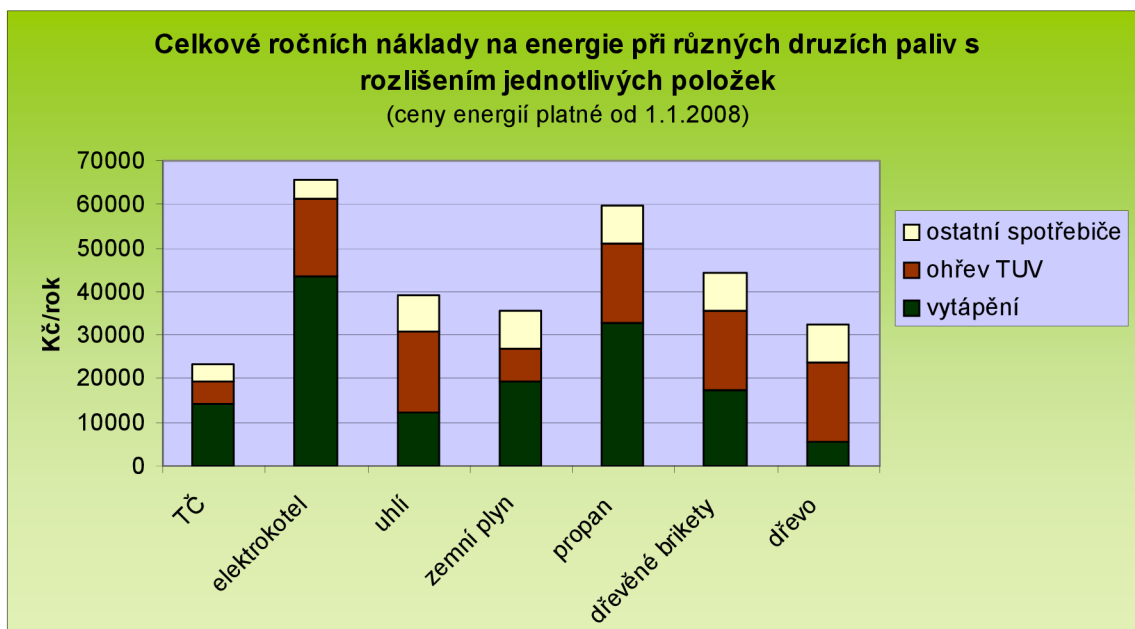
6.1.3 Hodnocení

Z Obr.9 jsou patrné nejnižší provozní náklady právě u tepelného čerpadla. Je třeba říci, že u ostatních druhů vytápění, zvláště těch neelektrických, jsou náklady na vytápění také vesměs nízké. K jejich rapidnímu navýšení dochází díky přičtení nákladů na elektrickou energii potřebnou k ohřevu TUV a provoz ostatních spotřebičů (viz Obr.10). U těchto druhů vytápění bývá standardní sazba za elektřinu D25d s nízkým tarifem trvajícím pouze 8 hodin a značné ceny za elektřinu následně vedou k navýšení celkových nákladů. Výhoda nízkých provozních nákladů u tepelných čerpadel tak paradoxně zčásti spočívá v nízkých nákladech na jeho provoz, ale markantní rozdíly od ostatních způsobů vytápění jsou dány drahou elektřinou v obyčejných sazbách. Například u dřeva vychází náklady na vytápění zhruba 5500 Kč a zbylých 30 000 Kč jsou náklady na elektřinu, což vysvětluje následnou poměrně vysokou celkovou částku.



Obr.9 – Celkové roční náklady na energie při různých druzích paliv

Z toho plyne jasný závěr. Je to nutnost komplexního hodnocení provozních nákladů za energie v domácnosti. Z příkladu s vytápěním dřevem nebo uhlím je vidět, že nelze zvažovat pouze investiční náklady a náklady na vytápění. To je nespornou výhodou sazeb pro tepelná čerpadla, které nám zvýhodňují ceny elektrické energie pro zbytek domácích spotřebičů a ohřev TUV, pokud není realizován přímo tepelným čerpadlem. Nehledě na to, že nízký tarif trvá u této sazby 22 hodin. Pokud by bylo do budoucna toto cenové zvýhodnění zrušeno, stala by se tepelná čerpadla značně nevýhodná.



Obr. 10 – Celkové roční náklady na energie při různých druzích paliv s rozlišením jednotlivých položek

6.2 POROVNÁNÍ INVESTIČNÍCH A PROVOZNÍCH NÁKLADŮ

V této podkapitole jsou kromě provozních nákladů navíc ještě zohledněny náklady investiční. Provozní náklady tepelného čerpadla s plošnými kolektory a ostatních tepelných zdrojů byly převzaty z předchozího srovnání, investiční náklady u tepelného čerpadla z páté kapitoly. U ostatních zdrojů je nutné investiční náklady stanovit.

Porovnání investičních a provozních nákladů tepelného čerpadla s ostatními zdroji tepla pro vytápění je rozčleněno na tři části. V první části jsou vyčísleny investiční náklady na vytápění elektřinou a zemním plynem. Dále pak graficky srovnány investiční a provozní náklady těchto druhů vytápění s tepelným čerpadlem. Grafické srovnání bere v úvahu růst cen energií v budoucích letech a je vyhotoveno na výhledový horizont 15 let. Lze z něj také snadno vyčíst celkové náklady po uplynulé době, což později uvedená ekonomická kritéria neumožňují.

V druhé části jsou stanoveny investiční náklady u vytápění hnědým uhlím a dřevem. Dále pak stejným způsobem jako v předešlé části srovnány investiční a provozní náklady výše zmíněných zdrojů s vytápěním tepelným čerpadlem. Zde jsou již uvažovány rozdílné otopné soustavy.

Dále jsou vypočtena běžně používaná ekonomická kritéria sloužící k hodnocení efektivnosti investic. Jedná se o prostou a diskontní dobu návratnosti, které vypovídají o době, za kterou se investorovi vrátí vynaložené náklady vzhledem k zvolené referenční investici. Spočtena je ještě čistá současná hodnota. Ta se používá pro zhodnocení projektů s počáteční investicí a budoucími peněžními výnosy, které počáteční investici splatí. Toto kritérium zahrnuje časovou hodnotu peněz a proto zřejmě nejvíce vypovídá o efektivnosti investice. Za výhodný je pak považován takový projekt, u kterého vychází čistá současná hodnota kladné číslo. Vztahy pro výpočet těchto kritérií byly převzaty z [6]. Na závěr je celé srovnání vyhodnoceno.

Ve výpočtu zahrnujícím státní dotaci na tepelné čerpadlo je tato dotace uvažována v maximální výši, tedy 60 000 Kč dle SFŽP. Vytápění propanem a dřevěnými briketami dále již není uvažováno. Dřevěné brikety mají nejvyšší provozní náklady ze všech druhů vytápění na pevná paliva a propan je má taktéž velmi vysoké, téměř jako vytápění elektrokotlem. Proto další srovnání proběhne pouze s běžně dostupnými a ekonomicky efektivnějšími variantami.

6.2.1 Srovnání investičních a provozních nákladů TČ s vytápěním elektřinou a zemním plynem

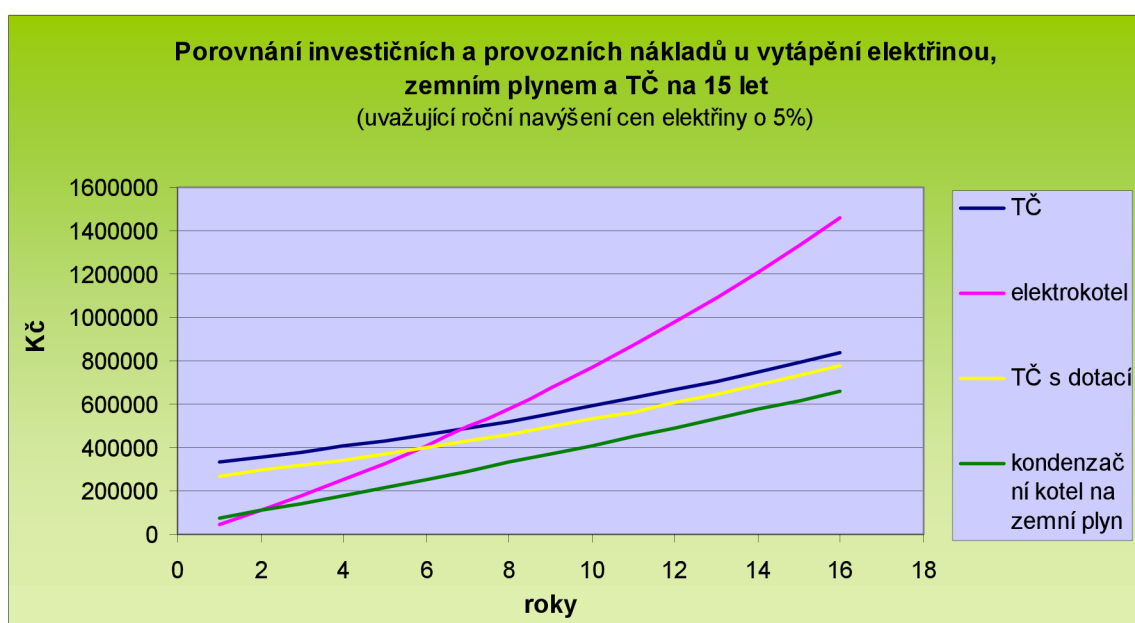
První část je věnována srovnání s nejběžnějšími bezobslužnými způsoby vytápění, jejichž druhy byly navíc voleny tak, aby je bylo možno všechny připojit na podlahové vytápění a nemusel se tak uvažovat cenový rozdíl otopné soustavy. Při stanovení nákladů v budoucích letech byl uvažován roční růst cen elektrické energie 5 %. Růst cen zemního plynu nebyl uvažován, neboť dle stávajících prognóz by mělo dojít ke stagnaci cen a do 5 let i k mírnému poklesu, což jsou závěry převzaté z [22]. V tabulkách 16 a 17 jsou vyčísleny investiční náklady na elektrické a plynové vytápění a ohřev TUV. Montáž těchto zařízení byla počítána na 15 000 Kč, což je průměrná cena instalačních firem. Kondenzační kotel na zemní plyn má zabudovaný zásobník k ohřevu TUV, proto není tato položka uvedena.

Tab.16 – Investiční náklady plynového kondenzačního kotle, Zdroj: [26]

Položka	Typ	Cena [Kč]
Kotel	DAKON KZ 15 B + montáž	63 294
Instalační materiál	expanzní nádrž, oběh. čerpadlo, spoj. materiál	9000
Celkem		72 294

Tab.17 – Investiční náklady elektrického vytápění a ohřevu TUV, Zdroj: [27]

Položka	Typ	Cena [Kč]
Kotel	Protherm Rejnok 15K + montáž	32 665
Zásobník	Protherm B 100 Z	11000
Instalační materiál		3000
Celkem		46 665



Obr. 11 – Porovnání investičních a provozních nákladů u vytápění elektrinou, zemním plynem a TČ na 15 let

6.2.2 Srovnání investičních a provozních nákladů TČ s vytápěním hnědým uhlím a dřevem

V druhé části jsou srovnány zdánlivě nesourodé způsoby vytápění. Vytápění tepelným čerpadlem je bezobslužné, zatímco vytápění kotlem na hnědé uhlí či dřevo je plně závislé na lidské obsluze, nehledě na nutnost místa na uskladnění uhlí, stavbu komína a jeho čištění a vyvážení popela. Poslední dvě zmiňované činnosti byly započteny do celkových nákladů. Nárůst cen hnědého uhlí byl předpokládán 5 % ročně stejně jako u elektrické energie. Ani v jedné části nejsou zahrnuty revize či kontroly zařízení, protože jde o zhruba stejné částky a na celkovou bilanci by neměly vliv. Kromě investičních nákladů na samotná zařízení bylo třeba zahrnout i ceny otopných soustav, protože standardní kotel na hnědé uhlí a kotel na zplynování dřeva se napojují na vysokoteplotní, většinou radiátorovou otopnou soustavu, ne však na podlahové vytápění.

Cena podlahového vytápění byla uvažována 800 Kč/m², plocha domku pak 120 m². Celková cena tedy 96 000 Kč. Cena otopné soustavy s radiátory byla určena dle ceníku firmy

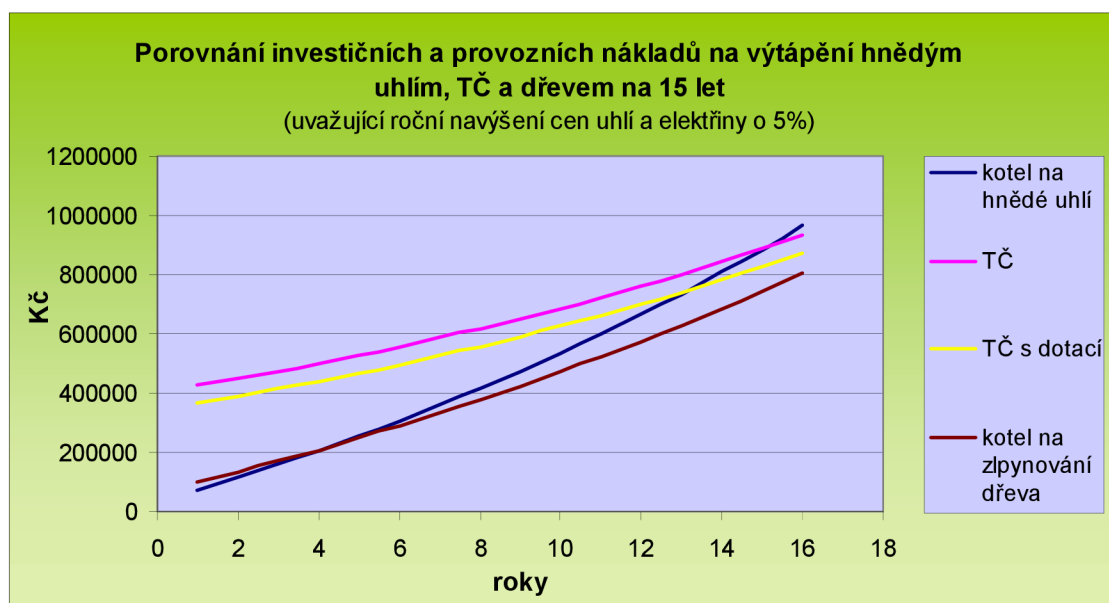
Korado na 16 225 Kč. Přičtena byla částka na spojovací materiál (15 000 Kč), čerpadlo a expanzní nádrž (6000 Kč), celkově tedy 37 225 Kč. Celkové investiční náklady na vytápění hnědým uhlím a dřevem, včetně nákladů na ohřev TUV a otopnou soustavu jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tab.18 – Investiční náklady na vytápění hnědým uhlím, Zdroj: [24], [25], [26]

Položka	Typ	Cena [Kč]
Kotel	DAKON DOR 12 + montáž	31 500
Otopná soustava	radiátory Korado, spojovací materiál	37 225
Bojler k ohřevu TUV	Stiebel Eltron AEG EWH Basis 150 N	6225
Celkem		74 950

Tab.19 – Investiční náklady na vytápění dřevem (kotel na zplynování dřeva), Zdroj: [24], [25], [28]

Položka	Typ	Cena [Kč]
Kotel	Atmos D 15 + montáž	54 851
Otopná soustava	radiátory Korado, spojovací materiál	37 225
Bojler k ohřevu TUV	Stiebel Eltron AEG EWH Basis 150 N	6225
Celkem		98 301



Obr.12 – Porovnání investičních a provozních nákladů na vytápění hnědým uhlím, TČ a dřevem na 15 let

6.2.3 Prostá doba návratnosti investic

Prostá doba návratnosti je nejjednodušším ekonomickým kritériem používaným k hodnocení investic a vypočte se pomocí rovnice (6.23). Jedná se o podíl nákladů a ročních finančních zisků. Neumožňuje sice zahrnout změnu hodnoty peněz v čase, ale podává zevrubnou informaci o vhodnosti investic. Nejefektivnější investice je ta s nejkratší dobou návratnosti. V praxi je velice často používanou pomůckou, proto je zde uvedena. Počáteční investiční náklady zahrnují i náklady na otopnou soustavu, aby bylo možno srovnávat různé druhy vytápění.

$$DN = \frac{IN}{CF} \quad [\text{let}] \quad (6.23)$$

6.2.4 Diskontní doba návratnosti investic

Na rozdíl od předchozího kritéria diskontní doba návratnosti počítá s diskontovanými, neboli reálnými peněžními toky. Tato kritéria patří mezi tzv. statické ukazatele. Nejdříve je třeba vypočítat diskontovaný Cash–Flow podle rovnice (6.24), kde r je diskontní míra stanovená ČNB na 2,75 % pro rok 2008 a T rok, ke kterému se počítá diskontní doba návratnosti. Kritéria jsou vztažena na dobu 15 let, což odpovídá životnosti většiny zařízení. Potom se podle vztahu (6.25) stanoví diskontní doba návratnosti.

$$DCF = \frac{CF}{(1+r)^T} \quad (6.24)$$

$$DN_D = \frac{IN}{DCF} \quad (6.25)$$

6.2.5 Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota patří mezi dynamické ukazatele. Na rozdíl od předchozích kritérií zohledňuje časovou hodnotu peněz. Počítá se jako suma diskontovaných peněžních toků podle vztahu (6.26). O vlastní efektivnosti investice vypovídá z uvedených kritérií zřejmě nejvíce, neboť vlastně převádí hodnotu zařízení po zvoleném období do současnosti. Zde je počítáno s dobou 15 let.

$$NVP = -C_0 + \sum_{i=1}^T \frac{CF}{(1+r)^i} \quad (6.26)$$

Tab.20 – Vypočtená kritéria s kotlem na zemní plyn jako referenční investicí

Referenční investice – kotel na zemní plyn	Jednotky	Zemní plyn	Elektrokotel	TČ	TČ s dotací	Uhlí	Dřevo
Investiční náklady	[Kč]	168 294	142 665	426 240	366 240	74 950	98 301
Provozní náklady celkem	[Kč]	35 554	65 626	23 531	23 531	42 203	35 300
Roční Cash-Flow	[Kč]	0	-30 072	12 023	12 023	-6649	354
Prostá doba návratnosti investice (DN)	[let]	1	není hodnoceno	21,5	16,5	není hodnoceno	počáteční investice je nižší než referenční
Diskontní doba návratnosti investice (DN _D)	[let]	referenční investice		32,2	24,7		
Čistá současná hodnota (NVP)	[Kč]			-111 786	-51 786		

Tab.21 – Vypočtená kritéria s elektrokotlem jako referenční investicí

Referenční investice – elektrokotel	Jednotky	Zemní plyn	Elektrokotel	TČ	TČ s dotací	Uhlí	Dřevo
Investiční náklady	[Kč]	168 294	142 665	426 240	366 240	74 950	98 301
Provozní náklady celkem	[Kč]	35 554	65 626	23 531	23 531	42 203	35 300
Roční Cash-Flow	[Kč]	30 072	0	42 275	42 275	23 423	30 326
Prostá doba návratnosti investice (DN)	[let]	0,9	1	6,7	5,3	počáteční investice je nižší než referenční	počáteční investice je nižší než referenční
Diskontní doba návratnosti investice (DN _D)	[let]	1,3	Referenční investice	10,1	7,9		
Čistá současná hodnota (NVP)	[Kč]	339 947		230 349	290 349		

Tab.22 – Vypočtená kritéria s kotlem na hnědé uhlí jako referenční investicí

Referenční investice – kotel na hnědé uhlí	Jednotky	Zemní plyn	Elektrokotel	TČ	TČ s dotací	Uhlí	Dřevo
Investiční náklady	[Kč]	168 294	142 665	426 240	366 240	74 950	98 301
Provozní náklady celkem	[Kč]	35 554	65 626	23 531	23 531	42 203	35 300
Roční Cash-Flow	[Kč]	6649	-23 423	18 672	18 672	0	6903
Prostá doba návratnosti investice (DN)	[let]	14	není hodnoceno	18,8	15,6	1	3,4
Diskontní doba návratnosti investice (DN _D)	[let]	21,1		28,3	23,4	Referenční investice	5,1
Čistá současná hodnota (NVP)	[Kč]	-12 524		-124 300	-64 300		60 567

6.2.6 Hodnocení investičních a provozních nákladů

Pro srovnání investičních a provozních nákladů na vytápění a ohřev TUV tepelným čerpadlem s ostatními druhy zásobování teplem bylo výše uvedeno a spočteno množství ekonomických kritérií včetně grafické rozvahy. Na jejich základě bylo dále tepelné čerpadlo postupně srovnáno s každým z nich a zhodnocena výhodnost jeho instalace.

Nejprve porovnání s elektrokotlem jako zdrojem tepla. Tato varianta je z posuzovaných možností nejdražší možný způsob zásobování teplem i přes malé investiční náklady. Roční náklady u tohoto způsobu vytápění jsou téměř trojnásobné oproti tepelnému čerpadlu. Prostá a diskontovaná doba návratnosti vycházejí i u tepelného čerpadla bez dotace velice příznivě, což potvrzuje i čistá současná hodnota, která vychází více než 220 000 Kč. Stejně závěry plynou i z grafického srovnání, ze kterého lze odečíst rozdíl v zaplacených částkách po 15 letech cca 670 000 Kč, což je obrovská suma téměř dosahující celkových nákladů za danou dobu u vytápění tepelným čerpadlem. Z toho plyne jasná vhodnost instalace tepelného čerpadla všude tam, kde je instalován elektrokotel nebo kde byla jeho instalace zamýšlena.

Při porovnání s vytápěním zemním plynem situace není již tak jednoduchá. Ani po 15 letech nedochází k vyrovnání nákladů a to ani při udělení státní dotace v plné výši. To potvrzují i všechna ekonomická kritéria včetně čisté současné hodnoty, která vychází jako záporné číslo. Je to způsobeno nízkými pořizovacími náklady a nízkou cenou plynu. Navíc se růst cen této komodity nepředpokládá, naopak je očekáván jejich drobný pokles. Pokud by přece jenom k růstu cen plynu došlo, a to v nezanedbatelné míře alespoň několika procent ročně, pak by se vytápění tepelným čerpadlem mohlo stát výhodnější než vytápění plynem. V současné době a za současných cen je ale vytápění plynem podstatně výhodnější, nemluvě o nízkých pořizovacích nákladech. Pokud se navíc jedná, jako v našem případě, o podlahové vytápění v kombinaci s kondenzačním kotlem, jsou úspory ještě maximalizovány i přes vyšší investiční náklady oproti standardním vysokoteplotním systémům. Toto srovnání jen potvrzuje odezvy trhu, protože tento druh vytápění je dnes velice rozšířený.

Dále bylo tepelné čerpadlo srovnáváno se systémy vytápění spalujícími tuhá paliva. Doby návratnosti vycházejí nepatrně delší než předpokládaná životnost těchto zařízení. Ani čistá současná hodnota nepotvrzuje rentabilitu tepelného čerpadla. Z grafického srovnání,

kteře bere v potaz růst cen komodit a energií do budoucna ale vyplývá, že mezi 13. a 14. rokem dochází k vyrovnání nákladů u tepelného čerpadla s dotací a vytápění hnědým uhlím. K tomu vůbec nedojde u vytápění dřevem. Celkově jsou tyto druhy získávání tepla velice levné, značné provozní náklady jim přibývají v důsledku drahé elektřiny na ohřev TUV a provoz ostatních spotřebičů. Jejich nesporná výhoda spočívá ve velice levné otopné soustavě. Navíc se do bilance nepočítají nemalé náklady na komín, místo na uskladnění paliv a jejich budování, a v neposlední řadě ani snížení komfortu kvůli nutné obsluze tohoto vytápění, popř. přípravě dřeva atd. Je jasné, že zcela objektivně nelze tyto systémy srovnat, protože pohodlí a bezobslužnost nelze vyjádřit penězi. Přesto je zajímavé a sympatické, že i přes nesrovnatelně vyšší investiční náklady by tepelné čerpadlo nakonec mohlo být výhodnější než vytápění uhlím, i když nikterak výrazně. To by nastalo při předpokládaném nebo vyšším růstu cen uhlí. Co se týče vytápění dřevem, vycházejí provozní náklady vůbec nejnižší ze všech uvažovaných tepelných zdrojů a vyplatí se zejména lidem s bezproblémovým přísunem dřeva bydlicím např. v blízkosti lesa.

Obecně lze říci, že tepelné čerpadlo s plošnými kolektory je výhodným zdrojem tepla pro vytápění. Je pravdou, že celkové náklady nevycházejí výhodněji než u plynu, ale pokud není v místě provedena plynofikace, jedná se o nejvýhodnější bezobslužný způsob vytápění.

7. EKOLOGICKÉ HODNOCENÍ

Pokud chceme posoudit provoz tepelného čerpadla s plošnými kolektory z ekologického hlediska, je třeba na celý problém nahlížet z více úhlů. V první řadě jde o energeticko-ekologické hodnocení, protože tepelné čerpadlo patří mezi tzv. alternativní zdroje energie. Toto zařízení spotřebovává elektrickou energii, která se v ČR produkuje převážně z primárních neobnovitelných zdrojů (uhlí, zemní plyn, jaderné palivo). Tak lze určit minimální topný faktor, při kterém tepelné čerpadlo hospodárné je a naopak. Elektrická energie se v elektrárnách, převážně uhelných a jaderných, vyrábí s účinností zhruba 35 % a účinnost přenosu elektrické energie vedením je někde okolo 85 %. To znamená, že celkové ztráty výrobou a přenosem činí okolo 70 %. Aby tepelné čerpadlo šetřilo primární zdroje elektrické energie, muselo by mít topný faktor přes 3,3. Toho je u dobře provedených instalací skutečně dosaženo, ale topný faktor není vyšší nikterak závažně a úspora výše zmiňovaných zdrojů je minimální. Je ovšem pravdou, že takto navržený systém kompenzuje ztráty vzniklé výrobou a přenosem elektrické energie. Navíc elektřina produkovaná elektrárnami sice z velké části vzniká spalováním fosilních paliv, ale tyto provozy jsou odsířeny a vypouštění škodlivých látek do ovzduší je zde minimalizováno. Při získávání tepla spalováním pevných paliv v domácnostech v obyčejných kotlích je sice dosaženo vyšší účinnosti, ale všechny zplodiny vznikající při tomto procesu unikají volně do ovzduší. Tím pádem instalace tepelného čerpadla místo kotle na pevná paliva pomáhá snižovat emise oxidu uhličitého.

Dalším ekologickým hlediskem je možný únik chladiva. Dnešní typy chladiv však již neobsahují tzv. tvrdé freony a jsou tedy méně nebezpečné. Je sice pravdou, že nejsou ještě plně ekologicky nezávadné, ale jsou vůdši ozonové vrstvě poměrně šetrné. Také technické provedení tepelných čerpadel se značně zlepšuje a tím je nebezpečí úniku minimalizováno.

V neposlední řadě je možné tepelná čerpadla hodnotit z hlediska energetické náročnosti výroby jednotlivých prvků a ekologické nezávadnosti těchto výrob. To je velice často opomíjeným faktem, ale je nezbytné vzít v úvahu také kolik energie je spotřebováno např. na výrobu PE potrubí nebo ostatních částí. Celé toto hledisko se značně problematicky hodnotí. Měli bychom ho mít ale na paměti a do budoucna se snažit o výrobu komponent tepelných čerpadel co nejméně energeticky náročnou a z ekologicky nezávadných materiálů.

8. ZÁVĚR

Tato práce si kladla za cíl porovnat tepelná čerpadla s plošnými kolektory s jinými zdroji tepla pro tepelná čerpadla a ostatními způsoby vytápění. Výsledkem srovnání je zjištění investiční a provozní nákladnosti těchto zařízení a možnosti jejich využití.

Pro potenciální uživatele znamená pořízení si tohoto systému vytápění značnou počáteční investici, která však není mezi tepelnými čerpadly nejvyšší, při zajištění stálého topného faktoru. Následně má však tento systém velice nízké provozní náklady, ještě umocněné zajištěním levné elektřiny pro ostatní spotřebiče v sazbě D56d. Z porovnávaných způsobů vytápění sice tepelná čerpadla nevyšla jako nejekonomičtější bezobslužný způsob zásobování teplem, pokud by však v budoucnu došlo k zvyšování cen plynu, pak by se jim mohla skutečně stát.

Je třeba vzít v úvahu také životnost těchto zařízení. Výrobce udává životnost kompresoru cca 20 let, ostatní části zařízení ji mají ovšem nesrovnatelně vyšší, např. půdní kolektor. Pokud po této době dojde k výměně kompresoru, jedná se v současné době o investici okolo 20 000 Kč a celý systém může znovu spolehlivě pracovat. To samé nelze říct o ostatních způsobech vytápění, kde se většinou jedná o výměnu celého zařízení.

Vhodnost a možnosti využití tohoto systému vytápění jsou jednoznačné. Je ideálním řešením pro novostavby při požadavku bezobslužného způsobu vytápění, pokud chce uživatel dosáhnout dlouhodobých nízkých provozních nákladů při vysoké životnosti zařízení. Rozhodně jej lze doporučit jako nejekonomičtější způsob vytápění všude tam, kde není provedena plynofikace.

Lze také očekávat rostoucí význam tepelných čerpadel s plošnými kolektory do budoucna. Při dnešní orientaci na nízkoenergetické a pasivní domy je pravděpodobné, že se vývoj tepelných čerpadel bude ubírat směrem k zařízením s menším výkonem, která bude možno kombinovat s rekuperačními jednotkami nebo solárním systémem. K tepelným čerpadlům o malém výkonu je zapotřebí menší plocha kolektoru a menší objem výkopových prací, což je zmírnění asi největší nevýhody plošných kolektorů.

9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DVOŘÁK, Z., KLAZAR, L. PETRÁK, J.: *Tepelná čerpadla*. Praha: SNTL 1987, 340 s.
- [2] PETRÁK, J., DVOŘÁK, Z.: *Tepelná čerpadla*. Praha: Ediční středisko ČVUT 1991, 141 s.
- [3] SRDEČNÝ, K., TRUXA, J.: *Tepelná čerpadla*. Brno: ERA Group, 2007, 68 s.
- [4] MASTNÝ, P.: *Tepelná čerpadla v kombinovaných tepelných systémech*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2005, 27 s.
- [5] PAVELEK, M. a kolektiv: *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 284 s.

Internetové zdroje:

- [6] ŠUSTOVÁ, P. Optimální volby zdroje - porovnání nákladů na vytápění - II. díl. TZB info [online]. 2007 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4469&h=10&pl=39>>. ISSN 1801-4399
- [7] KLAZAR, L. Jak je to vlastně s topným faktorem (I) - (III) . TZB info [online]. 2005 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2432&h=10&pl=39>>. ISSN 1801-4399.
- [8] Trs, M. FAST kolektor - úspora investic a jistota při realizaci plošného kolektoru pro tepelná čerpadla. TZB info [online]. 2007 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4156&h=10&pl=39>>. ISSN 1801-4399.
- [9] SÝKORA, Tepelné čerpadlo země voda přímé vypařování. Jak Bydlet [online]. 2006 [cit. 2008-03-06]. Dostupný z WWW: <http://www.jakbydlet.cz/clanek/541_tepelne-čerpadlo-zeme-voda-prime-vyparovani.aspx>.
- [10] HOLFTYCH, P. Jak doopravdy fungují tepelná čerpadla?. TZB info [online]. 2007 [cit. 2008-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4526&h=5&pl=39>>. ISSN 1801-4399.
- [11] RYŠKA, J. Vrty do horninového masivu - zdroj energie pro tepelná čerpadla (I) - (IX). TZB info [online]. 2006 [cit. 2008-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3735&h=10&pl=39>>. ISSN 1801-4399.
- [12] Primární zdroj tepla pro TČ WPF země/voda - zemní kolektory. Stiebel Eltron [online]. 2008 [cit. 2008-05-10]. Dostupný z WWW: <http://www.stiebel-eltron.sk/?page=se_wpf_zdroj2>.
- [13] Tepelná čerpadla [online]. 2006-2008 , 2008? [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.tepelna-čerpadla.cz/cz/princip-funkce-tepelneho-čerpadla>>.

- [14] IVT Tepelná čerpadla [online]. 2003-2008 , 2008? [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <http://www.cerpadla-ivt.cz/?pn=ivt-greenline-c-plus-zeme-voda&page=ivt_greenline_c>.
- [15] Hennlich [online]. [1996] [cit. 2008-01-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.hennlich.cz/obrazky.php?id=6661>>.
- [16] Envi, s.r.o. [online]. 2008 [cit. 2008-04-10]. Dostupný z WWW: <http://www.envi.cz/show.php?id=17&ids=22&par=tepelna_cerpadla>.
- [17] GEROTop [online]. c2006 [cit. 2008-03-20]. Dostupný z WWW: <<http://gerotop.cz/cz/produkty/komponenty-pro-tepelna-cerpadla/pe-potrubi/>>.
- [18] TZB info : Výpočet denostupňů [online]. c2001-2008 [cit. 2008-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=103&h=5&pl=39>>. ISSN 1801-4399.
- [19] TZB info : Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody [online]. c2001-2008 [cit. 2008-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=47&h=5&pl=39>>. ISSN 1801-4399.
- [20] TZB info : Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva [online]. c2001-2008 [cit. 2008-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=269&h=5&pl=39>>. ISSN 1801-4399.
- [21] TZB info : Ceny paliv a energií [online]. c2001-2008 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=1&i=3>>. ISSN 1801-4399.
- [22] EuroAnalysis [online]. c2007 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.euroanalysis.cz/media.asp>>.
- [23] ČNB [online]. c2003-2008 [cit. 2008-05-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.cnb.cz/cs/index.html>>.
- [24] Stiebel Eltron [online]. c2001-2008 [cit. 2008-01-25]. Dostupný z WWW: <http://www.stiebel-eltron.sk/?page=se_ceniky>.
- [25] Korado [online]. c2006 [cit. 2008-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.korado.cz/cs/obchod/ceniky.shtml>>.
- [26] Dakon [online]. [2007] [cit. 2008-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.dakon.cz/cs/Ceniky.html>>.
- [27] Protherm [online]. c2003 [cit. 2008-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.protherm.cz/category.php?icid=1&type=electrical>>.
- [28] Prodej kotlů a příslušenství [online]. c2008 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.prodej-kotlu.cz/atmos-d15-d20-d25-114/detail/>>.
- [29] Státní fond životního prostředí ČR [online]. c2007 [cit. 2008-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.sfzp.cz/>>.

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A JEDNOTEK

Značka	Význam	Jednotka
A_{TUV}	Elektřina potřebná k ohřevu TUV na rok u tepelného čerpadla	[Kč/rok]
$A_{vytTČ}$	Elektřina potřebná k vytápění na rok u tepelného čerpadla	[Kč/rok]
c	Měrná tepelná kapacita vody	[J/kgK]
$cena_D$	Cena dřeva	[Kč/kg]
$cena_{DB}$	Cena dřevěných briket	[Kč/kg]
$cena_P$	Cena zemního plynu	[Kč/m ³]
$cena_{PR}$	Cena propanu	[Kč/kg]
$cena_U$	Cena uhlí	[Kč/kg]
C_0	Počáteční investice	[Kč]
CF	Roční peněžní toky (Cash-Flow)	[Kč]
ČR	Česká Republika	[-]
d	Délka otopného období	[dny]
DN	Prostá doba návratnosti investic	[let]
D	Vytápěcí denostupně	[K.dny]
DCF	Diskontované roční peněžní toky	[Kč]
D25d	Sazba pro normální odběr elektřiny	[-]
D45d	Sazba pro elektrické vytápění	[-]
D56d	Sazba pro vytápění tepelným čerpadlem	[-]
DN_D	Diskontovaná doba návratnosti investic	[let]
DPH	Daň z přidané hodnoty	[%]
E	Energie pro pohon kompresoru	[kWh]
FAST	Tvrzený polyethylen	[-]
H	Hloubka vrtů	[m]
IN	Investice	[Kč]
J_E	Měsíční poplatek za jistič 3x25 A do 3x30A včetně u D45d	[Kč/měsíc]
J_N	Měsíční poplatek za jistič 3x25 A do 3x32A včetně u D25d	[Kč/měsíc]
J_P	Měsíční poplatek za plynovou přípojku	[Kč/měsíc]
$J_{TČ}$	Měsíční poplatek za jistič 3x16A do 3x20A včetně u D56	[Kč/měsíc]
k	Korelační koeficient zohledňující skutečný oběh	[-]
N	Počet pracovních dnů soustavy v roce	[dny]
N_{ostE}	Roční náklady na ostatní spotřebiče při vytápění elektrokotlem	[Kč/rok]
N_{ostN}	Roční náklady na ostatní spotřebiče při neelektrickém vytápění	[Kč/rok]
N_{ostP}	Roční náklady na ostatní spotřebiče při vytápění plynem	[Kč/rok]
$N_{ostTČ}$	Roční náklady na ostatní spotřebiče při vytápění TČ	[Kč/rok]
NT_E	Cena za elektřinu v nízkém tarifu v sazbě D45d	[Kč/MWh]
NT_N	Cena za elektřinu v nízkém tarifu v sazbě D25d	[Kč/MWh]

$N_{T_{T\check{C}}}$	Cena za elektřinu v nízkém tarifu v sazbě D56	[Kč/MWh]
$N_{T_{UVE}}$	Roční náklady na ohřev TUV elektrokotlem	[Kč/rok]
$N_{T_{UVN}}$	Roční náklady na ohřev TUV při neelektrickém vytápění	[Kč/rok]
$N_{T_{UVP}}$	Roční náklady na ohřev TUV plynem	[Kč/rok]
$N_{T_{UVT\check{C}}}$	Roční náklady na ohřev TUV TČ	[Kč/rok]
N_{VP}	Čistá současná hodnota	[Kč]
$N_{VVI\check{D}}$	Roční náklady na vytápění dřevem	[Kč/rok]
$N_{VVI\check{D}B}$	Roční náklady na vytápění dřevěnými briketami	[Kč/rok]
$N_{VVI\check{D}B}$	Roční náklady na vytápění dřevěnými briketami	[Kč/rok]
$N_{VVI\check{E}}$	Roční náklady na vytápění elektrokotlem	[Kč/rok]
$N_{VVI\check{P}}$	Roční náklady na vytápění plynem	[Kč/rok]
$N_{VVI\check{P}R}$	Roční náklady na vytápění propanem	[Kč/rok]
$N_{VVI\check{T}\check{C}}$	Roční náklady na vytápění TČ	[Kč/rok]
$P_{\check{C}}$	Roční náklady za čištění komínu	[Kč/rok]
PE	Polyethylen	[-]
p_K	Kondenzační tlak	[Pa]
P_P	Roční poplatek za vyvážení popela	[Kč/rok]
P_T	Příkon	[kW]
p_V	Výparný tlak	[Pa]
Q	Teplo dodané do systému	[kWh]
Q	Tepelná ztráta objektu	[kW]
Q_C	Chladicí výkon	[kW]
$Q_{C,r}$	Celková potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV za 1 rok	[MWh/rok]
Q_D	Výhřevnost dřeva	[MJ/kg]
Q_{DB}	Výhřevnost dřevěných briket	[MJ/kg]
Q_H	Topný výkon	[kW]
Q_P	Výhřevnost zemního plynu	[MJ/m ³]
Q_{PR}	Výhřevnost propanu	[MJ/kg]
$Q_{TUV,d}$	Potřeba tepla na ohřev TUV za 1 den	[kWh/den]
$Q_{TUV,r}$	Potřeba tepla na ohřev TUV za 1rok	[MWh/rok]
Q_U	Výhřevnost uhlí	[MJ/kg]
$Q_{V,r}$	Potřeba tepla na vytápění za 1 rok	[MWh/rok]
q_{zh}	Měrný výkon jímání tepla u vrtů	[W/m]
q_{zp}	Měrný výkon jímání tepla u plošných kolektorů	[W/m ²]
r	Diskontní míra	[%]
S	Plocha kolektorů	[m ²]
$SF\check{Z}P$	Státní fond životního prostředí	[-]

t_1	Teplota studené vody	[°C]
t_2	Teplota teplé vody	[°C]
T	Rok k němuž je počítána diskontní míra	[let]
$T\check{C}$	Tepelné čerpadlo	[-]
t_e	Venkovní výpočtová teplota	[°C]
t_{em}	Střední venkovní teplota pro začátek a konec otopného období	[°C]
t_{es}	Střední venkovní teplota za otopné období	[°C]
t_{is}	Průměrná vnitřní výpočtová teplota	[°C]
T_K	Kondenzační teplota	[K]
t_{sv1}	Teplota studené vody v létě	[°C]
t_{sv2}	Teplota studené vody v zimě	[°C]
TUV	Teplá užitková voda	[-]
T_V	Výparná teplota	[K]
V_{2P}	Celková potřeba teplé vody za 1 den	[m ³ /den]
VT_E	Cena za elektřinu ve vysokém tarifu v sazbě D45d	[Kč/MWh]
VT_N	Cena za elektřinu ve vysokém tarifu v sazbě D25d	[Kč/MWh]
$VT_{T\check{C}}$	Cena za elektřinu ve vysokém tarifu v sazbě D56	[Kč/MWh]
x_{VT}	Spotřeba energie ve vysokém tarifu	[-]
y_{NT}	Spotřeba energie v nízkém tarifu	[-]
z	Koeficient energetických ztrát systému	[-]
ε	Opravný součinitel	[-]
ε_{TOP}	Topný faktor	[-]
η_D	Účinnost kotle na zplynování dřeva	[-]
η_{DB}	Účinnost kotle na dřevěné brikety	[-]
η_0	Účinnost obsluhy vytápění	[-]
η_P	Účinnost kondenzačního kotle na zemní plyn	[-]
η_{PR}	Účinnost kotle na propan	[-]
η_r	Účinnost rozvodu vytápění	[-]
η_U	Účinnost kotle na uhlí	[-]
ρ	Hustota vody	[kg/m ³]

11. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

OBRÁZKY:

- Obr.1 Princip funkce tepelného čerpadla
- Obr.2 Tepelné čerpadlo voda–voda
- Obr.3 Tepelné čerpadlo s vrty
- Obr.4 Tepelné čerpadlo s plošným kolektorem
- Obr.5 Svinování PE hadice ve výkopu
- Obr.6 Schéma spirálového kolektoru
- Obr.7 Schéma tepelného čerpadla s kolektorem s přímým vypařováním
- Obr.8 Zasypání FAST kolektoru vytěženou zemínou bez pískového lože
- Obr.9 Celkové roční náklady na energie při různých druzích paliv
- Obr.10 Celkové roční náklady na energie při různých druzích paliv s rozlišením jednotlivých položek
- Obr.11 Porovnání investičních a provozních nákladů u vytápění elektrinou, zemním plynem a TČ na 15 let
- Obr.12 Porovnání investičních a provozních nákladů na vytápění hnědým uhlím, TČ a dřevem na 15 let

TABULKY:

- Tab.1 Vliv provozních teplot na topný faktor u tepelného čerpadla IVT Greenline
- Tab.2 Energetická vydatnost různých druhů půd
- Tab.3 Tabulka cen TČ a příslušenství u prvního modelového domu s plošným kolektorem
- Tab.4 Tabulka cen TČ a příslušenství u prvního modelového domu s vrtem
- Tab.5 Tabulka cen TČ vzduch–voda a příslušenství u prvního modelového domu
- Tab.6 Tabulka cen TČ a příslušenství u druhého modelového domu s plošným kolektorem
- Tab.7 Tabulka cen TČ a příslušenství u druhého modelového domu s vrtem
- Tab.8 Tabulka cen TČ vzduch–voda a příslušenství u druhého modelového domu
- Tab.9 Parametry pro výpočet potřeby tepla k vytápění a ohřevu TUV
- Tab.10 Veličiny nutné k výpočtu potřeby tepla na vytápění a ohřev TUV
- Tab.11 Vypočtené hodnoty tepla k vytápění a ohřevu TUV za rok
- Tab.12 Ceny za MWh a měsíční poplatky za jističe v různých sazbách
- Tab.13 Výhřevnosti, ceny paliv a účinnosti kotlů
- Tab.14 Výhřevnosti, účinnosti kotlů a ceny propanu a zemního plynu
- Tab.15 Shrnutí ročních nákladů u různých způsobů vytápění
- Tab.16 Investiční náklady plynového kondenzačního kotle
- Tab.17 Investiční náklady elektrického vytápění a ohřevu TUV
- Tab.18 Investiční náklady na vytápění hnědým uhlím
- Tab.19 Investiční náklady na vytápění dřevem (kotel na zplynování dřeva)
- Tab.20 Vypočtená kritéria s kotlem na zemní plyn jako referenční investicí
- Tab.21 Vypočtená kritéria s elektrokotlem jako referenční investicí
- Tab.22 Vypočtená kritéria s kotlem na hnědé uhlí jako referenční investicí