

11.8 – STANOVENÍ TOPNÉHO FAKTORU TEPELNÉHO ČERPADLA



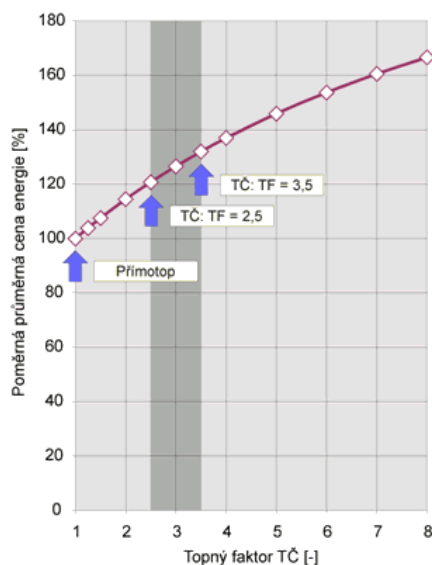
Obr. 1: Vyobrazení tepelného čerpadla.

1. Teorie:

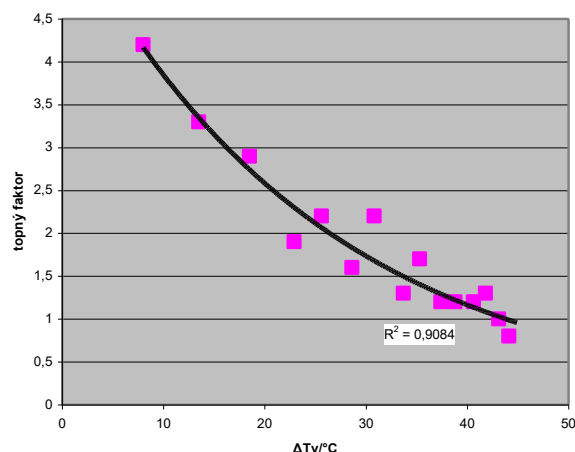
Tepelné čerpadlo využívá energii okolního prostředí a přeměňuje ji na teplo. Používá se na vytápění budov a ohřev vody. Na stejném principu jako tepelná čerpadla pracují kompresorové chladničky, které využívají tzv. studený okruh. Tepelné čerpadlo naopak využívá okruh teplý tzn., že motorkompresor stlačí pracovní médium – chladivo, které tak získá teplo, které ve výměníku kondenzátoru předá vodě (nebo vzduchu) pro vytápění a ohřev užitkové vody. Poté redukční ventil podstatně sníží tlak pracovního média, tím se zároveň prudce sníží teplota. K jejímu opětovnému zvýšení se v dalším výměníku – výparníku využije energie okolního prostředí (vzduch, voda, země) a tento cyklus se opakuje.

O topném faktoru můžeme hovořit jako o ukazateli efektu tepelného čerpadla.

Ekonomicky **efektivní** může být takové **opatření zvyšující topný faktor**, kde **zvýšené investiční náklady budou uhrazeny zvětšenou úsporou energie** a především úsporou nákladů při únosné návratnosti...viz. obr. 1.



Obr. 2: Graf optimalizace topného faktoru v závislosti na průměrné ceně energie.



Obr. 3: Ilustrativní graf výkonového čísla (topného faktoru) v závislosti na rozdílu teplot kondenzátor-výparník

Topný faktor (COP, Coefficient of performance) je **podílem výkonu a příkonu tepelného čerpadla**. Další definicí faktoru může být poměr tepla předaného teplonosné látce a vynaložené práce. TF v podstatě závisí na teplotě nízkopotenciálního zdroje - **čím je teplejší zdroj, tím je vyšší účinnost, čili topný faktor**.

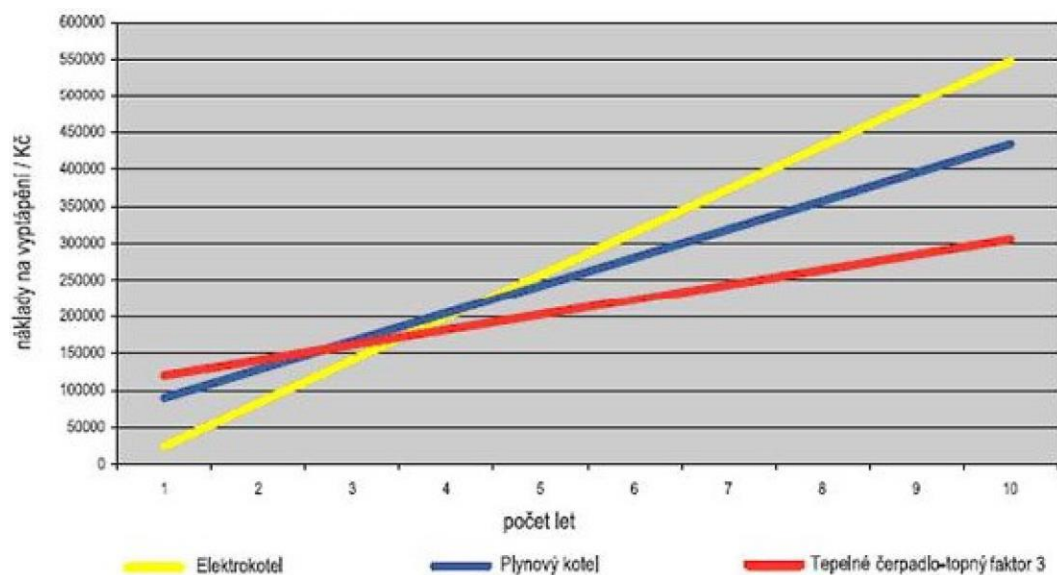
Vytápění je energeticky náročné a nákladné. Přitom by stačilo tepelnou energii odebírat přímo z okolí a předávat ji do vytápěného domu. Nijak by to neodporovalo zákonu zachování energie. Bohužel, tak snadno to nejde vzhledem k druhému zákonu termodynamiky.

Podle druhého zákona termodynamiky proudí teplo samovolně vždy z teplejšího tělesa na chladnější.

Nicméně, existuje stroj, nazvaný tepelné čerpadlo, který umožňuje obrácený tok tepla – z chladnějšího tělesa na teplejší. Takový tok ale není samovolný. Aby tepelné čerpadlo pracovalo, musíme mu dodávat elektrickou energii (výkon P_0).

Technicky je možné v zimě vytápět tak, že necháme teplo proudit z okolí do budovy. Tím se okolí ještě více ochladí a budova více ohřeje. Ukazuje se, že vytápění tímto způsobem má vyšší tepelný výkon (označme ho P) než pohon samotného tepelného čerpadla. Je proto výhodnější výkonem P_0 raději pohánět tepelné čerpadlo, než vytápět přímo touto energií, například elektrickým topením. Poměr, který ukazuje, kolikanásobně je tepelné čerpadlo výhodnější než přímé vytápění, se nazývá topný faktor $\varepsilon = P/P_0$.

V praxi se tato hodnota pohybuje od 2 do 7, což jsou pravda extrémní hodnoty. Co tedy např. znamená topný faktor 3? Na 3 kW spotřebované energie (kompresor) získáme 9 kW energie tepelné. Je to tedy poměr mezi topným výkonem a příkonem. Pozor: Při výpočtu topného faktoru se někdy nezapočítává spotřeba oběhových čerpadel (resp. ventilátorů), která jsou nutná pro provoz tepelného čerpadla. Skutečný topný faktor se pak může skutečných údajů výrazně lišit.



Obr. 4: Graf návratnosti investice u vytápění středního domu (spotřeba 3000 kWh, ohřev 200 TUV/den, dvoukanálová topná soustava). TUV – teplá užitková voda.



Obr. 5: Ovládací panel pro zapnutí kompresoru a čerpadla (pro rovnoměrné rozložení teploty v nádobě s vodou kondenzátoru). Zobrazené teploty přísluší různým částem tepelného čerpadla.

Výhody tepelného čerpadla:

1. Provoz tepelného čerpadla je energeticky nenáročný, může ušetřit až 80 % nákladů za energii na vytápění a ohřev teplé vody.
2. Náklady na pořízení tepelného čerpadla se vrátí i bez dotací již do 3 – 8 let.
3. Pořízením tepelného čerpadla se vás bude méně dotýkat další zdražování energií.
4. Provoz tepelného čerpadla je krokem k ekologii, protože malá spotřeba elektrické energie sama o sobě šetří životní prostředí.
5. Oproti tradičnímu vytápění klasickými tuhými palivy s přikládáním do kotle je provoz tepelného čerpadla čistý, pohodlný a bezobslužný. Tepelné čerpadlo se dá ovládat i dálkově pomocí internetu nebo mobilního telefonu.

2. Výpočty:

2.1. Tepelný výkon (užité teplo) kondenzátoru:

$$P = M \cdot c_v (\Delta T_{V2}/120),$$

P - tepelný výkon kondenzátoru (užité teplo) [J/s = W],

M - hmotnost ohřívané kapaliny,

c_v - měrná tepelná kapacita vody = 4 180 [J/K.kg],

ΔT_{V2} - rozdíl dvou blízkých teplot u kondenzátoru [°C].

2.2. Topný faktor:

$$\varepsilon = P / P_0,$$

ε - topný faktor [-],

P - tepelný výkon (užité teplo) kondenzátoru [J/s=W],

P_0 - příkon kompresoru [W].

3. Úkol:

Stanovte topný faktor tepelného čerpadla, čímž je poměr tepelného výkonu kondenzátoru ku příkonu kompresoru. Stanovte také závislosti příkonu kompresoru, tepelného výkonu kondenzátoru a topného faktoru na čase. Pouze slovy popište změny tlaku v kondenzátoru a výparníku v čase. Jak drahý byl provoz tohoto zařízení po dobu Vašeho měření?

4. Pomůcky:

1. Tepelné čerpadlo - nastaveno na maximální přetlak 18 barů
2. Stopky, wattmetr, nádoby na vodu

5. Postup měření:

a) Zapněte tepelné čerpadlo (zastrčením zásuvky do wattmetru) a opište si aktuální cenu spotřeby (tlačítko cena na wattmetru) – tlačítko čerpadlo a kompresor zatím nezapínat. Seznamte se s jednotlivými částmi čerpadla a zjistěte které tepelné čidlo je napojeno na který displej (který displej zobrazuje teplotu dané části tepelného čerpadla).

b) Naplňte obě nádoby vodou (asi 3 cm pod okraj), postavte je na stolečky a opatrně ponořte kondenzátor i výparník (vždy ve spolupráci minimálně dvou studentů). Úchytky nádob musí být po stranách tak, abyste je za ně drželi při nasazování (úchyt nesmí být u desky čerpadla, aby nedošlo k poškození výměníkůvých spirál).

c) Opište si dílčí parametry (viz. tabulka) v čase 0. Zapněte kompresor a průběžně po 2 minutách zaznamenávejte tyto parametry po dobu 30 minut. Současně orientačně sledujte změny teplot v různých částech čerpadla.

d) Pokud se teplota v kondenzátoru dostane pod 4 °C (display T_{vl}), tak zapněte čerpadlo (tlačítko „čerpadlo“ na základním panelu) – míchání vody v kondenzátoru (voda pod 4 °C přestává cirkulovat) – zapnutím míchání se ovšem vnáší do měření chyba.

e) Ukončete měření – zapište si opět aktuální cenu na wattmetru a diskutujte cenu po dobu měřených 30ti minut. Případně si dále opište, kolik by stál stálý provoz tohoto čerpadla za den/měsíc/rok (opět tlačítko cena). Vypněte zařízení vytážením zástrčky ze zásuvky. Vodu z nádob nevylévejte – případně je jen prohodte – opět ve spolupráci (kondenzátor/výparník).

6. Naměřené a vypočtené hodnoty: 1 kWh ~ 5 Kč, 1 bar = 0,1 MPa

T_{vl} - teplota vody studené [°C]	T_{pk} - teplota páry v kompresoru [°C]	T_{chs} - teplota chladiva při sání [°C]
T_{v2} - teplota vody ohříváné [°C]	T_{zch} - teplota zkapalněného chladiva [°C]	T_{chn} - teplota chladiva při nástřiku [°C]

p_v - tlak ve výparníku [Pa]	p_k - tlak v kondenzátoru [Pa]
--------------------------------	----------------------------------

P - tepelný výkon (užité teplo) kondenzátoru [J/s=W], $P = M \cdot c_v (\Delta T_{V2}/120)$
P_0 - příkon kompresoru [W]
M - hmotnost ohříváné kapaliny (resp. také studené) = 11,3 [kg]
m - průtokové množství kompresoru (výtlak) = 0,005 [kg/s]
c_v - měrná tepelná kapacita vody = 4 180 [J/K.kg]
ε - topný faktor, $\varepsilon = P/P_0$ [-]
ΔT_V – rozdíl teplot kondenzátor výparník (pro každý mezičas) [°C]
ΔT_{V2} – rozdíl dvou blízkých teplot u kondenzátoru (ΔT_{V2} po 2 minutách) [°C]

Délka měření 0-40 min.

$\check{C}as$ /min	T_{v1} /°C	T_{v2} /°C	T_{pk} /°C	T_{zch} /°C	T_{chs} /°C	T_{chn} /°C	p_v /bar	p_k /bar	P_0 /W	P /J.s ⁻¹	ε /-
0										-	-
2											
4											
6											
8											
10											
12											
14											
16											
18											
20											
22											
24											
26											
28											
30											
32											
34											
36											
38											
40											

$\check{C}as$ /min	ΔT_v /°C		ΔT_{v2} /°C	
0	-	-	-	-
2		$T_{v2(2)} - T_{v1(2)}$		$T_{v2(2)} - T_{v2(0)}$
4		$T_{v2(4)} - T_{v1(4)}$		$T_{v2(4)} - T_{v2(2)}$
6		$T_{v2(6)} - T_{v1(6)}$		$T_{v2(6)} - T_{v2(4)}$
8		$T_{v2(8)} - T_{v1(8)}$		$T_{v2(8)} - T_{v2(6)}$
10		$T_{v2(10)} - T_{v1(10)}$		$T_{v2(10)} - T_{v2(8)}$
12		$T_{v2(12)} - T_{v1(12)}$		$T_{v2(12)} - T_{v2(10)}$
14		$T_{v2(14)} - T_{v1(14)}$		$T_{v2(14)} - T_{v2(12)}$
16		$T_{v2(16)} - T_{v1(16)}$		$T_{v2(16)} - T_{v2(14)}$
18		$T_{v2(18)} - T_{v1(18)}$		$T_{v2(18)} - T_{v2(16)}$
20		$T_{v2(20)} - T_{v1(20)}$		$T_{v2(20)} - T_{v2(18)}$
22		$T_{v2(22)} - T_{v1(22)}$		$T_{v2(22)} - T_{v2(20)}$
24		$T_{v2(24)} - T_{v1(24)}$		$T_{v2(24)} - T_{v2(22)}$
26		$T_{v2(26)} - T_{v1(26)}$		$T_{v2(26)} - T_{v2(24)}$
28		$T_{v2(28)} - T_{v1(28)}$		$T_{v2(28)} - T_{v2(26)}$
30		$T_{v2(30)} - T_{v1(30)}$		$T_{v2(30)} - T_{v2(28)}$
32		$T_{v2(32)} - T_{v1(32)}$		$T_{v2(32)} - T_{v2(30)}$
34		$T_{v2(34)} - T_{v1(34)}$		$T_{v2(34)} - T_{v2(32)}$
36		$T_{v2(36)} - T_{v1(36)}$		$T_{v2(36)} - T_{v2(34)}$
38		$T_{v2(38)} - T_{v1(38)}$		$T_{v2(38)} - T_{v2(36)}$
40		$T_{v2(40)} - T_{v1(40)}$		$T_{v2(40)} - T_{v2(38)}$

7. Zpracování naměřených údajů:

- a) Dopočítejte topný faktor ε , tepelný výkon P , rozdíl teplot ΔT_v a ΔT_{v2} . Diskutujte optimální hodnotu topného faktoru.
- b) Na milimetrový papír nebo v počítači vykreslete grafy $\varepsilon(\Delta T_v)$, $P(\Delta T_v)$ a $\varepsilon(t)$. Vynechávejte hodnoty času $t = 0$ - jsou pouze srovnávací. Pokud pracujete s počítačem, potom vykreslete bodové grafy, kterými následně proložíte spojnicí trendu. Jednotlivé křivky popište a u vykreslené křivky zobrazte hodnotu spolehlivosti R^2 , která charakterizuje čtverec odchylek bodů od vykreslené křivky (čím jsme blíže k jedničce, tím je součet čtverců odchylek menší – bod(y) který má velkou odchylku od proložené křivky zanedbejte). V případě vykreslování jednotlivých grafů na milimetrový papír stanovte R (také nazývané korelačním koeficientem) pomocí kalkulátoru.
- c) Pouze slovy popište změny tlaku v kondenzátoru a výparníku v čase.
- d) Pokud bylo v průběhu měření zapnuto pomocné („míchací“) čerpadlo, potom se to v jednotlivých charakteristikách projeví skokově. Důvodem je zapnutí dalšího elektrického zařízení napojený na stejný elektrický vývod jako TČ. Pro matematický popis poté vyberte pouze jednu z vykreslených křivek.
- e) Na jaké hodnotě topného faktoru čerpadlo pracovalo po 30ti minutách měření (popište a diskutujte srovnáním s doporučeným rozsahem)
- f) Popište jednotlivé závislosti (exponenciální, polynomická, lineární...). Maxima, minima, ustálení, okamžik zapnutí („míchacího“) čerpadla...
- g) Návrhy na zlepšení + možnosti které mohly zapříčinit vnesení chyb.

8. Grafické závislosti:

9. Závěr: