

11.8 II – STANOVENÍ TOPNÉHO FAKTORU TEPELNÉHO ČERPADLA II.



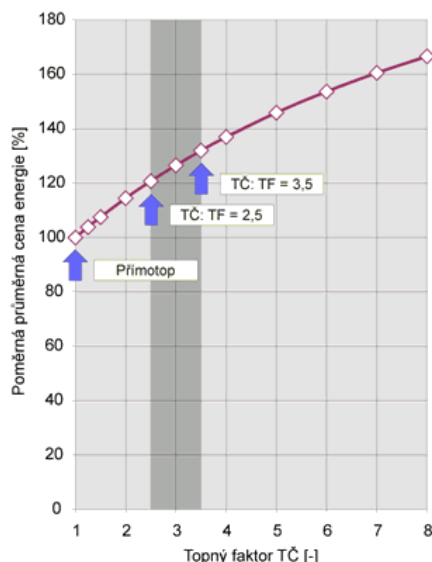
Obr. 1: Vyobrazení laboratorního tepelného čerpadla.

1. Teorie:

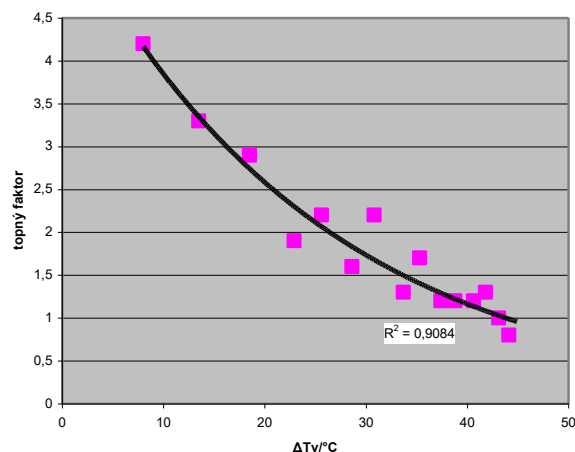
Tepelné čerpadlo využívá energii okolního prostředí a přeměňuje ji na teplo. Používá se na vytápění budov a ohřev vody. Na stejném principu jako tepelná čerpadla pracují kompresorové chladničky, které využívají tzv. studený okruh. Tepelné čerpadlo naopak využívá okruh teplý tzn., že motorkompresor stlačí 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**.

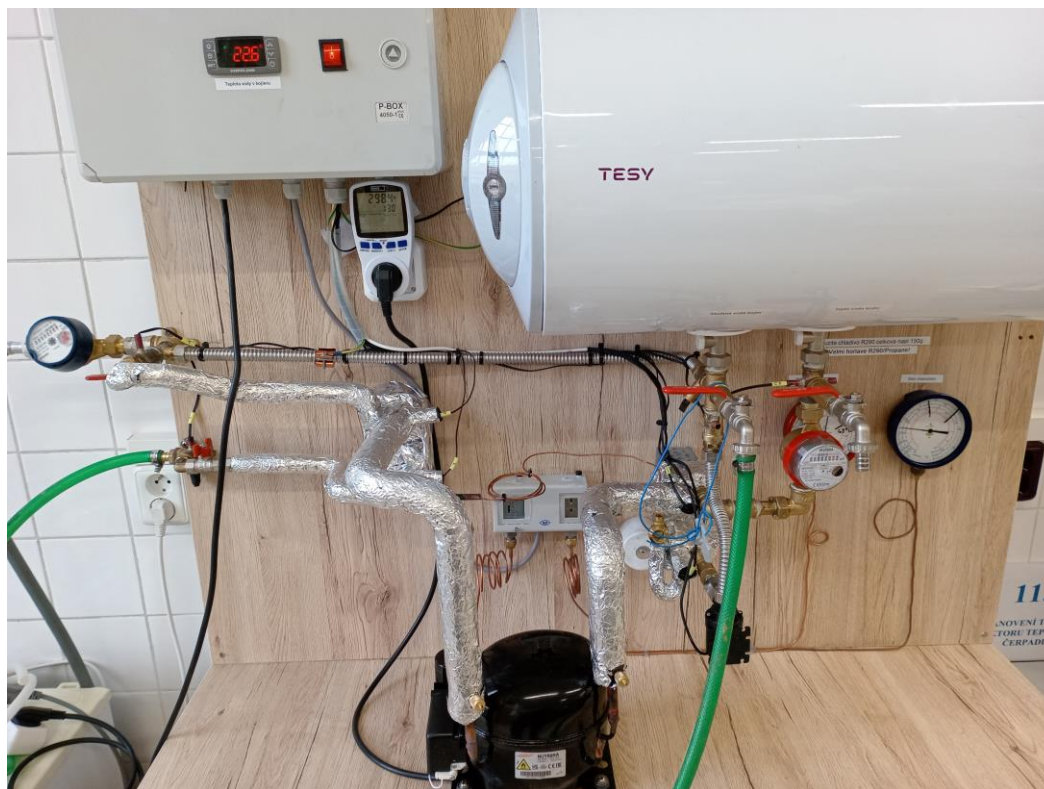
Vytápění je energeticky náročné a nákladné. Přitom by stačilo tepelnou energii odebírat přímo z okolí a předávat ji do vytápěného domu. Nijak by to neodporovalo zákonu zachování energie. Bohužel, tak snadno to nejde vzhledem k druhému zákonu termodynamiky.

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: Detailní pohled na tepelný okruh.



Obr. 5: Ovládací panel pro zapnutí kompresoru. 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:

$$P = M \cdot c_v (\Delta T_B / 120),$$

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_{12} – 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:

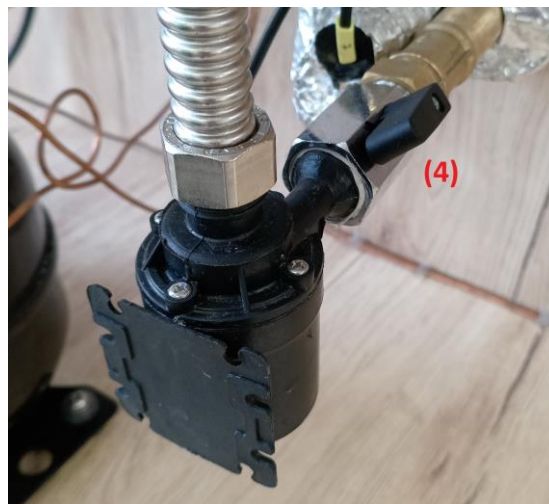
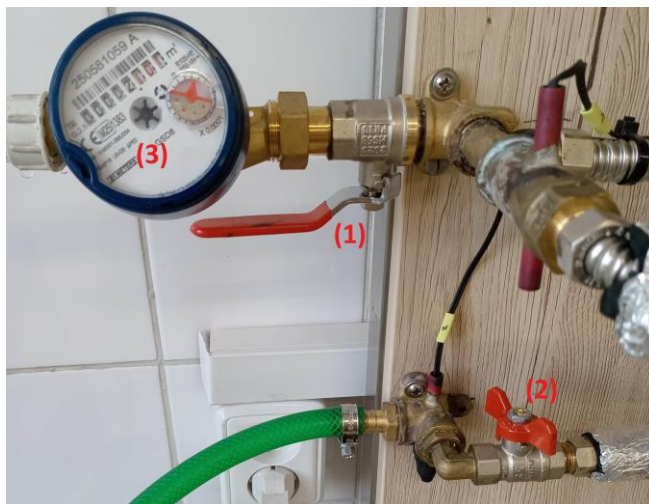
1. Tepelné čerpadlo - nastaveno na maximální přetlak 18 barů
2. Stopky, wattmetr, nádoby na vodu

5. Postup měření:

Zkontrolujte, zda je bojler naplněný vodou. Kontrolu provede vyučující, případně ho naplní. Kapacita bojleru je 50 l. Pokud je plný, potom postupujte následovně:

a) Zkontrolujte, zda jsou následující klapky (ventily) otevřeny dle doporučení, případně je nastavte.

Ventil (1) je zcela otevřen (páka je rovnoběžně s potrubím), ventil (2) je pouze mírně pootevřen a to tak, aby se černá vrtulka (3) na průtokoměru otáčela s frekvencí cca 1 otáčka za sekundu (orientační vizuální nastavení pro nastavení mírného průtoku vody). Klapka (4) bude zcela otevřena, viz. obr.



Tepelné čerpadlo představuje 2 oddělené vodovodní okruhy. Z prvního odebírá chladivo teplo z vodovodního řadu a tvoří první kondenzační smyčku (s kontinuálním průtokem vody) a ve druhém chladivo ohřívá vodu v bojleru a tvoří druhou kondenzační smyčku. Chladivo samozřejmě protéká stejné oběma vodovodními okruhy.

b) Napájecí kabel zastrčte do zásuvky (230 V).

c) Vyplňte si první řádek tabulky, ve kterém budou opsány výchozí teploty v jednotlivých částech tepelného čerpadla a počáteční hodnota průtoku na průtokoměru (průtokoměr s červeným rámečkem pod bojlerem).

d) Zapněte tlačítko kompresoru na ovládacím panelu, v okamžiku zapnutí se Vám aktivuje i display wattmetru, ze kterého si poznamenejte (do prvního řádku k teplotám) i první hodnotu příkonu kompresoru P_0 .

e) Zapněte kompresor a průběžně po 2 minutách zaznamenávejte tyto parametry (teploty a příkon kompresoru) po dobu 40 minut. Současně orientačně sledujte změny tlaků na barometrech.

f) Po 40ti minutách měření (po zaznamenání posledních hodnot) vypněte vypínač kompresoru, vytáhněte ze zásuvky napájecí kabel a uzavřete ventil (2).

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

T_1 – chlazená voda vstup [°C]	T_2 – chlazená voda výstup [°C]
T_3 – teplota chladiva nástřik [°C]	T_4 – teplota chladiva sání [°C]
T_5 – teplota ohřívání vody výstup [°C]	T_6 – teplota ohřívání vody vstup [°C]
T_7 – teplota kondenzátoru vstup [°C]	T_8 – teplota kondenzátoru výstup [°C]
T_9 – teplota vody v bojleru [°C]	

p_v – tlak na výtlačném manometru [Pa]	p_s – tlak na sacím manometru [bar]
--	---------------------------------------

P – tepelný výkon (užité teplo) kondenzátoru [J/s=W], $P = M \cdot c_v (\Delta T_B / 120)$
P_0 – příkon kompresoru [W]
M – hmotnost ohřívání kapaliny = 50 [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 – rozdíl teplot bojler/chlazená kapalina vstup (pro každý mezičas) [°C]
ΔT_B – rozdíl dvou blízkých teplot v bojleru (po 2 minutách) [°C]

Délka měření 0–40 min.

Čas	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	$T_{Bojl.}$	p_v	p_s	P_0	P	ε
/min	/°C	/°C	/°C	/°C	/°C	/°C	/°C	/°C	/°C	/bar	/bar	/W	/J.s ⁻¹	/-
0													0	-
2														
4														
6														
8														
10														
12														
14														
16														
18														
20														
22														
24														
26														
28														
30														
32														
34														
36														
38														
40														
Ø														

Čas	ΔT		$\Delta T_{Bojl.}$	
/min	/°C		/°C	
0	-	-	0	-
2		$T_{B(2)} - T_{1(2)}$		$T_{B(2)} - T_{B(0)}$
4		$T_{B(4)} - T_{1(4)}$		$T_{B(4)} - T_{B(2)}$
6		$T_{B(6)} - T_{1(6)}$		$T_{B(6)} - T_{B(4)}$
8		$T_{B(8)} - T_{1(8)}$		$T_{B(8)} - T_{B(6)}$
10		$T_{B(10)} - T_{1(10)}$		$T_{B(10)} - T_{B(8)}$
12		$T_{B(12)} - T_{1(12)}$		$T_{B(12)} - T_{B(10)}$
14		$T_{B(14)} - T_{1(14)}$		$T_{B(14)} - T_{B(12)}$
16		$T_{B(16)} - T_{1(16)}$		$T_{B(16)} - T_{B(14)}$
18		$T_{B(18)} - T_{1(18)}$		$T_{B(18)} - T_{B(16)}$
20		$T_{B(20)} - T_{1(20)}$		$T_{B(20)} - T_{B(18)}$
22		$T_{B(22)} - T_{1(22)}$		$T_{B(22)} - T_{B(20)}$
24		$T_{B(24)} - T_{1(24)}$		$T_{B(24)} - T_{B(22)}$
26		$T_{B(26)} - T_{1(26)}$		$T_{B(26)} - T_{B(24)}$
28		$T_{B(28)} - T_{1(28)}$		$T_{B(28)} - T_{B(26)}$
30		$T_{B(30)} - T_{1(30)}$		$T_{B(30)} - T_{B(28)}$
32		$T_{B(32)} - T_{1(32)}$		$T_{B(32)} - T_{B(30)}$
34		$T_{B(34)} - T_{1(34)}$		$T_{B(34)} - T_{B(32)}$
36		$T_{B(36)} - T_{1(36)}$		$T_{B(36)} - T_{B(34)}$
38		$T_{B(38)} - T_{1(38)}$		$T_{B(38)} - T_{B(36)}$
40		$T_{B(40)} - T_{1(40)}$		$T_{B(40)} - T_{B(38)}$

Čas	Údaj na průtokoměru
/min	
0	
40	



7. Zpracování naměřených údajů:

Dopočítejte topný faktor ε , tepelný výkon P , rozdíl teplot ΔT a $\Delta T_{Bojl.}$. Excel s přednastavenými vzorci je ke stažení ve stejném umístění, jako návod k úloze.

8. Grafické závislosti:

Na milimetrový papír nebo v počítači vykreslete grafy $\Delta T(t)$, $\Delta T_{Bojl.}(t)$, $T_\delta(t)$ a $T_l(t)$. 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). Vyzkoušejte různé typy proložení a vyberte nejvhodnější (exponenciální, polynomičká, lineární...). V případě vykreslování jednotlivých grafů na milimetrový papír stanovte R (také nazývané korelačním koeficientem) pomocí kalkulátoru.

9. Závěr:

- a) Diskutujte optimální hodnotu topného faktoru. V jakém rozmezí hodnot se topný faktor po dobu měření pohyboval? Srovnajte např. s průmyslovým tepelným čerpadlem. Je tepelné čerpadlo efektivní?
- b) Jak se měnil tepelný výkon P a tepelný příkon P_θ v čase?
- c) Myslíte, že existuje souvislost mezi efektivitou tepelného čerpadla (topným faktorem) a teplotou ohřívání vody v bojleru? Popište.
- d) Popište teplotu ohřívání kapaliny na výstupu T_δ v čase. Byla by teplota vody užitkově dostačující, pokud by se odebírala z tohoto místa (za bojlerem)?
- e) Popište změny tlaku v kondenzátoru a výparníku v čase.
- f) Popište, jaké křivky (závislosti) jste v grafech uplatnili a proč (exponenciální, polynomičká, lineární...). Maxima, minima, ustálení...
- g) Návrhy na zlepšení + možnosti které mohly zapříčinit vnesení chyb.

Příloha: nastavení ventilů pro

- Napouštění bojleru
- Vypouštění bojleru
- Orientační nastavení ventilů pro měření
- Zajištěný stav (zabezpečený stav)



Napouštění bojleru

1 – otevřen, 2 – uzavřen,
3 – uzavřen, 4 – mírně otevřen



Vypouštění bojleru

1 – uzavřen, 2 – uzavřen,
3 – otevřen, 4 – otevřen



Orientační nastavení ventilů při měření

1 – otevřen, 2 – mírně otevřen (viz. návod výše),
3 – uzavřen, 4 – uzavřen



Zajištěný stav

1 – uzavřen, 2 – uzavřen,
3 – uzavřen, 4 – uzavřen