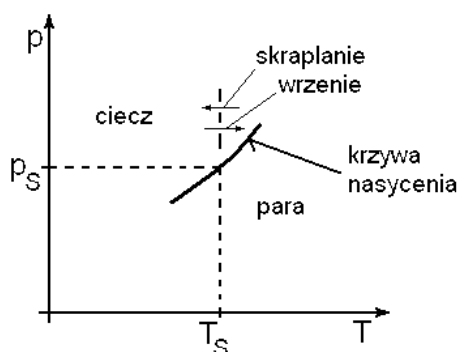


Autor: Brunon J. Grochal

Pompa ciepła? – To proste!

Zasada działania pomp ciepła sprowadza się do wykorzystania właściwości fizycznych płynów, związanych z ich przemianami fazowymi - **wrzeniem** (parowaniem) i **skraplaniem** (kondensacją).

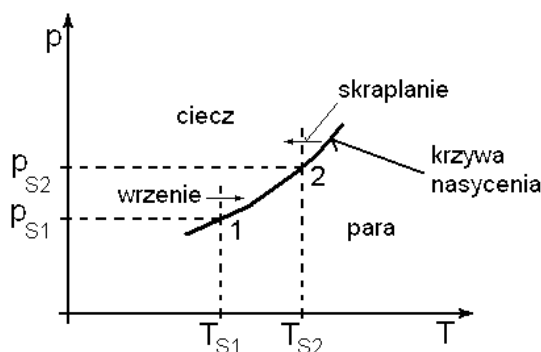
Ciśnienie i temperatura przemiany cieczy w parę - **wrzenia** - oraz odwrotnej przemiany pary w ciecz - **skraplania** - są ze sobą związane zależnością, którą przedstawia graficznie **krzywa nasycenia**. Przy określonym ciśnieniu wrzenie i skraplanie zachodzą przy tej samej temperaturze - **temperaturze nasycenia** T_s , a kierunek przemiany zależy od kierunku przepływu ciepła: przy doprowadzaniu ciepła ciecz wrze, przy odprowadzaniu ciepła para skrapla się, rys. 1.



Rys. 1. Ilustracja przemian fazowych - wrzenie i skraplanie - przy ciśnieniu p_s i odpowiadającej temperaturze nasycenia T_s .

Przy wyższym ciśnieniu temperatura przemian wrzenie/skraplanie jest wyższa. Na poziomie morza woda gotuje się dlatego przy temperaturze około $100\text{ }^\circ\text{C}$, a wysoko w górach, gdzie ciśnienie atmosferyczne jest niższe, woda gotuje się przy temperaturze wyraźnie niższej od $100\text{ }^\circ\text{C}$.

Jak wspomniano powyżej, wrzenie następuje przy doprowadzaniu ciepła – pobiera je ciecz zamieniając się w parę, jako ciepło parowania. Ciepło to - po przemianie ciecz-para - zawarte jest w parze czynnika roboczego, przy ciśnieniu parowania p_s i w temperaturze T_s . Jeśli teraz podwyższymy ciśnienie – z p_{s1} do p_{s2} - to odpowiednio podwyższeniu ulegnie temperatura pary, z T_{s1} do T_{s2} , rys. 2. Zmiana parametrów pary, to znaczy przejście z punktu 1 o parametrach (T_{s1}, p_{s1}) do punktu 2 o parametrach (T_{s2}, p_{s2}) dzięki sprężeniu pary, pozwala ciepłem zawartym w parze, pobranym podczas wrzenia przy temperaturze T_{s1} , dysponować przy temperaturze T_{s2} - można je odebrać skraplając parę przy tej temperaturze, jako ciepło skraplania.

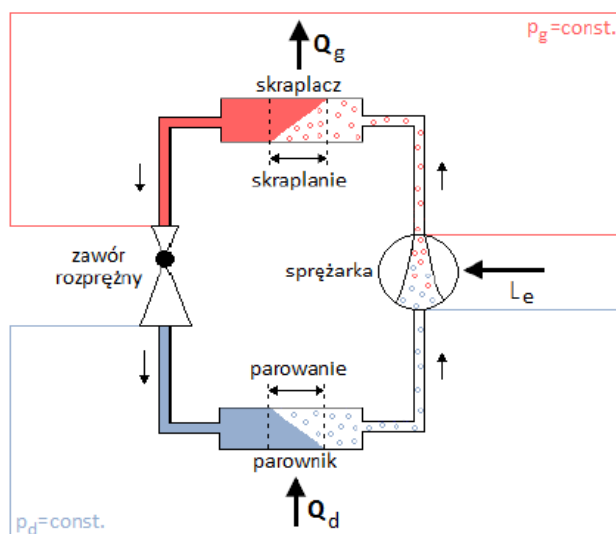


Rys. 2. Ilustracja zasady działania pompy ciepła: zwiększenie ciśnienia od p_{s1} do p_{s2} prowadzi do wzrostu temperatury od T_{s1} do T_{s2} .

I to już wszystko, na tym właśnie zasadza się praca sprężarkowej parowej pompy ciepła: sprężarka podwyższa ciśnienie pary, naturalnie podwyższając przy tym odpowiednio temperaturę nasycenia pary - i tym samym przenosząc w parze ciepło z temperatury niższej do wyższej.

Przy niższej temperaturze (T_{S1}) czynnik roboczy pobiera ciepło parowania, przy wyższej temperaturze (T_{S2}) oddaje to ciepło jako ciepło skraplania.

W rzeczywistości obieg czynnika roboczego jest trochę bardziej skomplikowany, co wynika z dążenia do lepszego wykorzystania własności fizycznych oraz pewnych uwarunkowań technicznych, na przykład konieczności uniknięcia przedostawania się cieczy do sprężarki. Nie zmienia to jednak absolutnie zasady działania, a schemat ideowy układu pompy ciepła można przedstawić jak na rys. 3.



Rys. 3. Schemat poglądowy obiegu czynnika roboczego w sprężarkowej parowej pompie ciepła: $p_d = p_{S1}$, $p_g = p_{S2}$, Q_d - ciepło pobierane z dolnego źródła, L_e - praca sprężarki, Q_g - ciepło oddawane w górnym źródle.

[źródło: A. Syrocka, praca dyplomowa, PG, 2010]

Co więc trzeba zrobić, aby wykorzystać opisane zjawiska?

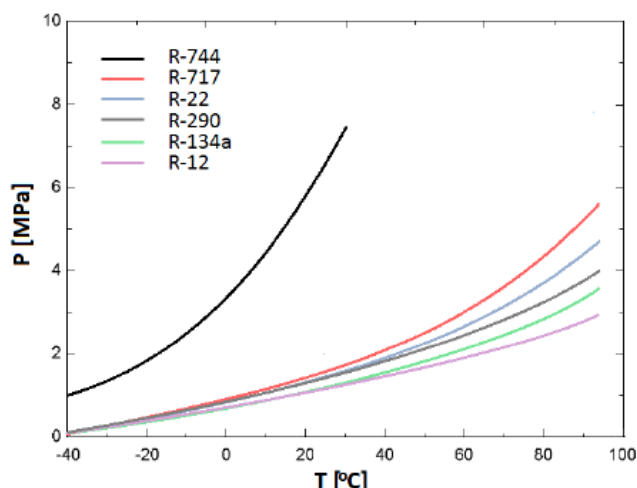
Po pierwsze, należy ciśnienie p_{S1} obniżyć tak, aby temperatura T_{S1} była niższa od temperatury ośrodka (dolnego źródła ciepła), z którego pobieramy ciepło parowania. Zauważmy od razu, że możemy ciepło Q_d pobierać - odpowiednio obniżając ciśnienie p_{S1} i tym samym temperaturę wrzenia T_{S1} - z gruntu, z wody, z powietrza, nawet ze śniegu czy z lodu (śnieg i lód też można schładzać!).

Po drugie, należy ciśnienie p_{S2} osiągnąć takie, aby temperatura pary T_{S2} była wyższa od temperatury ośrodka (górnego źródła ciepła), któremu ma być przekazywane ciepło Q_g skraplania pary czynnika roboczego.

Według opisanej zasady działają pompy ciepła oraz chłodziarki (lodówki), które różnią się jedynie zakresami temperatury, w których pracują, oraz oczywiście celem działania - pompy ciepła mają dostarczać ciepło (także przy względnie wysokiej temperaturze), chłodziarki mają usuwać ciepło (nawet przy względnie niskiej temperaturze).

Do zakresu temperatury, w którym ma działać pompa ciepła, można dobrać czynnik roboczy najlepiej nadający się do pracy w danym zakresie temperatury.

Na rys. 4 pokazane są zależności wiążące temperaturę nasycenia T_S oraz ciśnienie nasycenia p_S - czyli **krzywe nasycenia** $p_S(T_S)$ - kilku płynów stosowanych w technice chłodniczej i grzewczej jako czynniki robocze transportujące ciepło.



Rys. 4. Krzywe nasycenia wybranych czynników roboczych.
(R-744 - ditlenek węgla CO_2 ; R-717 - amoniak NH_3 ; R-290 - propan C_3H_8)

Obecnie wielką uwagę przywiązuje się do zapewnienia bezpieczeństwa ekologicznego środowiska naturalnego, i w związku z tym dąży się do wykorzystywania naturalnych czynników roboczych, do których należą m. in. ditlenek węgla CO_2 , amoniak NH_3 czy węglowodory, na przykład propan C_3H_8 .

Efektywność pompy ciepła

Bilans energetyczny pompy ciepła wynikający z rys. 3 pozwala na określenie **współczynnika wydajności cieplnej** ε_p pompy ciepła, definiowanego jako stosunek ilości ciepła do dyspozycji użytkownika Q_g do energii doprowadzanej jako praca sprężarki L_e ,

$$\varepsilon_p = Q_g / L_e$$

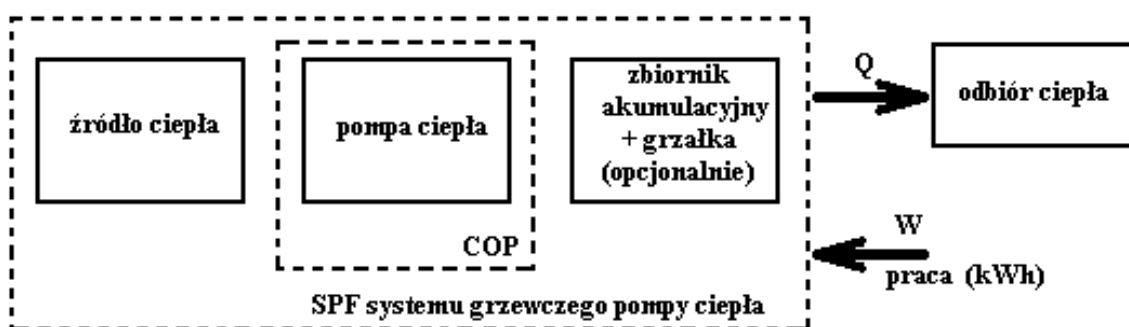
albo, wobec $Q_g = (L_e + Q_d)$,

$$\varepsilon_p = (L_e + Q_d) / L_e = 1 + (Q_d / L_e) = 1 + \varepsilon_z$$

gdzie stosunek $\varepsilon_z = (Q_d / L_e)$ jest **współczynnikiem wydajności chłodniczej**, odgrywającym naturalnie pierwszorzędą rolę w chłodnictwie.

W polskiej literaturze współczynniki wydajności cieplnej i chłodniczej oznaczane są także, odpowiednio, jako φ_p i φ_z . Powszechnie obecnie stosowane, także w Polsce, jest oznaczenie współczynnika wydajności cieplnej pompy ciepła jako COP (z ang. - Coefficient Of Performance).

Dla całej instalacji ogrzewania, po stronie dostarczania ciepła, bardziej miarodajny pod względem oceny efektywności jest współczynnik **SPF = Q/W**, rys. 5 (z ang. - Seasonal Performance Factor).



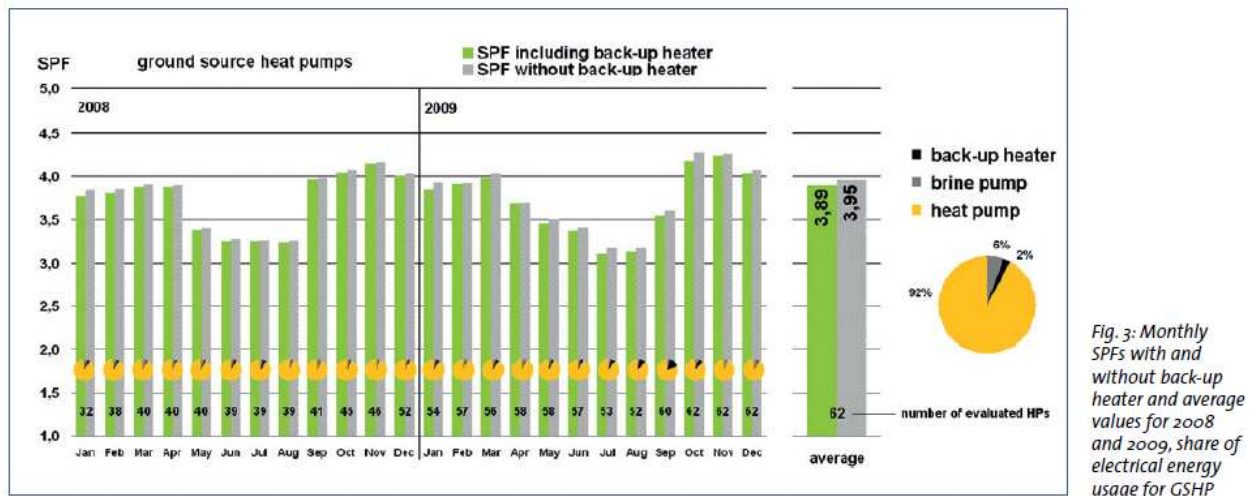
Rys. 5. Ilustracja relacji między współczynnikami wydajności cieplnej:

COP – tylko pompa ciepła, SPF – instalacja grzewcza z pompą ciepła.

Jak ilustruje to rys. 5, współczynnik SPF ujmuje wpływ na efektywność instalacji także jej dodatkowych elementów poza pompą ciepła, takich jak pompy obiegowe czy elektryczne grzałki dodatkowo umieszczone w pompie ciepła bądź w zbiorniku ciepłej wody użytkowej, według schematu pokazanego na rys. 5.

Tak więc, pompa ciepła napędzana energią L_e **pobiera ze środowiska** (powietrze, woda, grunt) energię Q_d , użytkownik ma do dyspozycji sumę $Q_g = (L_e + Q_d)$.

W poprawnie wykonanych instalacjach średnioroczny współczynnik efektywności cieplnej instalacji (a nie samej tylko pompy ciepła) według rys. 5, czyli $SPF = (Q/W)$, przy pobieraniu ciepła z wody bądź z gruntu wynosi blisko 4 ($SPF \cong 4$), przy pobieraniu ciepła z powietrza wynosi blisko 3 ($SPF \cong 3$), i sa to wartości pomierzone., rys. 6A, rys. 6B.



Rys. 6A. Pomierzone średniomiesięczne wartości współczynnika SPF w latach 2008 i 2009 przy pobieraniu ciepła z gruntu (GSHP – Ground Source Heat Pump) [źródło: European Heat Pump NEWS, Issue 12/2 August 2010]

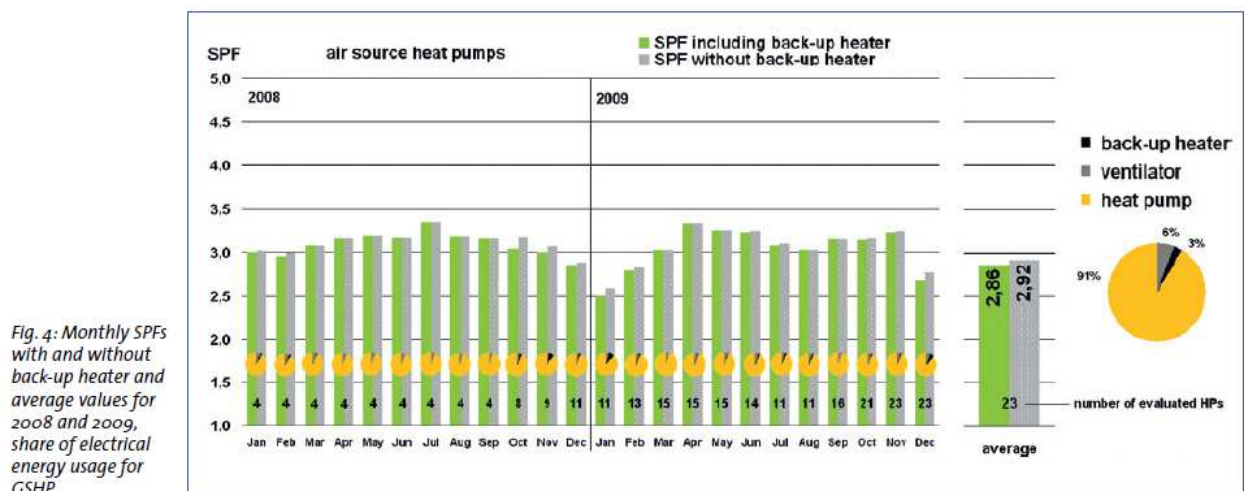


Fig. 4: Monthly SPF with and without back-up heater and average values for 2008 and 2009, share of electrical energy usage for GSHP

Rys. 6B. Pomierzone średniomiesięczne wartości współczynnika SPF w latach 2008 i 2009 przy pobieraniu ciepła z powietrza. [źródło: European Heat Pump NEWS, Issue 12/2 August 2010]