

Obor: 12 Tvorba učebních pomůcek, didaktická technologie

**Model tepelného čerpadla
VZDUCH/VODA
práce SOČ**

Autor: Moňski Jakub
Ročník studia: druhý
Název, adresa školy: SPŠ, Karviná, Žižkova 1818, Karviná – Hranice
733 01
Kraj: Moravskoslezský
Konzultant: Bronislav Kosiec, Antonín Köllner

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že jsem práci pro soutěž SOČ dělal sám a nikdo kromě mnou zvolených konzultantů mi nepomáhal.

V Karviné dne 17. 3. 2006

Podpis:

Moňski Jakub

Model tepelného čerpadla VZDUCH / VODA

Posudek

Jedná se o zdařilou konstrukci modelu tepelného čerpadla sestaveného z komponentů běžné mrazničky. Ač čerpadlo nedosahuje výkonu potřebného pro vytápění objektů, je plně funkční a navíc doplněno teplotními čidly, které umožňují monitorování teploty v důležitých místech zařízení. Z těchto naměřených hodnot jsou dále stanoveny parametry čerpadla za různých pracovních podmínek. Model slouží pro ukázkou činnosti tepelného čerpadla, případně pro základní měření na tepelném čerpadle, která student přikládá. Celá konstrukce je provedena na dobré technické úrovni.

V Karviné 22.3.2005

Zpracoval Ing. A.Köllner

Obsah

1. Úvod
2. Současný stav
3. Metodika
4. Princip a funkce tepelného čerpadla, historie
5. Vlastní práce
6. Vyhodnocení a závěr
7. Přílohy

Anotace

Práce se zabývá zhotovením funkčního modelu tepelného čerpadla vzduch/voda. Jeho topný faktor se pohybuje v rozmezí 3 až 4,2. Model je vybaven šesti teplotními čidly, tepelným výměníkem, oběhovým čerpadlem a radiátorem. V modelu je použit kompresor značky Danfoss s příkonem 250 W. Tepelný výkon čerpadla je až 1300 W. Další součástí tepelného čerpadla je výparník (ze starší ledničky z větším výkonem). Jako médium je použito ekologické chladivo R134a. Tento model bude využíván v předmětu „Stavba a provoz strojů“ nebo na prezentacích ekologické tepelné techniky.

1. Úvod

Jsem studentem druhého ročníku Střední průmyslové školy v Karviné, obor elektrotechnika. Mám zájem o vědu a techniku. V souvislosti se vzrůstající cenou energií mě zaujala možnost využití alternativních tepelných zdrojů. Začal jsem shromažďovat informace o tepelných čerpadlech. Zprvu mě odradila cena za kterou se dá tepelné čerpadlo pořídit. Pohybovala se od 250 000 Kč nahoru. Tento fakt mě přivedl na myšlenku, jak si tepelné čerpadlo pořídit co nejlevněji. Zvítězil nápad sestavit ho doma „na koleně“. Dokázal jsem, že lze vyrobit tepelné čerpadlo v domácích podmínkách a zároveň jsem měl i vhodné téma pro práci SOČ. Toto tepelné čerpadlo je pouze zmenšená podoba výkonných tepelných čerpadel, které se používají k vytápění domů, na ohřev teplé užitkové vody, vody v bazénech, apod.

2. Současný stav

V současné době je tepelné čerpadlo výhodným zdrojem tepelné energie, avšak pořizovací náklady tohoto tak jednoduchého stroje, který ušetří až čtyři pětiny elektrické energie jsou stále vysoké. Stále probíhají úpravy a vylepšení za účelem získání co největšího topného faktoru. Stávající konstrukce tepelných čerpadel nepřesahují topný faktor 5,5. Místa, odkud lze čerpat tepelnou energii, se stále hledají, neboť ne všechna jsou pro tyto účely vhodná.

3. Metodika

Informace o problematice tepelných čerpadel jsem vyhledával zejména na internetu, ale nikde jsem přesně a do detailu nezjistil, jak vlastně tepelné čerpadlo funguje. Trvalo delší časové období, během kterého jsem pochopil, jak takové zařízení prakticky funguje. Toto studium mi hodně pomohlo a vysvětlilo spoustu dějů, jež jsem nechápal a ani neznal.

4. Princip funkce tepelného čerpadla, historie

Princip tepelného čerpadla byl popsán již v 19. století anglickým fyzikem - lordem Kelvinem. Přestože se ve své podstatě jedná o chladicí zařízení (stejně jako lednička), využíváme jej jako zdroj tepla. V zemi, ve vodě i ve vzduchu je obsaženo nesmírné množství tepla, avšak jeho nízká teplotní hladina neumožňuje přímé využití pro vytápění nebo ohřev vody. Pokud chceme využít teplo látek o nízké teplotě (nízkopotenciální teplo), musíme je převést na teplotu vyšší. Název tepelného čerpadla je odvozen z toho, že „tepelné čerpadlo přečerpává teplo z nižší hladiny na vyšší“.

Prakticky dochází k tomu, že látku (zemi, vodu nebo vzduch) ochladíme o několik málo stupňů, čímž odebereme teplo, a tuto energii využijeme při ohřevu jiné látky jako je voda v bazénu, teplá užitková voda, či voda v topné soustavě, kterou ohřejeme také o několik málo °C, ale na úrovni pro nás přijatelné. Ochladíme tedy např. půdu na naší zahradě z 10°C na 5°C a tepelné čerpadlo zajistí ohřátí topné vody z 40°C na 45°C. Slunce společně s energií akumulovanou v okolní půdě potom zajistí dohřátí půdy na naší zahradě zpět na 10°C.

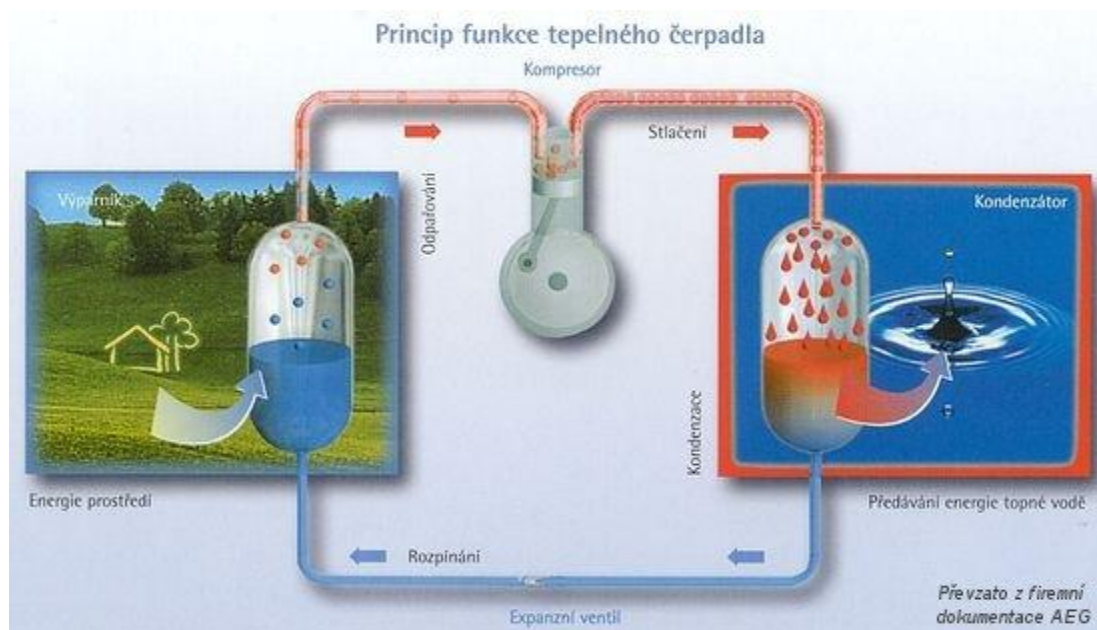
Tepelné čerpadlo pracuje na principu uzavřeného chladicího okruhu obdobně jako chladnička. Teplo se na jedné straně odebírá a na druhé předává. Chladnička odebírá teplo z vnitřního prostoru potravinám a předává je kondenzátorem do místnosti. Požadovaným efektem je snížení teploty ve vnitřním prostoru chladničky a ohřívání vzduchu v místnosti je nezbytným důsledkem. Tepelné čerpadlo místo potravin ochlazuje například venkovní vzduch, zemskou kůru nebo podzemní vodu. Teplo odebrané těmito zdroji předává do topných systémů. Požadovaným efektem je právě zvýšení teploty.

Pro přečerpání tepla na vyšší teplotní hladinu, tedy i pro provoz tepelného čerpadla, je třeba dodat určité množství energie. Prakticky to znamená, že tepelné čerpadlo spotřebovává pro pohon kompresoru elektrickou energii. Protože její množství není zanedbatelné, lze tepelné čerpadlo považovat za alternativní zdroj tepla pouze částečně. Samozřejmě záleží na tom, z čeho je elektrická energie vyráběna, ale v našich podmínkách se jedná většinou o spalování uhlí nebo energii z jaderných elektráren.

Zjednodušeně lze říci, že tepelné čerpadlo spotřebovává přibližně jednu třetinu svého výkonu ve formě elektrické energie (záleží na topném faktoru). Zbývající dvě třetiny tvoří teplo, které je odnímáno z ochlazované látky (vzduchu, země, vody).

Technický princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo obsahuje čtyři základní části chladicího okruhu: výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Teplo odebrané venkovnímu prostředí se ve výparníku předává pracovní látce (kapalnému chladivu) při relativně nízké teplotě. Zahřátím chladiva dojde k jeho odpaření a páry jsou následně stlačeny v kompresoru na vysoký tlak. Stlačené chladivo je přiváděno do kondenzátoru, kde při kondenzaci předává teplo topné vodě, tím pádem jsem dokázal převést nízkopotenciální teplo na teplo použitelné k vytápění a ohřev TUV. Z kondenzátoru se chladivo dopravuje do expanzního ventilu jako kapalina o velkém tlaku. V expanzním ventilu se cyklus uzavírá a dochází ke snížení tlaku chladiva na původní hodnotu ve výparníku, tím se opět teploty kapalnění a vypařování vrací na svou původní hodnotu a proces se opakuje.



Topný faktor

Pro porovnání efektivity provozu jednotlivých tepelných čerpadel slouží tzv. **topný faktor**. Topný faktor je bezrozměrné číslo, které lze přirovnat k **účinnosti** udávané běžně u ostatních zdrojů tepla. Většinou se hodnota topného faktoru pohybuje v rozsahu 2,5 - 4 a čím je toto číslo větší, tím je provoz tepelného čerpadla efektivnější. Matematicky topný faktor udává poměr získané tepelné energie a spotřebované elektrické energie. Hodnota 3 tedy znamená, že dodáním 1 kWh elektrické energie, získáme 3 kWh tepelné energie pro vytápění. Okamžitá hodnota topného faktoru se neustále mění podle provozních podmínek a proto se pro celkové hodnocení používá tzv. provozní (nebo také průměrný) topný faktor za celou topnou sezónu.

Topný faktor příznivě ovlivňují následující skutečnosti:

- Co **nejvyšší teplota nízkoteplotního zdroje**, ze kterého je teplo odebíráno. Z tohoto hlediska je nejvýhodnějším primárním zdrojem podzemní voda (příp. geotermální prameny).
- Co **nejnižší teplota teplotnosné látky** (topné vody nebo vzduchu) v topné soustavě. Vhodné je tedy podlahové vytápění nebo nízkoteplotní velkoplošná tělesa.
- Vhodné fyzikální a chemické vlastnosti chladiva, které však prakticky nemůžeme nijak ovlivnit, ale jsou dány použitým chladivem od výrobce.
- Dobré konstrukční provedení tepelného čerpadla, které rovněž závisí pouze na výrobcu. Dnes běžně dosahovaná hodnota topného faktoru je minimálně 3.

Co je to tepelné čerpadlo

Tepelná čerpadla se řadí mezi **alternativní zdroje energie**. Odnímají teplo z okolního prostředí (vody, vzduchu nebo země), zvyšují teplotu, kterou následně umožňují využít pro

vytápění objektů nebo ohřev teplé vody. Tepelné čerpadla se dělí podle zdroje nízkopotenciálního tepla na typy vzduch, voda, země / voda. Tepelné čerpadlo se většinou skládá ze dvou částí - **venkovní a vnitřní**. Vnitřní jednotku na první pohled nerozeznáte od běžného plynového kotle nebo ohřívače vody. Nemá žádné zvláštní nároky na umístění ani velikost prostoru a zajišťuje předávání tepla do topného systému. Venkovní část zajišťuje odebrání tepla ze zvoleného "zdroje" (země, vzduchu, vody). Velikost a podoba venkovní části závisí na tom z jakého zdroje se teplo získává. U tepelných čerpadel využívajících teplo ze země nebo z vody není venkovní část součástí dodávky od výrobce (plošný kolektor nebo hlubinný vrt). U čerpadel, která využívají venkovního vzduchu, je venkovní jednotka a propojovací potrubí vždy součástí dodávky od výrobce. Někteří výrobci konstruují tepelná čerpadla využívající venkovního vzduchu v kompaktním provedení. V tomto případě má tepelné čerpadlo pouze jednu část, která se dodává ve vnitřním nebo venkovním provedení.

Druhy tepelných čerpadel, jejich konstrukce, výhody a nevýhody:

a) Tepelné čerpadlo vzduch / voda:

Toto tepelné čerpadlo čerpá nízkopotenciální teplo z venkovního vzduchu a přeměňuje ho na energii, která ohřívá vodu v topném okruhu domu nebo teplou užitkovou vodu. Tepelná čerpadla, která využívají tepla obsaženého ve venkovním vzduchu, se vyrábějí ve třech odlišných variantách:

1. Samostatná venkovní a vnitřní jednotka

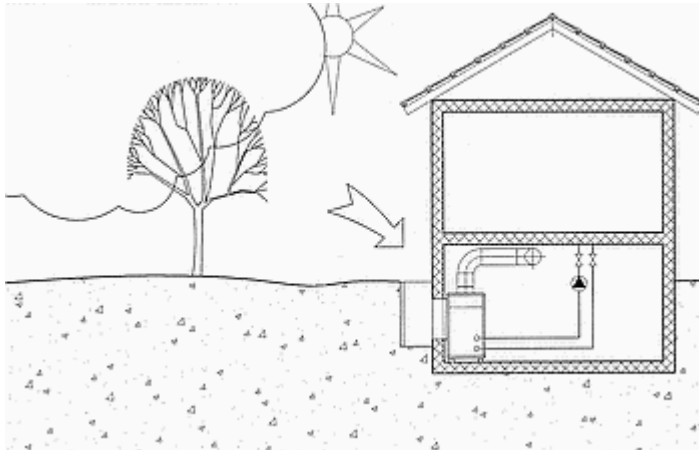
Venkovní jednotka s ventilátorem je propojena s vnitřní částí izolovaným potrubím, ve kterém proudí chladivo. Venkovní jednotka je relativně malá a lze ji postavit na zem nebo na střechu, případně umístit na venkovní stěnu (závisí na provedení a výrobci). Vzdálenost venkovní a vnitřní části je omezena většinou na přibližně 10 m. Vnitřní jednotka je připojena na topnou soustavu stejně jako kotel.

2. Kompaktní provedení venkovní

Celé tepelné čerpadlo je umístěno ve venkovním prostoru. Propojení s vnitřní topnou soustavou se provede izolovaným potrubím, ve kterém proudí topná voda. Výhodou je, že zařízení nezabírá žádný vnitřní prostor a nezatěžuje ho hlukem.

3. Kompaktní provedení vnitřní

Celé tepelné čerpadlo je umístěno ve vnitřním prostoru. K čerpadlu musí být z venkovního prostoru přiveden vzduch a ochlazený vzduch zpět do venkovního prostoru odváděn (sací i výfukové potrubí má průměr cca 400 mm). Aby mezi nasávaným a vyfukovaným vzduchem nedocházelo k promíchání a tím snížení účinnosti, musí být sací a výfukový otvor v dostatečné vzdálenosti od sebe. Vnitřní provedení je levnější než venkovní, ale zabírá podstatně více vnitřního prostoru (zejména díky rozměrnému vzduchovému potrubí).



Celkově lze výhody a nevýhody tepelných čerpadel, která využívají venkovního vzduchu, shrnout následovně:

+ Tepelné čerpadlo lze použít prakticky ve všech případech bez omezení místními podmínkami (velikostí pozemku, nemožností zhotovení vrtů, atd.).

+ Instalace nevyžaduje žádné zásahy do okolního prostředí (vrty, výkopové práce, atd.).

+ / - Vyšší pořizovací cena samostatného tepelného čerpadla, ale nejsou vyžadovány žádné další náklady (výkopové práce, vrty, atd.). Podle místních podmínek tedy může být celková výše nákladů nižší než při budování vrtů.

- Hluk venkovní jednotky s ventilátorem může v některých případech způsobovat problémy.

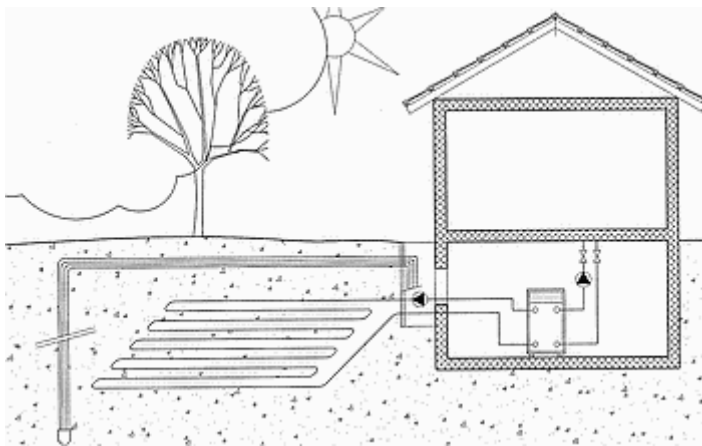
- Výkon tepelného čerpadla klesá s venkovní teplotou, a to mnohem výrazněji, než u ostatních provedení. Tím narůstá spotřeba elektrické energie a mírně se zvyšují náklady na provoz.

b) Tepelné čerpadlo země/voda:

Toto tepelné čerpadlo čerpá nízkopotenciální teplo ze země a předává jej jako u čerpadla vzduch / voda do topného okruhu nebo na ohřev TUV. Tepelná čerpadla čerpající teplo z půdy se vyrábějí ve dvou provedeních:

Zemní plošný kolektor

Tepelné čerpadlo využívá odběru tepla z půdy, např. ze zahrady. V hloubce přibližně 1 m a s roztečí také 1 m je položena plastová trubka (zemní kolektor), kterou proudí nemrznoucí kapalina. Instalace zemního kolektoru tedy vyžaduje plošnou skrývku poměrně velké plochy nebo bagrování dlouhých výkopů. Pro



tepelné čerpadlo o výkonu 10 kW je třeba přibližně 250 - 350 m² plochy pozemku. Výhodnější jsou půdy obsahující větší množství vody.

+ Nižší pořizovací náklady ve srovnání s vrty.

- Potřeba dostatečně velkého pozemku.

- Na ploše kde je uložen zemní kolektor nelze stavět.

- Neustálým ochlazováním zemního kolektoru dochází v zimních měsících k jeho promrzání a tím ke snižování výkonu.

Hlubkové vrty

Tepelné čerpadlo využívá odběru tepla z hloubkových vrtů. Do vrtů se uloží plastová trubka, ve které proudí nemrznoucí kapalina. Pro tepelné čerpadlo o výkonu 10 kW je třeba přibližně 120 – 180 m vrtů. Jednotlivé vrty mohou být hluboké až 150 m. Vrty musí být umístěny nejméně 10 m od sebe.

+ Stabilní teplota zdroje tepla z vrtu (ve vrtu se teplota po celý rok prakticky nemění) a tím provoz s nízkými náklady. Spotřeba elektrické energie není téměř vůbec ovlivněna venkovní teplotou.

- Poměrně vysoké pořizovací náklady na zhotovení vrtů.

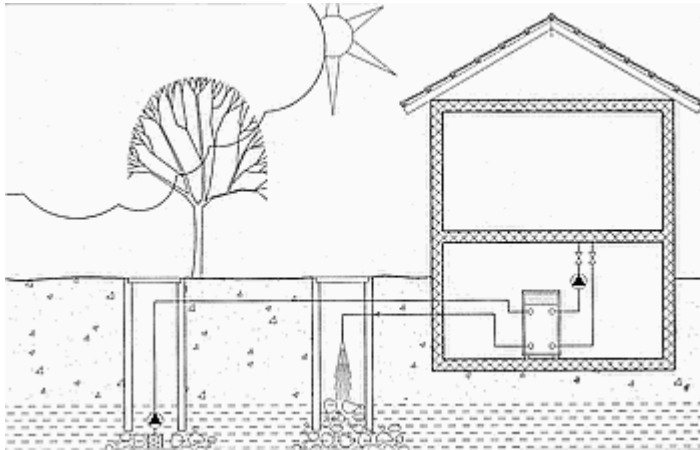
- Neustálým ochlazováním vrtu dochází k jeho postupnému promrzání a tím se dlouhodobě snižuje výkon tepelného čerpadla.

c) Tepelné čerpadlo voda / voda:

Toto tepelné čerpadlo čerpá nízkopotenciální teplo vody a předává jej do topného okruhu nebo na ohřev TUV. Tepelná čerpadla čerpající teplo z vody se vyrábí ve více provedeních.

Voda ze studny

Využití studniční vody vyžaduje zejména celoročně dostatečně vydatný zdroj, který je nutno ověřit dlouhodobou čerpací zkouškou. Dále je důležité vhodné složení vody, které nebude způsobovat zanášení výměníku. Voda se čerpá ze studny většinou klasickým ponorným čerpadlem, v tepelném čerpadle je ochlazená a vrací se zpět do vsakovací studny. Kromě čerpací studny je tedy třeba zhotovit v dostatečné vzdálenosti ještě vsakovací studnu, ze které ochlazená voda nesmí prosakovat zpět do sací studny. Teplota vody ve studni musí být dostatečně vysoká, aby ji bylo možno ochlazovat bez nebezpečí zamrznutí (cca 6-7°C).



+ Nižší pořizovací náklady ve srovnání s vrty.

- Požadavky na kvalitu, dostatečné množství vody a teplotu vody.

- Venkovní část dále vyžaduje pravidelnou údržbu (čištění filtrů) a je náchylnější na poruchy např. sacího čerpadla).

Povrchová voda (rybník, řeka)

Při využití vody z rybníka nebo řeky se většinou na dno pokládá kolektor vytvořený z plastových trubek, kterým proudí nemrznoucí teplotně stálá látka. V některých případech lze vodu přivádět přímo k tepelnému čerpadlu a ochlazenou ji vypouštět zpět do řeky (obdobně jako při využití studniční vody). Problémem je ale znečištění vody a nutnost platit za odběr vody.

5. Vlastní práce

Jedná se o model tepelného čerpadla o tepelném výkonu cca 1200 W.

Popis konstrukce mého tepelného čerpadla:

Základem tepelného čerpadla je **kompresor**, značky DANFOSS typ TLS6F. Jedná se o kompresor pro chladivo R134a, které vyhovuje ekologickým požadavkům dnešní doby.

Stlačené chladivo v plynné podobě putuje Cu trubkami do **výparníku**, který je vyroben vlastnoručně. Skládá se z jedné trubky o velkém průřezu, ve které jsou vsunuty dvě další trubky. Trubka, která tvoří chladicí okruh má průřez 6mm^2 . Druhá trubka, ve které se ohřívá voda využívaná k vytápění nebo jako TUV, má podstatně větší průřez 10mm^2 , kvůli lepšímu průtoku.

Zkapalněné chladivo prochází **filtrdehydrátorem**, ve kterém se zbaví nečistot a vlhkosti.

V **expanzním ventilu** se kapalně chladivo dosud stále pod velkým tlakem řízeně rozstříkne do výparníku. Výparník jsem použil z vyřazené ledničky a vybavil ventilátorem, kvůli lepším vlastnostem. Ve výparníku se výrazně zmenší tlak a teplota vypařování chladiva, chladivo se vypařuje a potřebnou energii přebírá z okolí.

Z výparníku jede chladivo opět v plynné podobě zpět do kompresoru a celý děj se opakuje.

Topný okruh:

Je tvořen oběhovým čerpadlem, radiátorem a expanzní nádrží.

Použití jako průtokový ohřivač:

Další možností je odpojení radiátoru a využití tepelného čerpadla jako průtokového ohřivače, což umožní provést přesné výpočty tepelného výkonu. Svá měření jsem prováděl tímto způsobem. Vstupní vodu o určité teplotě jsem dopravoval pomocí oběhového čerpadla do tepelného výměníku, ten ji ohřál a vytékala výrazně teplejší voda. Důležitý byl rozdíl teplot, se kterým jsem dále počítal. Další stálou veličinou je průtok, který je zajištěn oběhovým čerpadlem. Průtok oběhového čerpadla je $5,8\text{ ml / sekundu}$, tj. $20,88\text{ l / hodinu}$.

Postup výroby:

Prvním mým krokem bylo rozhodnout se, jaké tepelné čerpadlo zkonstruovat. Uvažoval jsem mezi tepelným čerpadlem VODA / VODA nebo VZDUCH / VODA. Rozhodl jsem se pro typ VZDUCH / VODA. Zbývalo jen si promyslet jak by mělo vše vypadat. Uvažoval jsem, zda použiji chladicí okruh z ledničky nebo vyrobím nový, podle mých představ. Sehnal jsem si starou ledničku a zkoušel, jak by tepelné čerpadlo fungovalo. Zkouška nedopadla dle očekávání, cca po třech hodinách došlo ke spálení motoru. To mě přimělo k vlastní konstrukci chladicího okruhu. Zajistil jsem si výparník, kompresor, expanzní ventil a zhotovil kondenzátor. Vše jsem umístil na pertinaxovou desku a řádně přišrouboval. Pak jen zbývalo naplnit chladicí okruh chladivem. V této fázi došlo opět k poruše kompresoru, který bylo nutno vyměnit. Po velkém úsilí jsem sehnal kompresor podle mých představ, na chladivo R134a. Po opětovném naplnění chladicího okruhu chladivem

(pracovníkem firmy FIRN) tepelné čerpadlo již pracovalo správně. Naměřil jsem překvapivé hodnoty. Pak jsem dokončil topný okruh. Teploměr a Wattmetr jsem umístil do řídicího rozváděče, teplotní čidla připevnil do příslušných míst. Vše funguje podle mých představ.

6. Vyhodnocení a závěr

V mém modelu se mi podařilo dosáhnout topného faktoru 4,61. Tento výsledek jsem konzultoval s odborníky a ti mi potvrdili, že takovýto výsledek je úžasný a tepelné čerpadla vzduch/voda takového výsledku dosahují jen zřídka. Dodal jsem do kompresoru 214 W činného příkonu a dostal jsem za kondenzátorem 989 W tepelného výkonu tj. ze vzduchu tepelné čerpadlo odebralo 775 W. Průměrná hodnota byla 3,28 při teplotním rozsahu 11,25°C až - 8,25°C. Z grafů v příloze je vidět závislosti měřených a vypočítaných veličin.

Tepelné čerpadlo je schopné ušetřit až čtyři pětiny energie pro vytápění domu. Ve spojení se sazbou D56d, která je velmi výhodná (pouze pro tepelné čerpadla) je možno ušetřit i spoustu nákladů na vytápění.

Tepelné čerpadlo je dobrá možnost, jak ekologicky a levně vytápět objekty. Je to budoucnost vytápění, i přes velké náklady na pořízení je stále ve více objektech používáné.

7. Přílohy

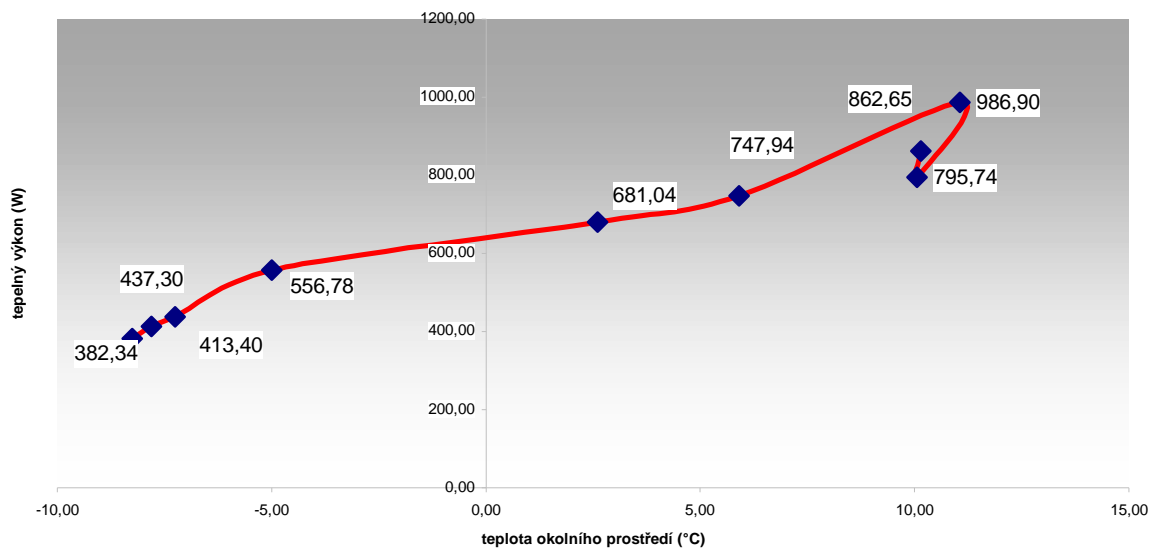
Tabulka naměřených hodnot

Výsledky měření na tepelném čerpadle

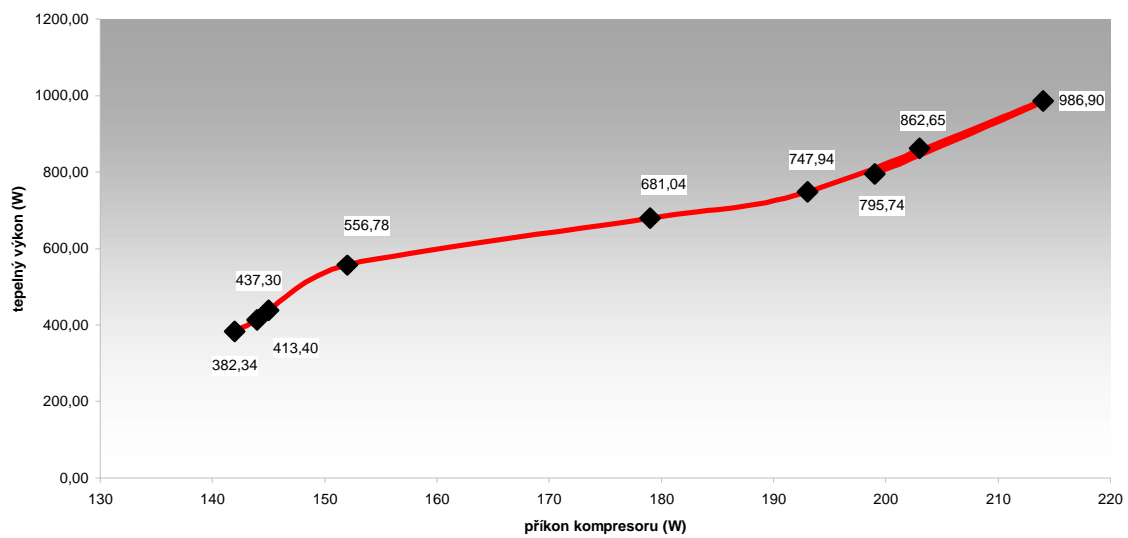
průtok topný okruh l/s	příkon kompresoru W	počáteční teplota °C	koncová teplota °C	teplota na vstupu do výparníku °C	teplota na výstupu z výparníku °C	teplota okolního prostředí-simulovaná °C	tepelný výkon	topný faktor
0,0058	203	4,70	40,80	4,50	15,80	10,15	862,65	4,25
0,0058	199	4,70	38,00	4,30	15,80	10,05	795,74	4,00
0,0058	214	4,70	46,00	5,10	17,00	11,05	986,90	4,61
0,0058	193	4,70	36,00	3,30	8,50	5,90	747,94	3,88
0,0058	179	4,70	33,20	1,50	3,70	2,60	681,04	3,80
0,0058	152	4,70	28,00	-6,00	-4,00	-5,00	556,78	3,66
0,0058	145	4,70	23,00	-8,50	-6,00	-7,25	437,30	3,02
0,0058	144	4,70	22,00	-9,00	-6,60	-7,80	413,40	2,87
0,0058	142	4,70	20,70	-9,50	-7,00	-8,25	382,34	2,69

Průměrný topný faktor 3,28

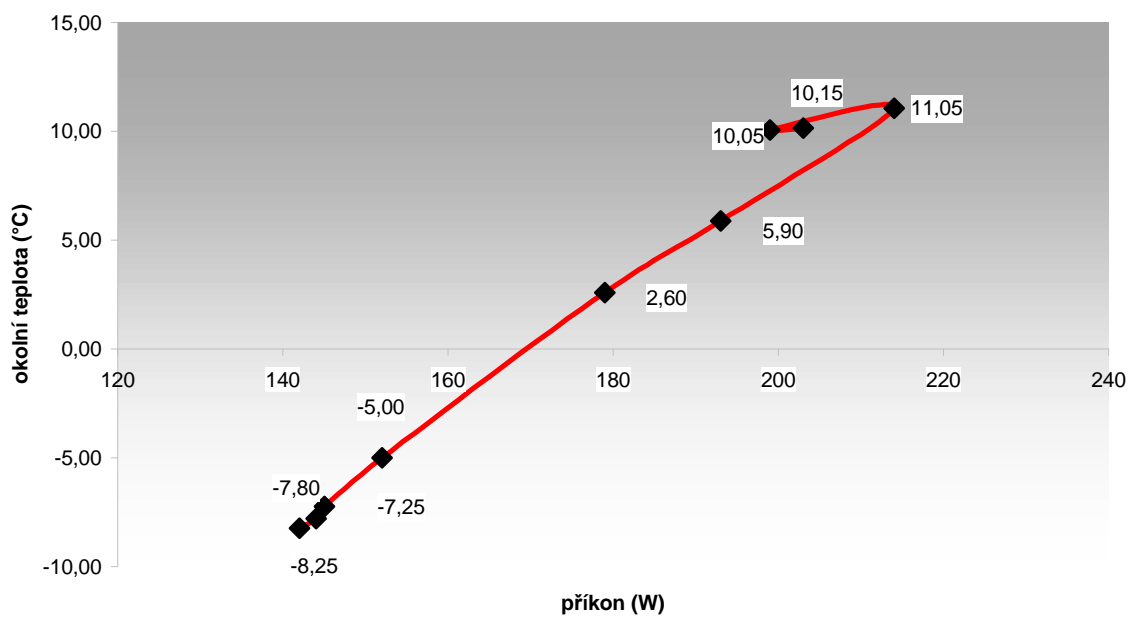
Závislost tepelného výkonu na teplotě okolního prostředí



Závislost tepelného výkonu na příkonu kompresoru



Závislost příkonu na okolní teplotě



Závislost topného faktoru na teplotě okolního prostředí

