

# Bezpieczeństwo eksploatacji pomp ciepła i urządzeń chłodniczych – w odniesieniu do środowiska naturalnego

Fot. vschlichting/Bigstockphoto



W artykule przedstawiony został problem eksploatacji instalacji chłodniczych i pomp ciepła w aspekcie emisji czynnika chłodniczego do atmosfery. Substancje te odpowiedzialne są za niszczenie warstwy ozonowej oraz w dużej mierze powstawanie efektu cieplarnianego. Bezpieczna eksploatacja urządzeń, które zawierają czynniki chłodnicze ma na celu ograniczenie ich emisji oraz zmniejszenie zużycia energii do ich napędu. W artykule zamieszczono definicję wskaźników ODP i GWP. Dokonano analizy wartości wskaźnika TEWI dla wodnej pompy ciepła w okresie eksploatacyjnym 10 lat oraz zinterpretowano jego poszczególne składowe. Obliczenia przeprowadzono dla czterech czynników chłodniczych: R 404A, R 407C, R 410A i R 600a.

*Słowa kluczowe: nieszczelność instalacji, wskaźnik TEWI, czynnik chłodniczy, pompa ciepła*

## Safety of exploitation of heat pumps and refrigeration devices – in regard of the environment

The article presents the problem of exploitation of refrigeration systems and heat pumps in terms of refrigerant emissions to the atmosphere. These substances are responsible for destroying the ozone layer, and to a large extent for the greenhouse effect. Safe exploitation of devices containing refrigerants aims to reduce their emissions and reduce energy consumption to propel them. The article presents a definition of indicators ODP and GWP. An analysis of the index TEWI for water source heat pump operating period of 10 years and interpreted its individual components was made. The calculations were performed in regard of four refrigerants: R-404A, R-407C, R-410A and R-600a.

*Keywords: installation leak, TEWI index, refrigerant, heat pump*

## Wstęp

Urządzenia chłodnicze oraz pompy ciepła służą przede wszystkim do dostarczenia lub odprowadzenia ciepła w celu utrzymania wymaganej temperatury obiektu. Proces ten jest możliwy dzięki termodynamicznym przemianom czynnika chłodniczego zachodzącym w tych urządzeniach. Substancje te mają wiele właściwości fizykochemicznych, które pozwalają je wykorzystać w procesach przekazywania ciepła. Przykładowo: temperatura ich wrzenia,  $t_w$ , przy ciśnieniu atmosferycznym jest znacznie niższa od zera (R22,  $t_w = -40,72^\circ\text{C}$ ; R134a,  $t_w = -26,11^\circ\text{C}$ ; R410A,  $t_w = -48,56^\circ\text{C}$ ; R600a,  $t_w = -11,78^\circ\text{C}$ ; R717 $^\circ\text{C}$ ,  $t_w = -33,33^\circ\text{C}$ ; R744,  $t_w = -88,5^\circ\text{C}$ ).

Istnieją również substancje, które często wykazują negatywny wpływ na środowisko naturalne oraz na zdrowie i życie człowieka. Są one odpowiedzialne m.in. za niszczenie warstwy ozonowej oraz mają pośredni i bezpośredni wpływ na tworzenie efektu cieplarnianego (zaliczane są do gazów cieplarnianych). W kontakcie ze skórą mogą powodować odmrożenia, w fazie gazowej wnikają do wnętrza organizmu, powodując nieodwracalne szkody. Ich wdychanie powoduje zawroty i bóle głowy oraz omdlenia. Są przy tym bezwonne (zwłaszcza syntetyczne czynniki chłodnicze) i bezbarwne. Często człowiek nie jest świadomy ekspozycji na te substancje.

Do eksploatacji urządzeń zawierających czynniki chłodnicze oraz do obrotu tymi substancjami wymagane są uprawnienia F-gazowe. Podstawę prawną stanowi rozporządzenie wykonawcze komisji UE z 17 listopada 2015 r. [1]. Zgodnie z jego treścią, tzw. certyfikaty F-gazowe obowiązkowe są nie tylko dla osób instalujących i serwisujących urządzenia zawierające fluorowane gazy cieplarniane, ale też dla firm zajmujących się sprzedażą i kupnem czynników chłodniczych z grupy HFC<sup>1</sup> (tzw. F-gazów).

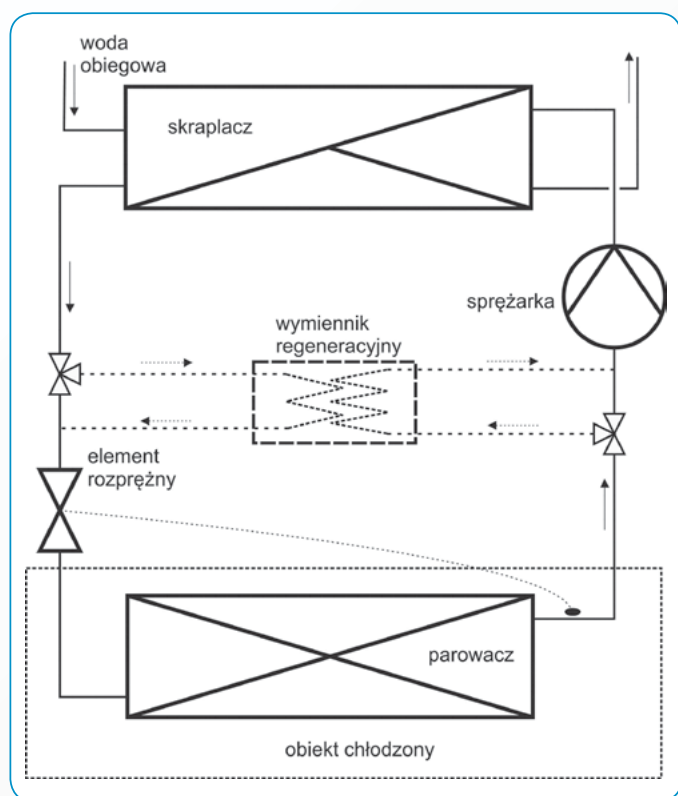
Pierwszy artykuł poświęcono omówieniu wpływu czynników chłodniczych na środowisko naturalne. Przedstawione zostały głównie skutki ich emisji do atmosfery. W tym celu scharakteryzowano wskaźniki środowiskowe, dzięki którym jesteśmy w stanie ocenić ich wpływ na tworzenie efektu cieplarnianego. Przedstawiono również praktyczne możliwości obniżenia wpływu emisji czynnika chłodniczego oraz eksploatacji urządzeń go zawierających na tworzenie efektu cieplarnianego.

Drugi artykuł (zostanie opublikowany w kolejnym wydaniu miesięcznika „Bezpieczeństwo Pracy”) poświęcono niebezpieczeństwom towarzyszącym obsłudze i serwisowaniu urządzeń zawierających czynniki chłodnicze. Omówiono poprawną ich eksploatację wraz z wymogami bezpieczeństwa dla osób narażonych na emisję tych substancji.

## Zasada działania pomp ciepła i urządzeń chłodniczych

Pompy ciepła i urządzenia chłodnicze należą, pod względem konstrukcyjnym do tej samej grupy. W celu dostarczenia ciepła do ogrzewania (w przypadku pompy ciepła), bądź obniżenia temperatury obiektu poniżej temperatury otoczenia (w przypadku urządzeń chłodniczych), realizowany jest tzw. lewobieżny obieg termodynamiczny.

<sup>1</sup> HFC – czynniki chłodnicze niezawierające w swojej budowie cząsteczek chloru i bromu.



Rys. 1. Schemat poglądowy urządzenia chłodniczego/pompy ciepła działającego w obiegu jednostopniowym bezpośrednim (z możliwością regeneracji ciepła)

Fig. 1. A schematic representation of the refrigeration unit/heat pump operating in a direct single-circuit (with possibility of heat regeneration)

Głównym elementem tych urządzeń jest sprężarka, której zadaniem jest wymuszenie przepływu gazu oraz podniesienie jego ciśnienia i temperatury. Zawierają również element, którego zadaniem jest rozprężenie cieczy oraz obniżenie jej temperatury, oraz dowolną ilość wymienników ciepła, które mogą pełnić rolę skraplaczy, parowaczy, wymienników regeneracyjnych czy dochładzaczy cieczy.

Płynem roboczym w obu przypadkach są czynniki chłodnicze, syntetyczne i naturalne. Pompa ciepła transportuje energię w postaci ciepła z parowacza (dolnego źródła) do skraplacza (górnego źródła), gdzie ciepło przekazywane jest do czynnika grzewczego (np. wody obiegowej lub powietrza wentylacyjnego). Ciepło transportowane jest za pośrednictwem czynnika chłodniczego, który ulega kolejnym przemianom termodynamicznym: parowanie przy stałym ciśnieniu na skutek dopływu ciepła (parowacz), sprężanie gazu (sprężarka), skraplanie wskutek odprowadzenia ciepła (skraplacz), dławienie cieczy (element rozprężny) [2]. Przemiany termodynamiczne czynnika chłodniczego w urządzeniu chłodniczym są identyczne, jak w pompie ciepła, z tą różnicą, że efektem ich funkcjonowania jest chłodzenie danego pomieszczenia. W tym przypadku urządzenie chłodnicze ma za zadanie schłodzić takie wnętrza i utrzymać jego stałą temperaturę, niższą od temperatury otoczenia. Ciepło z obiektu transportowane jest do skraplacza, gdzie jest „wyrzucane” do środowiska lub w miarę możliwości odzyskiwane, np. w celu wykorzystania go do podgrzewania ciepłej wody użytkowej. Przykładowy schemat pompy ciepła i urządzenia chłodniczego przedstawiono na rys. 1.

## Przepisy prawa w odniesieniu do pomp ciepła i urządzeń chłodniczych

Zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1005/2009 z 16 września 2009 r. w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową, zwanym dalej „rozporządzeniem (WE) nr 1005/2009” [3], czynniki chłodnicze z grupy CFC<sup>2</sup> (chlorofluorowęglowodory) zostały całkowicie zakazane do stosowania w urządzeniach chłodniczych i pompach ciepła, natomiast

<sup>2</sup> CFC – pierwsze syntetyczne czynniki chłodnicze. Pochodne węglowodorów, w których wszystkie atomy wodoru zostały zastąpione innymi pierwiastkami: chlorem, fluorem i bromem.

Tabela 1. Harmonogram redukcji czynników chłodniczych z grupy HFC – procentowa ilość czynników chłodniczych wprowadzana na rynek europejski odniesiona do wartości bazowej na rok 2015. Załącznik V do rozporządzenia PE i Rady UE [4]

Table 1. Timetable for the reduction of refrigerants HFC – percentage of refrigerants placed on the European market relative to the baseline in 2015. Annex V to dispose of the EP and the Council [4]

Lata	Wartość procentowa do obliczania maksymalnej ilości HFC, które mają być wprowadzone do obrotu i odpowiadających im kontyngentów
2015	100%
2016 – 2017	93%
2018 – 2020	63%
2021 – 2023	45%
2024 – 2026	31%
2027 – 2029	24%
2030	21%

czynniki chłodnicze z grupy HCFC<sup>3</sup> (hydrochlorofluorowęglowodory) wycofano ze sprzedaży. Urządzenia obecnie je wykorzystujące mogą być dalej eksploatowane do czasu wystąpienia konieczności wymiany czynnika bez względu na przyczynę. Niektóre zakazane czynniki chłodnicze z grupy CFC i HCFC mogą być używane w celach laboratoryjnych i analitycznych.

Kolejnym ważnym aktem prawnym Unii Europejskiej jest rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 517/2014 z dnia 16 kwietnia 2014 r. w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych i uchylenia rozporządzenia (WE) nr 842/2006 [4]. Zawarto w nim informacje o zapobieganiu emisji oraz wykrywaniu nieszczelności urządzeń zawierających gazy cieplarniane m.in. substancje z grupy HFC (hydrofluorowęglowodory) oraz PFC<sup>4</sup> (perfluorowęglowodory), znane również jako FC (fluorowęglowodory). Rozporządzenie wprowadza ograniczenia stosowania tych substancji z racji ich wysokiego wskaźnika GWP<sup>5</sup> oraz wprowadza harmonogram ich redukcji (HFC), (tab. 1.).

Od 1 stycznia 2020 r. dodatkowo zakazuje się stosowania czynników chłodniczych z grupy HFC o wskaźniku GWP  $\geq 2500$  do serwisowania lub konserwacji urządzeń chłodniczych o napełnieniu 40 ton<sup>6</sup> ekwiwalentu CO<sub>2</sub> lub większym. Ograniczenie to nie ma zastosowania do sprzętu wojskowego lub urządzeń przeznaczonych do zastosowań służących schładzaniu produktów do temperatur poniżej – 50 °C [4].

W związku z tym Polska zastosowała się do wytycznych unijnych dotyczących substancji zubożających warstwę ozonową i parlament polski przyjął ustawę z 15 maja 2015 r. o substancjach zubożających warstwę ozonową oraz o niektórych fluorowanych gazach cieplarnianych. Na podstawie wymienionego rozporządzenia unijnego w Dzienniku Ustaw RP opublikowano rozporządzenia dotyczące kontroli urządzeń i instalacji zawierających substancje zubożające warstwę ozonową oraz przyczyniające się do powstawania efektu cieplarnianego. Są to:

- rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 3 grudnia 2015 r. w sprawie jednostkowych stawek opłat za czynności realizowane przez jednostkę certyfikującą personel
- rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 11 grudnia 2015 r. w sprawie wymagań dotyczących wyposażenia technicznego jednostek prowadzących szkolenia w zakresie odzysku substancji kontrolowanych oraz fluorowanych gazów cieplarnianych z systemów klimatyzacji, w niektórych pojazdach silnikowych, minimalnych wymagań dotyczących wiedzy teoretycznej i doświadczenia praktycznego osób prowadzących szkolenia, wzoru zaświadczenia o odbytych szkoleniu i wysokości jednostkowych stawek opłat
- rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 14 grudnia 2015 r. w sprawie wzoru zgłoszenia podmiotu zamierzającego pełnić funkcję jednostki oceniającej personel oraz wzoru zgłoszenia podmiotu zamierzającego pełnić funkcję jednostki prowadzącej szkolenia

<sup>3</sup> HCFC – pochodne węglowodorów; cząsteczki tych związków zawierają w swojej budowie atomy wodoru.

<sup>4</sup> PFC (FC) – pochodne węglowodorów, w których atomy wodoru zastąpiono atomami fluoru. Bardzo stabilne chemicznie ze względu na wiązanie węgiel-fluor, jedno z najsilniejszych wiązań w chemii organicznej. Nie wykazują destrukcyjnego wpływu na warstwę ozonową, ale cechują się dużym udziałem w tworzeniu efektu cieplarnianego.

<sup>5</sup> GWP – potencjał tworzenia efektu cieplarnianego.

<sup>6</sup> Tona (-y) ekwiwalentu CO<sub>2</sub> – ilość gazów cieplarnianych, wyrażona jako iloczyn masy gazów cieplarnianych w tonach metrycznych i ich współczynnika ocieplenia globalnego (wskaźnika GWP).



– rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 17 grudnia 2015 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących wyposażenia technicznego do prowadzenia szkoleń i przeprowadzania egzaminów, wiedzy teoretycznej i doświadczenia praktycznego osób przeprowadzających egzaminy oraz prowadzących szkolenia, wymagań dotyczących przeprowadzania egzaminów, a także wzorów dokumentu potwierdzającego złożenie egzaminu z wynikiem pozytywnym, wniosku o wydanie certyfikatu i certyfikatów dla personelu.

**Wpływ emisji czynników chłodniczych na środowisko naturalne**

Bezpieczeństwo eksploatacji pomp ciepła oraz urządzeń chłodniczych sprowadza się w głównej mierze do kontroli szczelności instalacji oraz bezpiecznej dla środowiska wymianie starych, nieekologicznych czynników chłodniczych na proekologiczne lub naturalne. W tym zakresie konieczna jest również kontrola emisji tych substancji do atmosfery w razie niekontrolowanego rozszczelnienia urządzenia.

$$ODP_i = \frac{\text{globalne straty } O_3 \text{ ze względu na wielkość emisji } i \text{ – tej substancji}}{\text{globalne straty } O_3 \text{ ze względu na wielkość emisji czynnika R 11}}$$

Wpływ czynnika chłodniczego na niszczenie warstwy ozonowej określa jako potencjał niszczenia warstwy ozonowej: ODP (*Ozone Depletion Potential*). Wskaźnik ten został utworzony w celu określenia ilościowego wpływu różnych substancji na warstwę ozonową. Bazą porównawczą został czynnik chłodniczy R11 (CFC 11), w odniesieniu do którego wyznaczono ODP = 1. Wartości wskaźnika ODP w stosunku do wybranych substancji kontrolowanych, zostały podane w Protokole Montrealskim, w załączniku E do PN-EN 378-1 [5].

Potencjał niszczenia warstwy ozonowej w kontekście danego czynnika chłodniczego można wyliczyć na podstawie zależności półempirycznej [6]:

$$ODP_i = (\alpha n_{Br,i} + n_{Cl,i}) \frac{f_i}{f_{R11}} \times \frac{\tau_i}{\tau_{R11}} \times \frac{M_{R11}}{M_i} \times \frac{1}{3}$$

gdzie:

$f$  – współczynnik emisji do stratosfery substancji halogenowanych  $i$

$\tau$  – czas życia danej substancji

$M$  – masa molowa

$n_{Br,i}, n_{Cl,i}$  – liczba atomów bromu i chloru zawartych w mieszaninie

$\alpha$  – względna efektywność niszczenia ozonu atomów bromu w odniesieniu do atomów chloru (dla bromu  $\alpha = 45$ ), [6].

W celu oceny ilościowej wpływu czynników chłodniczych na efekt cieplarniany wprowadzono wskaźnik tzw. globalny potencjał tworzenia efektu cieplarnianego GWP (*Global Warming Potential*) – odniesiony do dwutlenku węgla, w przypadku którego GWP = 1. Wartość tego wskaźnika wyznaczana jest w określonym horyzoncie czasowym, zazwyczaj 100 lat.

Wartość wskaźnika GWP w odniesieniu do danej substancji można obliczyć z zależności [6]:

$$GWP_x(t') = \frac{\int_0^{t'} F_x \exp\left(\frac{-t}{\tau_x}\right) dt}{\int_0^{t'} F_{CO_2} R(t) dt}$$

gdzie:

$t'$  – określony horyzont czasowy

$F_x$  – promieniowanie cieplne (ang.: *radiative forcing*) dla jednostki masy substancji

$F_{CO_2}$  – promieniowanie cieplne ditlenku węgla.

W celu dokonania oceny wpływu instalacji chłodniczych oraz pomp ciepła na globalne ocieplenie wprowadzono wskaźnik TEWI (*Total Equivalent Warming Impact*) – całkowity równoważny wskaźnik tworzenia efektu cieplarnianego. Wszystkie czynniki chłodnicze zawierające fluor w swej budowie należą do gazów cieplarnianych. Ich emisja do atmosfery ma duży wpływ na występowanie efektu cieplarnianego.

W tab. 2. przedstawiono wartości ODP i GWP dla wybranych syntetycznych i naturalnych czynników chłodniczych.

Obecnie projektowanie instalacji chłodniczej lub pompy ciepła odbywa się ze szczególnym uwzględnieniem rodzaju czynnika chłodniczego, który będzie ona zawierała. Rodzaj czynnika chłodniczego determinuje przede wszystkim wydajność i efektywność pracy urządzenia. Ma wpływ na stosowane zabezpieczenia w maszynowni chłodniczej, zwłaszcza w przypadku naturalnych

Tabela 2. Wskaźniki środowiskowe niektórych czynników chłodniczych [2]

Table 2. Environmental indicators of some refrigerants [2]

Czynnik chłodniczy – syntetyczny	ODP	GWP	Czynnik chłodniczy – naturalny	ODP	GWP
Jednostka	[R 11=1]	[100 lat]	Jednostka	[R 11=1]	[100 lat]
R 11	1	4000	R 717 (amoniak)	0	0
R 12	1,0 (0,82)	8500	R 744 (CO <sub>2</sub> )	0	1
R 22	0,055	1700	R 718 (woda)	0	NA
R 113	0,8	5000	R 170 (etan)	0	3
R 114	1	9300	R 290 (propan)	0	3
R 124	0,022	480	R 600 (butan)	0	3
R 134a	0	1300	R 600a (izobutan)	0	3
R 225ca			R 1150 (etylen, eten)	0	NA
R 404A	0	3260	R 1270 (propen)	0	NA
R 407C	0	1600	R 723	0	8
R 410A	0	1890	R E170 (eter dimetylowy)	0	
R 152a	0	140			
R 227ea	0	3500			
R 143a	0	4400			
R 1234yf	0	4			

Tabela 3. Zasady doboru czynnika chłodniczego [2]

Table 3. Rules for selection of the refrigerant [2]

Właściwości chemiczne wpływające na niezawodność instalacji	Właściwości ekologiczne determinujące wpływ czynnika na środowisko naturalne
<ul style="list-style-type: none"> <li>• duża stabilność</li> <li>• minimalna aktywność w stosunku do materiałów konstrukcyjnych</li> <li>• niepalny, nietworzący mieszanin wybuchowych z powietrzem</li> <li>• minimalna rozpuszczalność w olejach smarnych</li> <li>• niska rozpuszczalność wody</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zerowa wartość wskaźnika ODP</li> <li>• nietoksyczny zarówno w odniesieniu do zdrowia człowieka, jak i środowiska naturalnego</li> <li>• możliwie najniższa wartość wskaźnika GWP (GWP ≤ 150)</li> <li>• wysoka efektywność energetyczna</li> </ul>

czynników, takich jak R 717 (amoniak) czy pochodne węglowodorów (propan, butan, izobutan i ich mieszaniny).

Wyciek, zwłaszcza amoniaku, może być niebezpieczny dla zdrowia i życia ludzi oraz powodować degradację środowiska. Dodatkowo istnieją czynniki chłodnicze (CO<sub>2</sub>) które wymagają specjalnych konstrukcji urządzeń oraz przewodów cieczowych i gazowych. Wynika to z ich właściwości fizykochemicznych, które powodują, że substancja staje się użyteczna termodynamicznie tylko pod bardzo wysokim ciśnieniem. Przykładowo, samochodowa instalacja klimatyzacyjna wypełniona CO<sub>2</sub> w samochodach jednej ze znanych niemieckich marek pracuje pod ciśnieniem powyżej 100 barów. Jest to ciśnienie około 10 razy wyższe niż w przypadku czynnika R 134a, obecnie jeszcze stosowanego (wypieranego przez R 1234yf na mocy rozporządzeń unijnych).

W tab. 3. przedstawiono ogólne zasady, którymi należy się kierować podczas doboru czynnika chłodniczego, zarówno pod względem ekologicznym, jak i niezawodnościowym. Ogólne zasady doboru czynnika chłodniczego zawarte są również w PN-EN 378-1 [5].

Wskaźnik TEWI wskazuje trzy obszary działalności człowieka związanej z eksploatacją urządzeń chłodniczych i pomp ciepła. Za jego pomocą dokonuje się oceny wpływu eksploatacji tych urządzeń na proces globalnego ocieplenia atmosfery, uwzględniając bezpośrednią emisję czynnika chłodniczego do atmosfery oraz pośredni wpływ emisji ditlenku węgla podczas wytwarzania energii niezbędnej do działania urządzeń chłodniczych i pomp ciepła w okresie odpowiadającym ich trwałości eksploatacyjnej. Podejście takie zaprezentowane jest w PN-EN 378. Wartość wskaźnika TEWI określa się na podstawie wzoru:

$$TEWI = (GWP \times L \times n) + (GWP \times m \times [1 - \alpha_{rec}]) + (n \times E_{an} \times \beta)$$

gdzie:

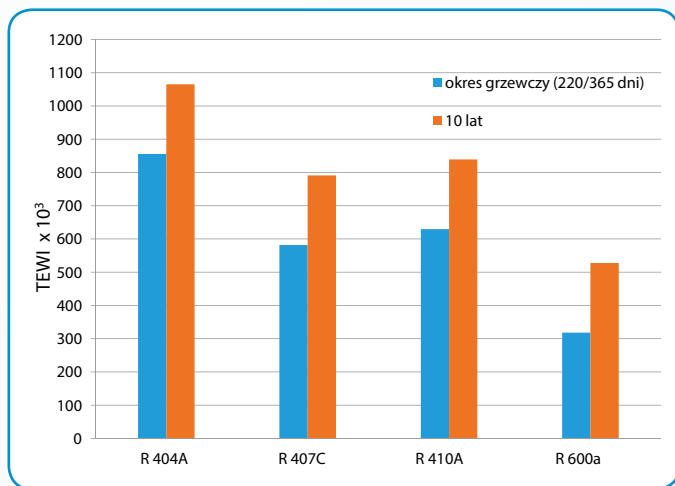
$GWP$  – globalny potencjał ocieplenia, odniesiony do CO<sub>2</sub>

$L$  – roczne straty czynnika przez nieszczelności, [kg], [%]

$n$  – czas eksploatacji urządzenia [lata]

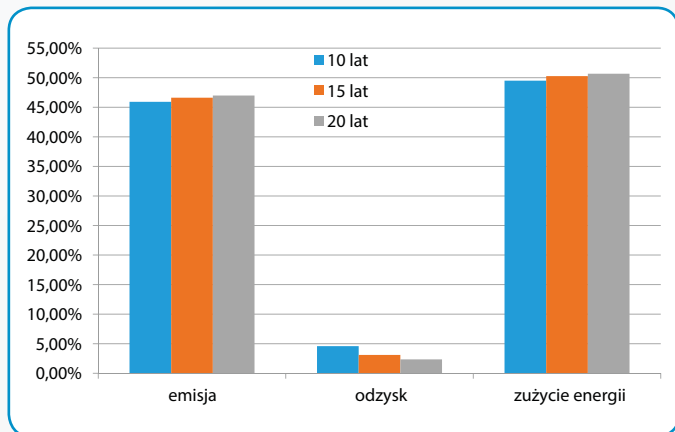
Tabela 4. Udział czynnikowy i energetyczny we wskaźniku TEWI wodnej pompy ciepła w odniesieniu do wybranych czynników chłodniczych: R 404A, R 407C, R 410A i R 600a [7]  
 Table 4. Participation factorial and energetic in an TEWI index water source heat pumps for selected refrigerants R-404A, R-407C, R-410A and R-600a [7]

czynnik chłodniczy	GWP	(GWP*L*n) emisja	GWP*m* (1- $\alpha$ ) odzysk	( $\beta$ *n+E) energia	suma TEWI
R 404A	3260	45,91%	4,59%	49,50%	106514,25
R 407C	1600	30,33%	3,03%	66,63%	79124,25
R 410A	1890	33,79%	3,38%	62,83%	83909,25
R 600a	3	0,09%	0,01%	99,91%	52773,75



Rys. 2. Wartość wskaźnika TEWI w odniesieniu do instalacji wodnej pompy ciepła pracującej z różnymi czynnikami chłodniczymi [7]

Fig. 2. Value TEWI index for the installation of a water source heat pump working with various refrigerants [7]



Rys. 3. Składowe wskaźnika TEWI dotyczące trzech ram czasowych eksploatacji urządzenia pracującego z czynnikiem chłodniczym R 404A [7]

Fig. 3. Component TEWI index for three timeframes exploitation device working with refrigerant R-404A [7]

$m$  – wielkość napełnienia czynnikiem [kg]

$\alpha_{rec}$  – stopień odzysku/uzdatniania (0÷1)

$\beta$  – wskaźnik emisji CO<sub>2</sub> podczas produkcji energii [kg/kWh]

$E_{an}$  – roczne zużycie energii [kWh].

Wskaźnik TEWI ujmuje zarówno stosunkowo łatwe do określenia wartości składowych powiązanych z zużyciem energii czy wpływem strat odzysku, jak również znacznie trudniejszą do oszacowania wartość składowej uwzględniającej wpływ strat powstających w wyniku nieszczelności. Należy zauważyć, że określenie wartości wskaźnika TEWI daje również interesującą możliwość porównań w odniesieniu do tych samych zastosowań nie tylko wpływu na proces

globalnego ocieplenia alternatywnych czynników chłodniczych, ale i również wpływu zmian konstrukcyjnych prowadzących do ograniczenia zużycia energii.

Wskaźnik TEWI obliczono w stosunku do wodnej pompy ciepła, bazując na danych uzyskanych podczas jej eksploatacji. Dodatkowo przeanalizowano wpływ urządzenia na tworzenie efektu cieplarnianego zestawiając alternatywne czynniki chłodnicze [7].

Obliczenia przeprowadzono przy następujących założeniach:

- czynnik chłodniczy: R 404A, R 407C, R 410A, R 600a
- GWP – zgodnie z tab.2.
- $L = 1,5$  [kg] (10%)
- $m = 15$  kg
- $n = 10$  lat
- $\alpha_{rec} = 0,9$
- $\beta = 0,963$  kg/kWh [7]
- $N_{spr} = 1,5$  kW
- $\tau = 10$  h / 24 h.

Interpretując wyniki obliczeń można stwierdzić, że wskaźnik TEWI określa ilość CO<sub>2</sub> wyrażoną w kg (lub w tonach), wytwarzaną w okresie eksploatacji urządzenia. Jako horyzont czasowy przyjęto 10 lat oraz okres odpowiadający sezonowi grzewczemu w odniesieniu do miasta Szczecin w ciągu roku – 220 dni x 10. Okres 10 lat przewiduje pracę urządzenia z możliwością chłodzenia latem (rewersyjna pompa ciepła). Wyniki obliczeń przedstawiono na rys. 2.

Dokonując interpretacji uzyskanych wyników można stwierdzić, że praca wodnej pompy ciepła z czynnikiem chłodniczym R 404A w okresie 10 lat równoważy emisję ok. 1065 ton CO<sub>2</sub> do atmosfery. Przyjmując ramy czasowe okresu grzewczego, który szacowany jest w odniesieniu do miasta Szczecin, wartość wskaźnika TEWI spada do ok. 856 ton CO<sub>2</sub> w stosunku do okresu równoważnego 10 okresom grzewczym. Pewną alternatywą dla obecnego czynnika chłodniczego jest R 407C lub R 600a, które wykazują mniejszy negatywny wpływ na środowisko naturalne niż R 404A oraz, jak wynika z analiz teoretycznych, pompy ciepła uzyskują wyższą efektywność energetyczną niż R 404A, przy tych samych parametrach pracy. Ich potwierdzenie wymagałoby jednak przeprowadzenia odpowiednich badań eksperymentalnych.

Z definicji wskaźnika TEWI wynika, że w odniesieniu do czynników chłodniczych o niskim GWP największym problemem jest składowa emisja CO<sub>2</sub> przy produkcji energii elektrycznej. W przypadku czynników z wysokim GWP, takich jak m.in. R 404A, składowa uwzględniająca wpływ zużycia energii praktycznie równoważy się ze składową uwzględniającą wpływ strat nieszczelności. W takich przypadkach zabiegi zmierzające do zminimalizowania wartości wskaźnika TEWI, jak w przypadku czynników o niskim GWP, polegają jedynie na ograniczeniu emisji CO<sub>2</sub> powstałego na skutek produkcji energii elektrycznej. Składowa uwzględniająca wpływ strat nieszczelności może zostać nieznacznie zmniejszona poprzez regularny dozór nad pracą instalacji oraz szczegółową kontrolą szczelności urządzenia.

W tab. 4. przedstawiono procentowy udział poszczególnych składowych wskaźnika TEWI w odniesieniu do analizowanych przypadków.

Analizując pracę instalacji wodnej pompy ciepła na przestrzeni różnych horyzontów czasowych zauważa się zmianę procentowego udziału poszczególnych składowych wskaźnika TEWI w tworzeniu efektu cieplarnianego. Składowa uwzględniająca wpływ strat odzysku jest najmniej podatna na czas eksploatacji urządzenia. W miarę jego wydłużania, wartość związana z czasem eksploatacji traci na znaczeniu kosztem dwóch pozostałych składowych, których wartość jest od niego uzależniona. Na rys. 3. przedstawiono graficznie kształtowanie się udziału procentowego składowych wskaźnika TEWI w odniesieniu 3 ram czasowych: 10, 15 i 20 lat eksploatacji urządzenia, w którym zastosowano czynnik chłodniczy R 404A.

Jak pokazują wyniki obliczeń, użycie czynnika chłodniczego R 404A nie jest najlepszym rozwiązaniem z punktu widzenia jego wpływu na degradację środowiska naturalnego. Wysoki wskaźnik GWP na tle innych czynników chłodniczych bezpośrednio wpływa bowiem na wysoką wartość wskaźnika TEWI.

## Podsumowanie

Eksploatacja instalacji chłodniczych i pomp ciepła naraża niewątpliwie wielu problemów. Należy dbać o bezawaryjną pracę tych urządzeń. Jak wynika z przeprowadzonych analiz, znaczenie dla bezpieczeństwa środowiska naturalnego ma nie tylko szczelność instalacji, ale również zużycie energii elektrycznej, do napędu sprężarek, pomp i wentylatorów.



Ilość powierzchni klimatyzacyjnej rośnie w ogromnym tempie. Większość nowo budowanych obiektów komercyjnych, takich jak hotele, banki, biurowce, baseny, itp., posiada instalację klimatyzacyjną, która wyposażona jest w instalację chłodniczą i grzewczą (np. pompę ciepła). Obecnie na 5 mieszkańców naszej planety przypada jedna chłodziarka domowa, przy czym przewiduje się, że w roku 2030 jedna chłodziarka przypadać będzie na 3 mieszkańców Ziemi [8]. Rocznie na świecie sprzedaje się ok. 100 mln tych urządzeń [8]. Coraz częściej decydujemy się na ogrzewanie za pomocą pomp ciepła, ich sprzedaż w Polsce co roku się zwiększa [9]. Obecnie już ponad 95% nowych samochodów w UE posiada klimatyzację [10]. Wszystkie te informacje wymuszają na nas poszukiwanie nowych proekologicznych rozwiązań technologicznych, nowych czynników chłodniczych, które nie będą zwiększały efektu cieplarnianego, a dodatkowo nie będą wpływały negatywnie na zdrowie i życie ludzi. Wyzwaniem jest również produkcja energii elektrycznej, niezbędnej do zasilania takich systemów. Bezpieczeństwo energetyczne powinno opierać się o zrównoważony rozwój nowoczesnych technologii energetyki tradycyjnej (opartej o węgiel kamienny i brunatny), odnawialnych źródeł energii oraz energetykę atomową.

Jak wynika z przedstawionych w artykule informacji, najwyższy udział w tworzeniu efektu cieplarnianego posiada składowa emisyjność oraz składowa zużycia energii. Bezpośredni wpływ na taki układ ma wartość GWP czynników chłodniczych. Można zauważyć, że dwa czynniki chłodnicze o zbliżonej wartości GWP (R 410A i R 407C) mają podobny procentowy udział składowych w całkowitej wartości wskaźnika TEWI. Czynniki chłodnicze o biegunowo różnej wartości GWP (R 404A i R 600a) mają inne procentowo proporcje składowych TEWI. W odniesieniu do R 404A o wysokim GWP składowe emisyjności i zużycia energii mają zbliżone procentowo wartości. W przypadku R 600a składowa emisyjność praktycznie nie odgrywa roli (podobnie jak składowa odzysku) w końcowej wartości wskaźnika TEWI.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2015/2067 z dnia 17 listopada 2015 r. ustanawiające, zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 517/2014, minimalne wymagania i warunki wzajemnego uznawania certyfikacji osób fizycznych w odniesieniu do stacjonarnych urządzeń chłodniczych, klimatyzacyjnych i pomp ciepła oraz agregatów chłodniczych samochodów ciężarowych i przyczep chłodni, zawierających fluorowane gazy cieplarniane, a także certyfikacji przedsiębiorstw w odniesieniu do stacjonarnych urządzeń chłodniczych, klimatyzacyjnych i pomp ciepła zawierających fluorowane gazy cieplarniane
- [2] Chmielowski M., Filin S., Łokietek T., Tuchowski W., Wasiutinski S., Zakrzewski B., Zeńczak W., Złoczowska E. *Chłodnictwo i Klimatyzacja*. Tom I. pod red. B. Zakrzewskiego. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Techniki Morskiej i Transportu. Odessa, Astroprint 2015
- [3] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1005/2009 z dnia 16 września 2009 r. w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową. Dz. Urz. UE L 286 z 31.10.2009, str. 1, z późn. zm.
- [4] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 517/2014 z dnia 16 kwietnia 2014 r. w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych i uchylenia rozporządzenia (WE) nr 842/2006
- [5] Norma PN-EN 378 – Instalacje ziębnicze i pompy ciepła – Wymagania dotyczące bezpieczeństwa i ochrony środowiska – Część 1: Wymagania podstawowe, definicje, klasyfikacja i kryteria wyboru
- [6] Daniel J.S., Velders G.J.M. *Halocarbon Scenarios, Ozone Depletion Potentials, and Global Warming Potentials*, Final Release: February 2007, from Scientific Assessment of Ozone Depletion 2006
- [7] Rozprawa doktorska dr inż. W. Tuchowskiego *Badania eksperymentalne efektywności pompy ciepła wykorzystującej utajone ciepło zamrażania wody*. Wydział Techniki Morskiej i Transportu, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, 2015
- [8] Barthel C., Gotz T. *The overall worldwide saving potential from domestic refrigerators and freezers. With results detailed for 11 world regions*. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, Application Guide – 12/2012
- [9] Lachman P. *Rośnie europejski rynek pomp ciepła*. „Pompy Ciepła i Kolektory Słoneczne – Rynek” <http://portpc.pl/artykuly>
- [10] Łokietek T., Tuchowski W., Zakrzewski B. *Wpływ na atmosferę samochodowych urządzeń klimatyzacyjnych*. „Chłodnictwo” 2014, 6:26-30

## NOWA KAMPANIA SPOŁECZNA CIOP-PIB



Współcześni młodzi pracownicy, zwani m.in. pokoleniem Y, Millenialsami, a ostatnio także Slashies, koncentrują uwagę badaczy nie tylko procesów społecznych, lecz także środowiska pracy. Ci młodzi ludzie, którym przyszło dojrzywać w okresie ekspansji technologicznej i – wydawałoby się – nieograniczonych możliwości rozwoju, nie zawsze potrafią znaleźć się w klasycznie rozumianym świecie pracy i zaakceptować hierarchię zawodową czy zadaniowy styl kierowania ludźmi.

Części pracodawców trudno ich zrozumieć, znaleźć z nimi wspólny język i zachęcić do aktywnego uczestnictwa w realizowanych projektach, także tych służących poprawie bezpieczeństwa pracy. Przepaść światopoglądową między młodymi pracownikami a pokoleniem 50+ dodatkowo pogłębia beztroskie, zdaniem niektórych, podejście „młodych” do terminów, zakresu i formy realizacji powierzonych zadań.

Z drugiej strony, pracodawcy zatrudniający przedstawicieli młodego pokolenia doceniają coraz częściej takie ich cechy, jak wrażliwość, ambicja, zaangażowanie, dystans do siebie, chęć rozwoju i pomagania innym.

Współcześni młodzi pracownicy pozornie różnią się od swoich starszych kolegów i koleżanek, ale analiza danych statystycznych dotyczących warunków pracy wskazuje, że pewne tendencje, takie jak choćby związek między występowaniem wypadków przy pracy a młodym wiekiem i krótkim stażem zawodowym, pozostają niezmiennie.

W 2017 r. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy organizuje **ogólnopolską kampanię społeczną pn. „Bezpiecznie od początku”**, poświęconą problemowi bezpieczeństwa pracy pracowników młodych i niedoświadczonych. Kampania jest realizowana od marca do grudnia tego roku.

Celem kampanii będzie poszukiwanie odpowiedzi na liczne pytania związane z bezpieczeństwem pracy:

- Jak zainteresować młodych pracowników tematem poprawy bezpieczeństwa pracy?
- Jak przybliżyć młodym pracownikom tematykę bezpieczeństwa pracy?
- Jak troszczyć się o bezpieczeństwo pracy osób, których się nie rozumie?
- Jak projektować stanowiska pracy dla pracowników, którzy oczekują od pierwszej pracy nie tylko wyzwań, ale i odpowiedniego komfortu?
- Jak budować zespoły pracownicze z osób reprezentujących różne pokolenia i organizować ich pracę tak, aby nie stwarzała zagrożenia dla ich zdrowia i życia?

## KOORDYNATOR DZIAŁAŃ KAMPANII

Agnieszka Szczygielska, Ośrodek Promocji i Wdrażania CIOP-PIB  
tel. 22 623 36 86, fax: 22 623 32 64  
e-mail: [agnieszka.szczygielska@ciop.pl](mailto:agnieszka.szczygielska@ciop.pl)  
strona internetowa kampanii: [www.ciop.pl/bezpieczny-początek](http://www.ciop.pl/bezpieczny-początek)