



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Świętokrzyska
Wydział Mechatroniki
i Budowy Maszyn

Kierunek studiów:
mechanika i budowa maszyn

Magdalena Piasecka

Materiały dydaktyczne do przedmiotu

Mechanika Płynów

opracowane w ramach realizacji Projektu
**„Dostosowanie kształcenia
w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb
współczesnej gospodarki”**
FERS.01.05-IP.08-0234/23

Kielce, 2025



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

*Projekt „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki”
nr FERS.01.05-IP.08-0234/23*



Spis treści

1. Wprowadzenie	3
2. Najważniejsze aspekty związane z czynnikami chłodniczymi stosowanym w chłodnictwie i klimatyzacji	4
2.1. Ogólne wymagania stawiane czynnikom chłodniczym stosowanym w chłodnictwie i klimatyzacji	4
2.2. Nazewnictwo czynników chłodniczych	7
2.3. Podział czynników chłodniczych ze względu na skład i budowę cząsteczkową.....	9
2.4. Fluorowane gazy cieplarniane (F-gazy)	10
3. Przepisy prawne regulujące stosowanie płynów chłodniczych.....	16
3.1. Protokoły z Montrealu i Kioto	16
3.2. Dyrektywa F-Gazowa UE.....	18
3.3. Porozumienie Paryskie	18
3.4. Aktualne rozporządzenia Parlamentu Europejskiego dotyczące ograniczeń stosowania F-gazów	19
4. Podsumowanie	23
Literatura	23



Utwór objęty licencją Creative Commons BY 4.0.

Licencja dostępna pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. Wprowadzenie

Wiele urządzeń wykorzystywanych w branży mechatronicznej oraz inżynierii maszyn realizuje w swoim cyklu pracy obiegi termodynamiczne przy użyciu czynników roboczych. Na rynku dostępne są różnorodne czynniki, które mogą być stosowane w zależności od wymaganych parametrów temperaturowych. Obieg czynnika roboczego zazwyczaj odbywa się w zamkniętych rurociągach lub przewodach, szczelnie połączonych z elementami aparatury, co zapewnia zarówno bezpieczeństwo, jak i efektywność działania.

W dobie rosnącej świadomości ekologicznej i wzmagających się wysiłków na rzecz ochrony środowiska, tematy związane z emisją gazów cieplarnianych i ich wpływem na klimat stają się coraz bardziej istotne. Jednym z kluczowych aspektów tej problematyki są czynniki chłodnicze, które odgrywają znaczącą rolę w wielu gałęziach przemysłu. W szczególności fluorowane gazy cieplarniane (tzw. F-gazy) budzą szczególne zainteresowanie ze względu na ich wyjątkowo silny efekt cieplarniany.

Niniejsze materiały stanowią uzupełnienie treści przedmiotu "Mechanika Płynów" dla studentów Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej. Kurs realizowany jest na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych na kierunku mechanika i budowa maszyn. Skoncentrowano się w nich na charakterystyce czynników chłodniczych, skupiając się na ich wpływie na środowisko oraz na konkretnej grupie – fluorowanych gazach cieplarnianych. Omówione zostaną ich typy, zastosowania oraz regulacje prawne mające na celu ograniczenie ich emisji. Rozszerzenie podstawowych treści kursu "Mechanika Płynów", realizowanego w poprzednich latach akademickich, pozwoli to studentom na zdobycie nowej wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych, a także lepsze zrozumienie wyzwań, przed jakimi stoi współczesny świat w kontekście zmieniającego się klimatu i poszukiwania bardziej zrównoważonych rozwiązań technologicznych. Zdobycie wiedzy w zakresie czynników chłodniczych i gazów cieplarnianych to ważny element edukacji ekologicznej. Student, który rozumie przepływ płynów chłodniczych w zamkniętych przewodach, w kontekście ich wpływu na warstwę ozonową, może lepiej ocenić oddziaływanie tych procesów na środowisko. Wiedza na temat różnych rodzajów czynników chłodniczych, w tym fluorowanych gazów cieplarnianych, pozwala studentowi zrozumieć ich rolę w zmianach klimatycznych oraz oceniać i stosować technologie zgodne z obowiązującymi przepisami. Student, który zna przepisy dotyczące fluorowanych gazów cieplarnianych, w szczególności ograniczenia i wymagania dyrektyw, rozporządzeń unijnych oraz krajowego ustawodawstwa, jest przygotowany do działania zgodnie z regulacjami prawnymi. Znajomość tych



przepisów umożliwia interpretację wymogów dotyczących fluorowanych gazów cieplarnianych, co jest kluczowe dla wdrażania zrównoważonych i ekologicznych rozwiązań technologicznych. Jednocześnie, student jest świadomy wpływu, jaki przechowywanie i transport płynów mają na środowisko naturalne oraz znaczenia gazów cieplarnianych. Ta świadomość przekłada się na odpowiedzialne podejście do ochrony środowiska i pozwala na podejmowanie świadomych decyzji zawodowych i prywatnych, które wspierają zrównoważony rozwój i ochronę naszej planety.

2. Najważniejsze aspekty związane z czynnikami chłodniczymi stosowanym w chłodnictwie i klimatyzacji

2.1. Ogólne wymagania stawiane czynnikom chłodniczym stosowanym w chłodnictwie i klimatyzacji

Czynniki robocze stosowane w systemach chłodnictwa i klimatyzacji muszą spełniać szereg wymagań technicznych oraz środowiskowych, aby zapewnić ich efektywne i bezpieczne działanie. Wśród najważniejszych ogólnych wymagań stawianych czynnikom chłodniczym można wymienić:

- **właściwości termodynamiczne:** czynniki chłodnicze muszą posiadać odpowiednie właściwości termodynamiczne, takie jak wysoka entalpia parowania, niskie temperatury wrzenia oraz stabilność chemiczna w szerokim zakresie temperatur i ciśnień; ważne jest, aby czynnik chłodniczy mógł efektywnie przenosić ciepło i realizować cykl chłodniczy przy minimalnych stratach energetycznych;
- **bezpieczeństwo:** czynniki chłodnicze muszą być bezpieczne w użyciu; obejmuje to niski poziom toksyczności, minimalną palność oraz brak reaktywności chemicznej z materiałami stosowanymi w systemach chłodnictwa i klimatyzacji; w przypadku wycieku czynnika, nie powinien on stanowić zagrożenia dla zdrowia ludzi oraz środowiska;
- **wpływ na środowisko:** czynniki chłodnicze powinny być przyjazne dla środowiska; ważnym aspektem jest niski potencjał niszczenia ozonu (ODP) oraz niski potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP); czynniki chłodnicze, które mają negatywny wpływ na warstwę ozonową lub przyczyniają się do globalnego ocieplenia, są stopniowo wycofywane z rynku na rzecz bardziej ekologicznych alternatyw;
- **efektywność energetyczna:** czynniki chłodnicze muszą zapewniać wysoką efektywność energetyczną systemów klimatyzacji i chłodnictwa; obejmuje to zarówno efektywne przenoszenie ciepła, jak i minimalizację strat energetycznych





w cyklu chłodniczym (wysoka efektywność energetyczna przekłada się na niższe koszty eksploatacji oraz mniejszy wpływ na środowisko);

- zgodność z przepisami i normami: czynniki chłodnicze muszą spełniać obowiązujące przepisy i normy dotyczące ochrony środowiska, bezpieczeństwa oraz efektywności energetycznej; w Unii Europejskiej obowiązują liczne dyrektywy oraz rozporządzenia regulujące stosowanie czynników chłodniczych, takie jak rozporządzenia EU w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych (omówione w kolejnej części materiałów).

Wprowadzenie odpowiednich czynników chłodniczych, spełniających powyższe wymagania, jest kluczowym elementem w zapewnieniu zrównoważonego rozwoju technologii chłodniczych i klimatyzacyjnych. Dzięki temu możliwe jest osiągnięcie wysokiej efektywności energetycznej, minimalizacja wpływu na środowisko oraz zapewnienie bezpieczeństwa użytkowników.

Tytułem uzupełnienia, poniżej omówiono współczynniki **GWP - Potencjał Globalnego Ocieplenia** (ang. *Global Warming Potential*) oraz **ODP - Potencjał Niszczenia Warstwy Ozonowej** (ang. *Ozone Depletion Potential*), które są kluczowymi wskaźnikami stosowanymi w ocenie wpływu różnych substancji chemicznych na środowisko:

- **współczynnik GWP** wskazuje, jak dużo ciepła dana substancja jest w stanie zatrzymać w atmosferze w określonym czasie w porównaniu do dwutlenku węgla, którego wartość GWP wynosi 1; im wyższa wartość GWP, tym większy potencjał substancji do przyczyniania się do globalnego ocieplenia;
- **współczynnik ODP** określa zdolność substancji do niszczenia stratosferycznej warstwy ozonowej w porównaniu do trichlorofluorometanu (CFC-11), który ma wartość ODP równą 1; substancje z wyższymi wartościami ODP mają większy potencjał niszczenia warstwy ozonowej.

Urządzenia wykorzystywane w klimatyzacji i chłodnictwie operują na czynnikach roboczych, które mogą mieć postać substancji jednorodnych lub roztworów. Cynniki te, często nazywane czynnikami chłodniczymi [1], występują zarówno w formie zeotropowej, jak i azeotropowej. Główna różnica między czynnikami zeotropowymi a azeotropowymi polega na ich zachowaniu podczas procesów parowania i skraplania. Cynniki zeotropowe charakteryzują się zmiennymi temperaturami wrzenia i skraplania oraz możliwością separacji składników w trakcie pracy, co wymaga bardziej zaawansowanego zarządzania procesem. Natomiast cynniki azeotropowe mają stałe temperatury wrzenia i skraplania, a skład mieszaniny nie zmienia się w trakcie pracy. Upraszcza to zarządzanie procesem i może zwiększać efektywność układów chłodniczych.



Do najważniejszych wymagań stawianych czynnikom roboczym, które są stosowane w klimatyzacji i chłodnictwie, należą [3]: niskie ciśnienia pracy, ciśnienie wyższe od ciśnienia atmosferycznego przy najniższych temperaturach występujących w układzie, niepalność, nietoksyczność, brak wywoływania korozji, kompatybilność z materiałami zastosowanymi w instalacji, wysoka jednostkowa wydajność przemiany fazowej (ciepło przemiany fazowej), neutralny wpływ na środowisko, stabilność chemiczna, dostępność oraz niska cena.

Norma ISO 817 *Refrigerants - Designation and safety classification* [4] przedstawia klasyfikacje, które pomagają w ocenie ryzyka związanego z używaniem czynników chłodniczych, zapewniając bezpieczne i efektywne zarządzanie procesami klimatyzacyjnymi i chłodniczymi.

Klasyfikacja bezpieczeństwa czynników chłodniczych pod względem palności i toksyczności zgodnie z normą ISO 817:2024 jest następująca [4]:

- Wysoce palne:
 - A3 (Niska toksyczność),
 - B3 (Wysoka toksyczność).
- Umiarkowana palność:
 - A2 (Niska toksyczność),
 - B2 (Wysoka toksyczność).
- Niska palność:
 - A2L (Niska toksyczność),
 - B2L (Wysoka toksyczność).
- Niepalne:
 - A1 (Niska toksyczność),
 - B1 (Wysoka toksyczność).

W technice najbardziej pożądane są czynniki z grupy A1 [1], które często charakteryzują się wysokimi współczynnikami GWP lub ODP, przez co ich stosowanie jest bardzo często zakazane.

Klasa bezpieczeństwa 3 (A3 lub B3) oznacza, że substancja lub roztwór posiada:

- dolną granicę wybuchowości (LFL) poniżej $0,1 \text{ kg/m}^3$,
- ciepło spalania większe lub równe 19000 kJ/kg .

Klasa bezpieczeństwa 2 (A2 lub B2), którą charakteryzuje:

- dolna granica wybuchowości (LFL) powyżej $0,1 \text{ kg/m}^3$,
- ciepło spalania mniejsze od 19000 kJ/kg .

W klasie 2 wyróżniono podklasę 2L (A2L i B2L), którą charakteryzuje:

- dolna granica wybuchowości (LFL) powyżej $0,1 \text{ kg/m}^3$,
- ciepło spalania mniejsze od 19000 kJ/kg ,
- prędkość spalania mniejsza lub równa 10 cm/s .



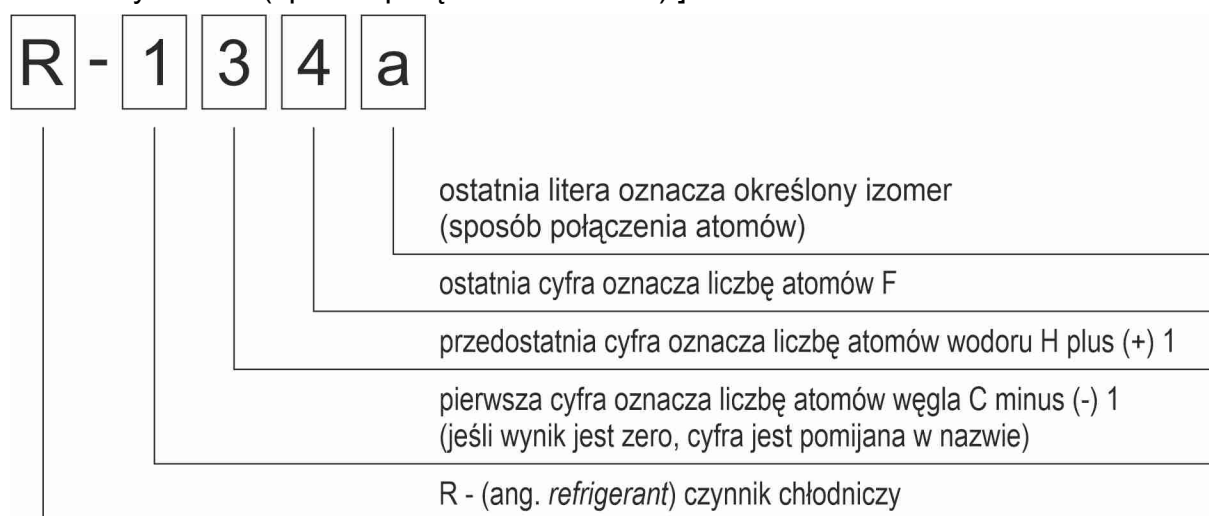
2.2. Nazewnictwo czynników chłodniczych

Nazwa czynnika chłodniczego (ang. *refrigerant*) rozpoczyna się od litery R.
W zależności od budowy chemicznej czynników chłodniczych można wyróżnić ich podstawowe grupy [1]:

- R + dwie cyfry (chlorowcowe pochodne metanu),
- R + 100 i więcej (chlorowcowe pochodne etanu),
- R + 200 i więcej (chlorowcowe pochodne propanu),
- RC + 300 i więcej (chlorowcowe pochodne cyklobutanu),
- R + 400 i więcej (mieszaniny i roztwory zeotropowe),
- R + 500 i więcej (mieszaniny i roztwory azeotropowe),
- R + 600 i więcej (związki organiczne),
- R + 700 i więcej (związki nieorganiczne),
- R + 1000 i więcej (chlorowcowe pochodne węglowodorów nienasyconych).

Rysunek 1 prezentuje sposób utworzenia nazwy czynnika chłodniczego R-134a, jako przykład tworzenia nazw dla czynników z grupy dwucyfrowej. Dla czynników, w których jest jeden atom węgla, pierwsza cyfra wynosi 0 i jest pomijana w nazwie.

[Tekst alternatywny. Na rysunku pokazano sposób tworzenia nazwy czynnika chłodniczego R-134a, wyjaśniając co oznaczają poszczególne elementy nazwy, jak następuje: „R” – czynnik chłodniczy (ang. *refrigerant*); „1” – pierwsza cyfra oznacza liczbę atomów węgla C minus (-) 1 (jeśli wynik jest zero, cyfra jest pomijana w nazwie); „3” – przedostatnia cyfra oznacza liczbę atomów wodoru H plus (+) 1; „4” – ostatnia cyfra oznacza liczbę atomów fluoru F; „a” – ostatnia litera oznacza określony izomer (sposób połączenia atomów).]

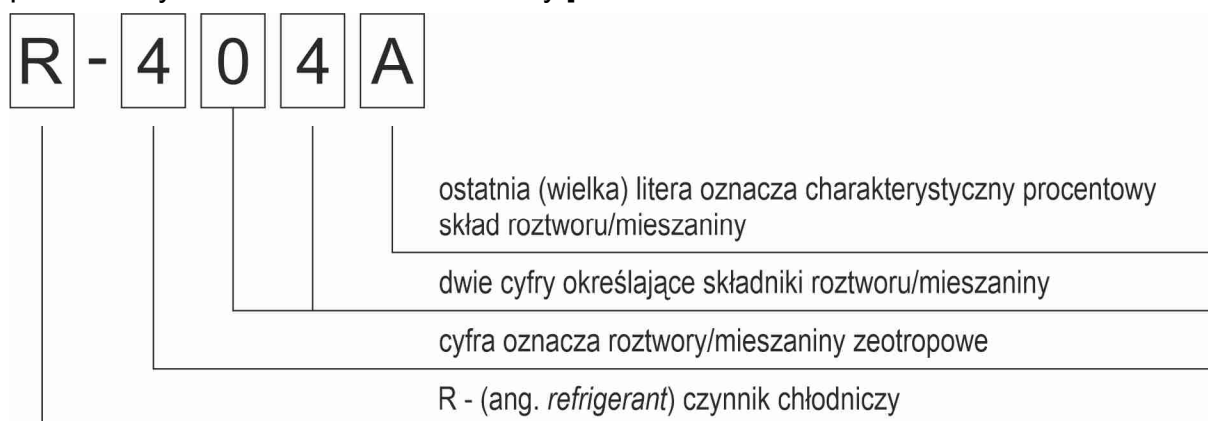


Rys. 1. Tworzenie nazwy czynnika chłodniczego R-134a [1],[3].



Na rysunku 2 przedstawiono zasadę tworzenia oznaczeń czynników roboczych z grupy R-1000+. Pierwsze trzy cyfry to nadany numer z informacją, z jakich składników jest tworzona mieszanina czy roztwór, a duża litera powiązana jest z informacją jakie są udziały poszczególnych składników.

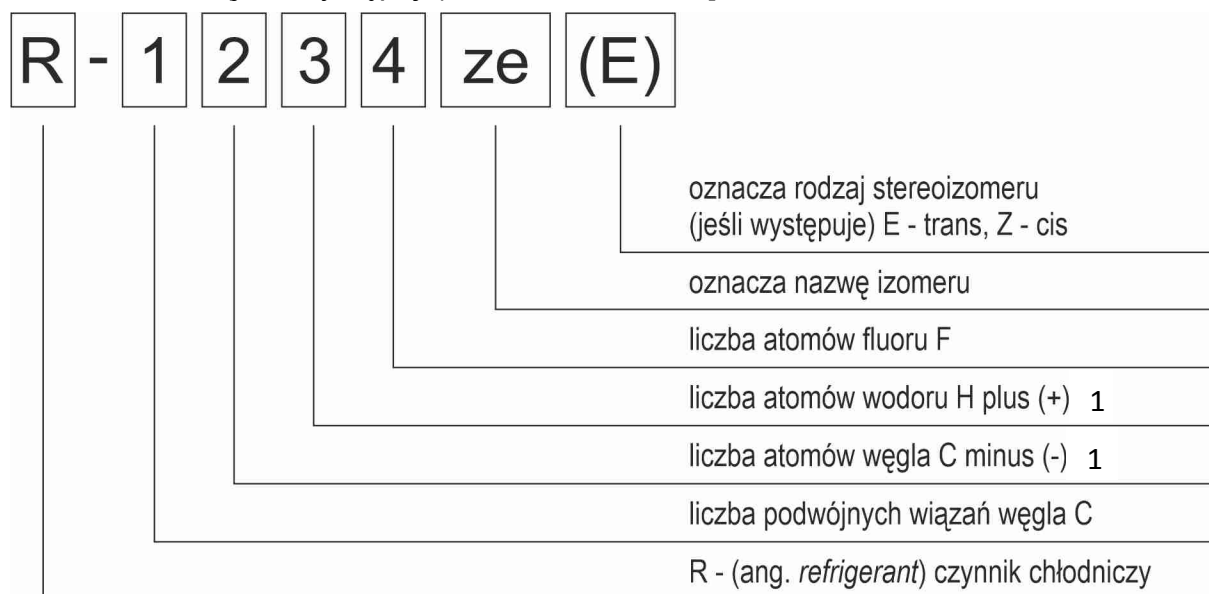
[Tekst alternatywny. Na rysunku pokazano sposób tworzenia nazwy czynnika chłodniczego R-404a, wyjaśniając co oznaczają poszczególne elementy nazwy, jak następuje: "R" – czynnik chłodniczy (ang. *refrigerant*); „4” – pierwsza cyfra oznacza roztwory/mieszaniny zeotropowe; „04” – dwie kolejne cyfry określają składniki roztworu/mieszaniny; „4” – ostatnia (wielka) litera oznacza charakterystyczny procentowy skład roztworu/mieszaniny.]



Rys. 2. Tworzenie nazwy czynnika chłodniczego R-404A [1],[3].

Przykład tworzenia nazw czynników z grupy R-1000+ prezentuje rysunek 3, na podstawie nazwy czynnika chłodniczego R-1234ze(E).

[Tekst alternatywny. Na rysunku pokazano sposób tworzenia nazwy czynnika chłodniczego R-1234ze(E), opisując co oznaczają poszczególne elementy nazwy, tj.: „R” – czynnik chłodniczy (ang. *refrigerant*); „1” – pierwsza cyfra oznacza liczbę podwójnych wiązań węgla C; „2” – kolejna cyfra oznacza liczbę atomów węgla C minus (-) 1; „3” – przedostatnia cyfra oznacza liczbę atomów wodoru H plus (+) 1; „4” – ostatnia cyfra oznacza liczbę atomów fluoru F; „ze” – litery oznaczają nazwę izomeru; (E) – ostatnia (wielka) litera w nawiasie okrągłym oznacza rodzaj stereoizomeru (jeśli występuje) E – trans, Z – cis.]



Rys. 3. Tworzenie nazwy czynnika chłodniczego R-1234ze(E) [1],[3].

2.3. Podział czynników chłodniczych ze względu na skład i budowę cząsteczkową

Czynniki chłodnicze można klasyfikować według kilku kryteriów, takich jak palność, toksyczność czy przynależność do grup czynników. Jednak jednym z najczęściej stosowanych podziałów jest klasyfikacja oparta na budowie cząsteczkowej [2], przy czym najczęściej spotykane grupy czynników chłodniczych są następujące:



1. CFC (chlorofluorowęglowodory) - substancje zawierające chlor, fluor i węgiel,
2. HCFC (wodorochlorofluorowęglowodory) - związki zawierające wodór, chlor, fluor i węgiel,
3. HFC (wodorofluorowęglowodory) - substancje zawierające wodór, fluor i węgiel, bez chloru,
4. HFO (wodorofluoroolefiny) - związki zawierające wodór, fluor i węgiel z wiązaniami podwójnymi,
5. HC (węglowodory) - węglowodory, w szczególności węglowodory nasycone,
6. Organiczne i nieorganiczne czynniki naturalne - naturalne związki chemiczne, które mogą być organiczne lub nieorganiczne.

Spośród wyżej wymienionych grup, cztery pierwsze to **F-gazy**, czyli **fluorowane gazy cieplarniane** (omówione w dalszej części rozdziału).

Należy dodać, iż do F-gazów zaliczamy ponadto PFC (perfluorowęglowodory, ang. *PerFluoroCarbon*) oraz SF₆ (heksafluorek siarki, ang. *Sulfur HexaFluoride*), jednakże nie są one powszechnie używane jako czynniki chłodnicze w przemyśle chłodniczym. Perfluorowęglowodory są stosowane głównie w specjalistycznych zastosowaniach przemysłowych, takich jak produkcja półprzewodników oraz w niektórych zastosowaniach medycznych. Heksafluorek siarki jest gazem o wyjątkowych właściwościach izolacyjnych i jest wykorzystywany głównie w przemyśle elektroenergetycznym, w szczególności w rozdzielnicach wysokiego napięcia. W przemyśle chłodniczym stosowane są wymienione w klasyfikacji węglowodory (HC) oraz naturalne czynniki chłodnicze, w tym dwa podstawowe naturalne czynniki chłodnicze (amoniak, dwutlenek węgla), które również nie zostaną omówione w opracowaniu. Amoniak wykorzystywany jest przede wszystkim w dużych przemysłowych instalacjach chłodniczych, natomiast dwutlenek węgla znajduje zastosowanie w urządzeniach o różnej skali – od kilku kW do kilku MW. Innym wykorzystaniem dwutlenku węgla są układy uzupełniania wody w systemach ciepłowniczych, gdzie gaz ten służy do demineralizacji wody, poprawiając jej jakość i wydajność systemów grzewczych. Woda jako czynnik chłodniczy jest również stosowana w wielu aplikacjach, zwłaszcza tam, gdzie występuje konieczność chłodzenia w dużych instalacjach, jest używana do chłodzenia maszyn, urządzeń oraz procesów technologicznych.

2.4. Fluorowane gazy cieplarniane (F-gazy)

Fluorowane gazy cieplarniane, zwane F-gazami, to grupa sztucznie wytwarzanych chemikaliów zawierających fluor. Są one szeroko stosowane w różnych zastosowaniach przemysłowych, takich jak czynniki chłodnicze, środki gaśnicze,





izolacyjne oraz w produkcji pianek i aerozoli. Ze względu na swoje właściwości chemiczne, F-gazy charakteryzują się dużą stabilnością i długim okresem życia w atmosferze, co przyczynia się do ich znaczącego wpływu na globalne ocieplenie. Główne grupy F-gazów szeroko stosowane w chłodnictwie obejmują CFC (chlorofluorowęglowodory), HCFC (wodorochlorofluorowęglowodory), HFC (wodorofluorowęglowodory) oraz HFO (wodorofluoroolefiny).

CFC (chlorofluorowęglowodory) były powszechnie stosowane w przeszłości, jednak ze względu na ich destrukcyjny wpływ na warstwę ozonową, ich stosowanie zostało w dużej mierze wyeliminowane na mocy Protokołu Montrealskiego. HCFC (wodorochlorofluorowęglowodory) są mniej szkodliwe dla warstwy ozonowej, ale nadal mają wpływ na globalne ocieplenie i są stopniowo wycofywane. HFC (wodorofluorowęglowodory) nie niszczą warstwy ozonowej, ale mają wysoki potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP). HFO (wodorofluoroolefiny) to nowsza generacja F-gazów o znacznie niższym GWP, co czyni je bardziej ekologiczną alternatywą dla tradycyjnych HFC. Poniżej zostaną omówione cztery grupy F-gazów, tj. CFC, HCFC, HFC oraz HFO.

CFC (ang. *ChloroFluoroCarbon*) (F-gaz -fluorowany gaz cieplarniany)

- Chlorofluorowęglowodory, to grupa w pełni halogenowych związków węgla, w których wszystkie atomy wodoru zostały zastąpione atomami chloru i fluoru.
- Związki te charakteryzują się dużą stabilnością chemiczną, co oznacza, że są bardzo trwałe i nie ulegają łatwo degradacji w środowisku.
- Ze względu na swoje właściwości, CFC były szeroko stosowane jako czynniki chłodnicze, środki gaśnicze oraz w produkcji pianek i aerozoli.
- Chlorofluorowęglowodory mają wysoki wskaźnik ODP, co oznacza, że przyczyniają się do degradacji warstwy ozonowej w stratosferze. Warstwa ozonowa chroni Ziemię przed szkodliwym promieniowaniem ultrafioletowym (UV), dlatego ograniczenie stosowania CFC jest kluczowe dla ochrony środowiska.

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 2024/590 z dnia 20 lutego 2024 r. w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową [6] wprowadza nowe przepisy dotyczące substancji zubożających warstwę ozonową (zastępując wcześniejsze regulacje zawarte w rozporządzeniu (WE) nr 1005/2009), w tym szereg restrykcji i regulacji dotyczących stosowania i emisji CFC. W tabeli 1 zaprezentowano czynniki robocze zaliczane do grupy CFC zgodnie z tym rozporządzeniem. Wprowadzenie alternatywnych, bardziej ekologicznych substytutów dla CFC jest jednym z działań mających na celu zmniejszenie ich negatywnego wpływu na warstwę ozonową.





Tabela 1. Substancje zubożające warstwę ozonową należące do kategorii CFC [1],[6]

Grupa	Substancja			ODP	GWP
Grupa I	CFCI3	CFC-11	Trichlorofluorometan	1,0	5 560
	CF2CI2	CFC-12	Dichlorodifluorometan	1,0	11 200
	C2F3CI3	CFC-113	Trichlorotrifluoroetan	0,8	6 520
	C2F4CI2	CFC-114	Dichlorotetrafluoroetan	1,0	9 430
	C2F5CI	CFC-115	Chloropentafluoroetan	0,6	9 600
Grupa II	CF3CI	CFC-13	Chlorotrifluorometan	1,0	16 200
	C2FCI5	CFC-111	Pentachlorofluoroetan	1,0	(*)
	C2F2CI4	CFC-112	Tetrachlorodifluoroetan	1,0	4 620
	C3FCI7	CFC-211	Heptachlorofluoropropan	1,0	(*)
	C3F2CI6	CFC-212	Heksachlorodifluoropropan	1,0	(*)
	C3F3CI5	CFC-213	Pentachlorotrifluoropropan	1,0	(*)
	C3F4CI4	CFC-214	Tetrachlorotetrafluoropropan	1,0	(*)
	C3F5CI3	CFC-215	Trichloropentafluoropropan	1,0	(*)
	C3F6CI2	CFC-216	Dichlorohexafluoropropan	1,0	(*)
	C3F7CI	CFC-217	Chloroheptafluoropropan	1,0	(*)

(*) Na podstawie materiałów uzupełniających, przyjętych przez Międzynarodowy Zespół ds. Zmian Klimatu IPCC w ramach szóstego raportu dokonującego oceny globalnego ocieplenia z roku 2021, rozdział 7: Bilans cieplny Ziemi, klimatyczne sprzężenie zwrotne oraz wrażliwość klimatu [1].

HCFC (ang. *HydroChloroFluoroCarbon*) (F-gaz -fluorowany gaz cieplarniany)

- Wodorochlorofluorowęglowodory to grupa substancji organicznych, w których nie wszystkie atomy wodoru zostały zastąpione przez atomy chloru i fluoru.
- Związki te są mniej stabilne chemicznie w porównaniu do CFC, co oznacza, że łatwiej ulegają rozkładowi w dolnych warstwach atmosfery. Z tego powodu charakteryzują się one niższym wskaźnikiem ODP.
- Mimo niższego wskaźnika ODP, HCFC nadal mają wpływ na warstwę ozonową, choć w mniejszym stopniu niż CFC. Dzięki temu są one stopniowo wycofywane i zastępowane bardziej ekologicznymi alternatywami. Jednym z najbardziej znanych czynników chłodniczych z tej grupy jest R-22 (HCFC-22), który był szeroko stosowany w systemach chłodniczych i klimatyzacyjnych.

W tabeli 2 przedstawiono czynniki robocze zaliczane do grupy HCFC zgodnie z rozporządzeniem 2024/590 [6].





Tabela 2. Substancje zubożające warstwę ozonową należące do kategorii HCFC [1],[6]

Grupa	Substancja			ODP	GWP
VIII	CHFCI ₂	HCFC-21	Dichlorofluorometan	0,040	160
	CHF ₂ CI	HCFC-22	Chlorodifluorometan	0,055	1 960
	CH ₂ FCI	HCFC-31	Chlorofluorometan	0,020	79,4
	C ₂ HFCI ₄	HCFC-121	Tetrachlorofluoroetan	0,040	58,3
	C ₂ HF ₂ CI ₃	HCFC-122	Trichlorodifluoroetan	0,080	56,4
	C ₂ HF ₃ CI ₂	HCFC- 123	Dichlorotrifluoroetan	0,020	90,4
	C ₂ HF ₄ CI	HCFC- 124	Chlorotetrafluoroetan	0,022	597
	C ₂ H ₂ FCI ₃	HCFC-131	Trichlorofluoroetan	0,050	30
	C ₂ H ₂ F ₂ CI ₂	HCFC-132	Dichlorodifluoroetan	0,050	122
	C ₂ H ₂ F ₃ CI	HCFC-133	Chlorotrifluoroetan	0,060	275
	C ₂ H ₃ FCI ₂	HCFC-141	Dichlorofluoroetan	0,070	46,6
	CH ₃ CFCI ₂	HCFC- 141b	1,1-dichloro-1-fluoroetan	0,110	860
	C ₂ H ₃ F ₂ CI	HCFC-142	Chlorodifluoroetan	0,070	175
	CH ₃ CF ₂ CI	HCFC- 142b	1-chloro-1,1-difluoroetan	0,065	2300
	C ₂ H ₄ FCI	HCFC-151	Chlorofluoroetan	0,005	10
	C ₃ HFCI ₆	HCFC-221	Heksachlorofluoropropan	0,070	110
	C ₃ HF ₂ CI ₅	HCFC-222	Pentachlorodifluoropropan	0,090	500
	C ₃ HF ₃ CI ₄	HCFC-223	Tetrachlorotrifluoropropan	0,080	695
	C ₃ HF ₄ CI ₃	HCFC-224	Trichlorotetrafluoropropan	0,090	1090
	C ₃ HF ₅ CI ₂	HCFC-225	Dichloropentafluoropropan	0,070	1560
	CF ₃ CF ₂ CH- CI ₂	HCFC- 225ca	3,3-dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoropropan	0,025	137
	CF ₂ CI ₂ CF ₂ CI- HCIF	HCFC- 225cb	1,3-dichloro-1,1,2,2,3-pentafluoropropan	0,033	568
	C ₃ HF ₆ CI	HCFC-226	Chlorohexafluoropropan	0,100	2455
	C ₃ H ₂ FCI ₅	HCFC-231	Pentachlorofluoropropan	0,090	350
	C ₃ H ₂ F ₂ CI ₄	HCFC-232	Tetrachlorodifluoropropan	0,100	690
	C ₃ H ₂ F ₃ CI ₃	HCFC-233	Trichlorotrifluoropropan	0,230	1495
	C ₃ H ₂ F ₄ CI ₂	HCFC-234	Dichlorotetrafluoropropan	0,280	3490
	C ₃ H ₂ F ₅ CI	HCFC-235	Chloropentafluoropropan	0,520	5320
	C ₃ H ₃ FCI ₄	HCFC-241	Tetrachlorofluoropropan	0,090	450
	C ₃ H ₃ F ₂ CI ₃	HCFC-242	Trichlorodifluoropropan	0,130	1025
	C ₃ H ₃ F ₃ CI ₂	HCFC-243	Dichlorotrifluoropropan	0,120	2060



Grupa	Substancja			ODP	GWP
	C3H3F4Cl	HCFC-244	Chlorotetrafluoropropan	0,140	3360
	C3H4FCI3	HCFC-251	Trichlorofluoropropan	0,010	70
	C3H4F2CI2	HCFC-252	Dichlorodifluoropropan	0,040	275
	C3H4F3CI	HCFC-253	Chlorotrifluoropropan	0,030	665
	C3H5FCI2	HCFC-261	Dichlorofluoropropan	0,020	84
	C3H5F2CI	HCFC-262	Chlorodifluoropropan	0,020	227
	C3H6FCI	HCFC-271	Chlorofluoropropan	0,030	340

(*) Na podstawie materiałów uzupełniających, przyjętych przez Międzynarodowy Zespół ds. Zmian Klimatu IPCC w ramach szóstego raportu dokonującego oceny globalnego ocieplenia z roku 2021, rozdział 7: Bilans cieplny Ziemi, klimatyczne sprzężenie zwrotne oraz wrażliwość klimatu [1].

HFC (ang. *HydroFluoroCarbon*) (F-gaz - fluorowany gaz cieplarniany)

- Wodorofluorowęglowodory - grupa substancji organicznych, w których cząsteczkach część atomów wodoru została zastąpiona atomami fluoru.
- Związki te charakteryzują się dużą stabilnością chemiczną, dzięki czemu są stosunkowo trwałe i odporne na rozkład w atmosferze. Ze względu na brak atomów chloru i bromu w ich cząsteczkach, ich wskaźnik ODP wynosi 0, co oznacza, że nie przyczyniają się do degradacji warstwy ozonowej.
- Pierwotnie planowano, że HFC będą stanowić długoterminowe, ekologiczne zamienniki dla innych grup czynników chłodniczych, takich jak CFC i HCFC. Jednakże, pomimo braku wpływu na warstwę ozonową, HFC mają stosunkowo wysokie wartości GWP, co oznacza, że przyczyniają się do globalnego ocieplenia. W związku z tym, obecnie są one również stopniowo wycofywane i zastępowane bardziej ekologicznymi alternatywami.

W tabeli 3 przedstawiono czynniki robocze zaliczane do grupy HFC, zgodnie z rozporządzeniem 2024/573 [5].

Tabela 3. Substancje zubożające warstwę ozonową należące do kategorii HFC [1],[5]

Substancja			GWP
CHF3	HFC-23	trifluorometan (fluoroform)	14 800
CH2F2	HFC-32	difluorometan	675
CH3F	HFC-41	fluorometan (fluorek metylu)	92
CHF2CF3	HFC-125	pentafluoroetan	3500
CHF2CHF2	HFC-134	1,1,2,2-tetrafluoroetan	1100



Substancja			GWP
CH ₂ FCF ₃	HFC-134a	1,1,1,2-tetrafluoroetan	1430
CH ₂ FCHF ₂	HFC-143	1,1,2-trifluoroetan	353
CH ₃ CF ₃	HFC-143a	1,1,1-trifluoroetan	4470
CH ₂ FCH ₂ F	HFC-152	1,2-difluoroetan	53
CH ₃ CHF ₂	HFC-152a	1,1-difluoroetan	124
CH ₃ CH ₂ F	HFC-161	fluoroetan (fluorek etylu)	12
CF ₃ CHF ₂ CF ₃	HFC-227ea	1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropan	3220
CH ₂ FCF ₂ CF ₃	HFC-236cb	1,1,1,2,2,3-heksafluoropropan	1340
CHF ₂ CHF ₂ CF ₃	HFC-236ea	1,1,1,2,3,3-heksafluoropropan	1370
CF ₃ CH ₂ CF ₃	HFC-236fa	1,1,1,3,3,3-heksafluoropropan	9810
CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	HFC-245ca	1,1,2,2,3-pentafluoropropan	693
CHF ₂ CH ₂ CF ₃	HFC-245fa	1,1,1,3,3-pentafluoropropan	1030
CF ₃ CH ₂ CF ₂ CH ₃	HFC-365mfc	1,1,1,3,3-pentafluorobutan	794
CF ₃ CHFCH ₂ CF ₂ CF ₃	HFC-43-10mee	1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-dekafluoropentan	1640

(*) Na podstawie materiałów uzupełniających, przyjętych przez Międzynarodowy Zespół ds. Zmian Klimatu IPCC w ramach szóstego raportu dokonującego oceny globalnego ocieplenia z roku 2021, rozdział 7: Bilans cieplny Ziemi, klimatyczne sprzężenie zwrotne oraz wrażliwość klimatu [1].

HFO (ang. *HydroFluoroOlefin*) (F-gaz - fluorowany gaz cieplarniany)

- Wodorofluoroolefiny - związki chemiczne będące pochodnymi nienasyconego węglowodoru, jakim jest propylen (propen), charakteryzują się obecnością wiązań podwójnych między atomami węgla, co nadaje im specyficzne właściwości chemiczne.
- Związki te nie stanowią zagrożenia dla warstwy ozonowej, ponieważ ich wskaźnik ODP wynosi zero. Ponadto, wodorofluoroolefiny mają bardzo niski współczynnik GWP, co oznacza, że ich wpływ na globalne ocieplenie jest minimalny w porównaniu do tradycyjnych czynników chłodniczych, takich jak CFC czy HFC.
- Dzięki swoim korzystnym właściwościom ekologicznym, HFO zyskują na popularności jako zamienniki dla bardziej szkodliwych czynników chłodniczych. Przykładami wodorofluoroolefin są R-1234yf i R-1234ze(E), które wyróżniają się niskim GWP i brakiem wpływu na warstwę ozonową.





W tabeli 4 przedstawiono czynniki robocze zaliczane do grupy HFO zgodnie z rozporządzeniem 2024/573 [5]. Wprowadzenie HFO do systemów chłodzenia i klimatyzacji jest jednym z kluczowych kroków w kierunku zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska, minimalizując negatywny wpływ na klimat i przyczyniając się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych.

Tabela 4. Substancje zubożające warstwę ozonową należące do kategorii HFO [1],[5]

Substancja		GWP
$\text{CF}_3\text{CF}=\text{CHCl}$	HCFC-1224yd	0,06
$\text{CHF}=\text{CHF}$	Trans-1,2 -difluoroetylen (HFC-1132) i izomery	>1
$\text{CH}_2=\text{CF}_2$	1,1-difluoroetylen (HFC-1132a)	0,052
$\text{CF}_3\text{CF}=\text{CFCFCF}_3\text{CF}_3$ lub $\text{CF}_3\text{CF}_3\text{C}=\text{CFCF}_2\text{CF}_3$	1,1,1,2,3,4,5,5,5(lub 1,1,1,3,4,4,5,5,5)-nonafluoro-4(lub 2)-(trifluorometylo)pent-2-en	1,00
$\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$	HFC-1234yf	0,501
$\text{CHF}=\text{CHCF}_3$	HFC-1234ze i izomery	1,37
$(\text{E})-\text{CF}_3\text{CH}=\text{CHCF}_3$	HFC-1336mzz(E)	17,9
$(\text{Z})-\text{CF}_3\text{CH}=\text{CHCF}_3$	HFC-1336mzz(Z)	2,08
$\text{CF}_3\text{CH}=\text{CHCl}$	HCFC-1233zd i izomery	3,88
$\text{CF}_3\text{CCl}=\text{CH}_2$	HCFC-1233xf	1,00

3. Przepisy prawne regulujące stosowanie płynów chłodniczych

3.1. Protokoły z Montrealu i Kioto

Protokoły z Montrealu i Kioto są kluczowymi aktami prawnymi, które mają na celu ochronę środowiska poprzez zmniejszenie emisji szkodliwych substancji chemicznych.

- **Protokół Montrealski** - międzynarodowy traktat przyjęty w 1987 roku, którego celem jest ochrona warstwy ozonowej poprzez wycofanie z użycia substancji niszczących ozon. Protokół zobowiązuje kraje do eliminacji produkcji i zużycia związków chemicznych, takich jak chlorofluorowęglowodory (CFC), halony, tetraklorek węgla oraz metylobromek. Z czasem, protokół został rozszerzony o F-gazy, które mają wpływ na ocieplenie klimatu.



W 2016 roku, podczas spotkania stron Protokołu Montrealskiego w Kigali, Rwanda, uzgodniono dodatek do protokołu, znany jako **Poprawka z Kigali**.

Główne cele Poprawki z Kigali w kontekście F-gazów:

- Stopniowe wycofywanie HFC - poprawka określa harmonogram redukcji produkcji i zużycia HFC dla różnych grup krajów. Kraje rozwinięte mają zacząć redukcję wcześniej niż kraje rozwijające się, które mają więcej czasu na przystosowanie się do nowych regulacji.
 - Wsparcie techniczne i finansowe dla krajów rozwijających się w celu ułatwienia im przejścia na alternatywne technologie, które nie wykorzystują HFC lub mają mniejszy wpływ na globalne ocieplenie.
 - Kraje są zobowiązane do monitorowania i raportowania poziomów produkcji, zużycia i emisji HFC, co wpływa na sprawniejsze zarządzanie i kontrolę nad redukcją tych gazów.
 - Poprawka zachęca do rozwoju i wdrażania alternatywnych technologii oraz substancji, które mają mniejszy wpływ na klimat, takich jak hydrofluoroolefiny, dwutlenek węgla i amoniak.
- **Protokół z Kioto** - międzynarodowy traktat przyjęty w 1997 roku, którego celem jest walka ze zmianami klimatu poprzez ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Protokół zobowiązuje kraje rozwinięte do redukcji emisji sześciu głównych gazów cieplarnianych: dwutlenku węgla, metanu, podtlenku azotu, wodorofluorowęglowodorów, perfluorowęglowodorów oraz heksafluorku siarki. Protokół z Kioto zobowiązuje kraje rozwinięte do redukcji emisji tych gazów poprzez wprowadzenie szeregu mechanizmów i narzędzi, takich jak:
 - System handlu emisjami (ETS), który pozwala krajom i firmom na kupowanie i sprzedawanie uprawnień do emisji gazów cieplarnianych (kraje mogą uzyskać dodatkowe środki finansowe na inwestycje w technologie ograniczające emisje).
 - Wspólne wdrożenie: kraje rozwinięte mogą realizować projekty redukcji emisji gazów cieplarnianych w innych krajach rozwiniętych, co pozwala na efektywniejsze wykorzystanie zasobów i technologii.
 - Mechanizm czystego rozwoju (CDM): kraje rozwinięte mogą finansować projekty ograniczające emisje gazów cieplarnianych w krajach rozwijających się, co przyczynia się do globalnej redukcji emisji oraz wspiera rozwój technologiczny i gospodarczy tych krajów.

Szczególną uwagę zwrócono na kontrolę wycieków oraz wprowadzenie zakazów stosowania niektórych związków w określonych sektorach przemysłu, ponadto wprowadzono wymogi dotyczące raportowania emisji i monitorowania ich poziomu.



3.2. Dyrektywa F-Gazowa UE

Dyrektywa F-Gazowa UE, znana również jako **Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 517/2014**, jest aktem prawnym mającym na celu ograniczenie emisji fluorowanych gazów cieplarnianych (F-gazów) w Unii Europejskiej. Dyrektywa ta wprowadza szereg środków mających na celu zmniejszenie emisji tych gazów oraz promowanie alternatywnych technologii i substancji o mniejszym wpływie na klimat.

Główne cele i środki Dyrektywy F-Gazowej UE:

- Ograniczenie emisji: dyrektywa wprowadza limity na produkcję i zużycie F-gazów oraz stopniowe wycofywanie niektórych związków chemicznych.
- Kontrola wycieków: wymaga regularnych kontroli szczelności urządzeń zawierających F-gazy oraz wprowadza obowiązek naprawy wycieków.
- Certyfikacja: osoby i firmy zajmujące się instalacją, konserwacją i serwisowaniem urządzeń zawierających F-gazy muszą posiadać odpowiednie certyfikaty.
- Etykietowanie: urządzenia zawierające F-gazy muszą być odpowiednio oznakowane, aby informować użytkowników o ich zawartości i potencjalnym wpływie na klimat.
- Raportowanie: kraje członkowskie UE są zobowiązane do monitorowania i raportowania poziomów emisji F-gazów oraz podejmowanych działań na rzecz ich redukcji.

Dyrektywa F-Gazowa UE jest częścią szerszej strategii Unii Europejskiej na rzecz ochrony klimatu i realizacji celów Porozumienia Paryskiego.

3.3. Porozumienie Paryskie

Porozumienie Paryskie to międzynarodowy traktat dotyczący przeciwdziałania zmianom klimatycznym, który został przyjęty podczas Konferencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu (COP21) w Paryżu w 2015 roku. Celem porozumienia jest ograniczenie globalnego ocieplenia poprzez redukcję emisji gazów cieplarnianych i wspieranie działań na rzecz adaptacji do skutków zmian klimatycznych.

Główne cele Porozumienia Paryskiego:

- Ograniczenie globalnego ocieplenia: porozumienie dąży do utrzymania wzrostu globalnej średniej temperatury znacznie poniżej 2°C w porównaniu z poziomem sprzed epoki przemysłowej oraz podejmowania starań, aby ograniczyć ten wzrost do 1,5°C.



- Wzmacnianie zdolności adaptacyjnych: porozumienie wspiera działania na rzecz zwiększenia odporności i adaptacji do skutków zmian klimatycznych, zwłaszcza w krajach najbardziej narażonych na ich negatywne skutki.
- Finansowanie działań klimatycznych: porozumienie zobowiązuje kraje rozwinięte do mobilizacji środków finansowych na wsparcie działań klimatycznych w krajach rozwijających się. W tym celu ustanowiono Fundusz Klimatyczny, który ma na celu zbieranie i dystrybucję środków finansowych na projekty związane z redukcją emisji i adaptacją.

Mechanizmy Porozumienia Paryskiego:

- Narodowe wkłady ustalane na poziomie krajowym (NDC): kraje uczestniczące w porozumieniu zobowiązują się do opracowania i wdrażania własnych planów działań na rzecz redukcji emisji gazów cieplarnianych, znanych jako NDC. Plany te są regularnie aktualizowane i prezentowane co pięć lat.
- Transparentność i monitorowanie: porozumienie wprowadza mechanizmy monitorowania, raportowania i weryfikacji postępów w realizacji NDC, co pozwala na lepszą kontrolę nad działaniami krajów i zwiększenie przejrzystości.
- Współpraca międzynarodowa: porozumienie promuje współpracę międzynarodową na rzecz walki ze zmianami klimatycznymi, w tym poprzez wymianę technologii, wiedzy i doświadczeń.

3.4. Aktualne rozporządzenia Parlamentu Europejskiego dotyczące ograniczeń stosowania F-gazów

Główne rozporządzenia Parlamentu Europejskiego, które decydują o ograniczeniach stosowania czynników chłodniczych:

- **Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/573** [5] z dnia 7 lutego 2024 r. w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych, zmieniające dyrektywę (UE) 2019/1937 i uchylające rozporządzenie (UE) nr 517/2014.
- **Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/590** [6] z dnia 7 lutego 2024 r. w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową i uchylenia rozporządzenia (WE) nr 1005/2009.

Oba rozporządzenia, tj. 2024/573 i 2024/590, są częścią szerszej strategii Unii Europejskiej na rzecz ochrony klimatu i realizacji celów Porozumienia Paryskiego.

Rozporządzenie nr 2024/573 [5] w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych wprowadza szereg istotnych zmian i środków mających na celu ograniczenie emisji tych gazów w Unii Europejskiej.



Najważniejsze elementy rozporządzenia nr 2024/573:

- Zaostrzenie harmonogramu redukcji HFC: wprowadzenie bardziej rygorystycznego harmonogramu redukcji wprowadzania do obrotu hydrofluorowęglowodorów (HFC), w porównaniu do poprzednich regulacji.
- Opłaty za kontyngenty: wprowadzenie opłaty w wysokości 3 Euro za tonę ekwiwalentu CO₂ za kontyngenty na przywóz HFC spoza UE.
- Wymogi dla importerów: nowi importerzy muszą wykazać się 3-letnim doświadczeniem w handlu chemikaliami lub serwisowaniu urządzeń, a także nie będą uprawnieni do przekazywania lub autoryzacji swojego kontyngentu (tylko jeden importer może być zarejestrowany pod jednym adresem).
- Wprowadzenie systemu CERTEX (*Single Window*), który umożliwia celnikom w całej UE monitorowanie każdego aktu importu, eksportu i tranzytu fluorowanych gazów cieplarnianych oraz produktów i urządzeń je zawierających.
- Określenie konkretnych przejść granicznych, przez które można wprowadzać do UE i wyprowadzać z UE fluorowane gazy cieplarniane oraz produkty i urządzenia je zawierające.
- Wprowadzenie całkowitego zakazu obrotu fluorowanymi gazami cieplarnianymi w pojemnikach jednorazowego użytku oraz obowiązek zawierania umów na zwrot pojemników wielokrotnego użytku.
- Wprowadzenie obowiązkowej certyfikacji nie tylko dla czynności wykonywanych z udziałem fluorowanych gazów cieplarnianych, ale także z udziałem alternatyw dla tych gazów.
- Państwa członkowskie UE są zobowiązane do prowadzenia elektronicznego zbierania danych o emisji HFC, co pozwala na lepsze monitorowanie i kontrolę nad emisjami tych gazów.
- Wprowadzenie surowszych kar za nieprzestrzeganie przepisów zgodnie ze zmienianą obecnie Środowiskową Dyrektywą Karną.

Ograniczenia dotyczące stosowania F-gazów zostały podzielone na kilka typów ograniczeń. Jedno z ograniczeń dotyczy ilości ogółem wprowadzanych na rynek czynników będących sklasyfikowanymi jako F-gazy.

W tabeli 5 przedstawiono maksymalną ilość czynników, które można wprowadzać na rynek europejski (wliczając w to czynnik znajdujący się w urządzeniach sprowadzanych spoza Unii Europejskiej). Należy także pamiętać, że na rynek europejski, czynniki mogą wprowadzać jedynie te podmioty, które otrzymały kontyngent na ich wprowadzenie.



Tabela 5. Maksymalne ilości kontyngentów na wprowadzanie wodorofluorowęglowodorów do obrotu na terenie UE [1],[5]

Lata	Maksymalna ilość ekwiwalentu dwutlenku węgla, w tonach
2025–2026	42 874 410
2027–2029	21 665 691
2030–2032	9 132 097
2033–2035	8 445 713
2036–2038	6 782 265
2039–2041	6 136 732
2042–2044	5 491 199
2045–2047	4 845 666
2048 – 2049	4 200 133
kolejne lata	0

Rozporządzenie 2024/590 [6] - jest częścią szerszej strategii Unii Europejskiej na rzecz ochrony klimatu i realizacji celów Porozumienia Paryskiego. Dzięki tym regulacjom, UE dąży do zmniejszenia emisji F-gazów i promowania bardziej zrównoważonych technologii i substancji.

Rozporządzenie to wprowadza szereg kluczowych elementów dotyczących fluorowanych gazów cieplarnianych, najważniejsze z nich:

- Stopniowe wycofywanie substancji zubożających warstwę ozonową: rozporządzenie to określa harmonogram wycofywania produkcji i zużycia substancji zubożających warstwę ozonową, w tym niektórych F-gazów, które mają również wpływ na globalne ocieplenie.
- Kontrola wycieków: wprowadza obowiązek regularnych kontroli szczelności urządzeń zawierających F-gazy oraz naprawy wycieków.
- Certyfikacja i szkolenia: osoby i firmy zajmujące się instalacją, konserwacją i serwisowaniem urządzeń zawierających F-gazy muszą posiadać odpowiednie certyfikaty i przejść specjalistyczne szkolenia.
- Etykietowanie i informowanie: urządzenia zawierające F-gazy muszą być odpowiednio oznakowane, aby informować użytkowników o ich zawartości i potencjalnym wpływie na klimat. Dodatkowo, producenci i dystrybutorzy są zobowiązani do dostarczania informacji na temat bezpiecznego użytkowania i utylizacji tych urządzeń.
- Raportowanie i monitorowanie: kraje członkowskie UE są zobowiązane do monitorowania i raportowania poziomów emisji F-gazów oraz podejmowanych działań na rzecz ich redukcji.





- Promowanie alternatyw: rozporządzenie zachęca do rozwoju i wdrażania alternatywnych technologii oraz substancji, które mają mniejszy wpływ na klimat, takich jak hydrofluoroolefiny (HFO), dwutlenek węgla i amoniak.

Wszystkie czynniki zubożające warstwę ozonową wymienione są w załączniku nr I i II rozporządzenia 2024/590. Jeśli chodzi o restrykcje dotyczące czynników z tych grup, w chwili obecnej przepisy stanowią [1], [6]:

- *„Zakazuje się produkcji, wprowadzania do obrotu, późniejszego dostarczania lub udostępniania innej osobie w Unii za opłatą lub nieodpłatnie oraz stosowania substancji zubożających warstwę ozonową wymienionych w załączniku I.*
- *Zakazuje się przywozu lub wywozu substancji zubożających warstwę ozonową wymienionych w załączniku I.*
- *Zakazuje się wprowadzania do obrotu i późniejszego dostarczania lub udostępniania innej osobie w Unii za opłatą lub nieodpłatnie produktów i urządzeń, które zawierają substancje zubożające warstwę ozonową wymienione w załączniku I lub których działanie jest zależne od tych substancji.*
- *Zakazuje się przywozu lub wywozu produktów i urządzeń, które zawierają substancje zubożające warstwę ozonową wymienione w załączniku I lub których działanie jest zależne od tych substancji. Zakaz ten nie dotyczy rzeczy osobistych”.*

Rozporządzenie wprowadza również regulacje dotyczące urządzeń, które są nadal używane, są to między innymi następujące regulacje [1], [6]:

- *„Substancje zubożające warstwę ozonową zawarte w urządzeniach chłodniczych i klimatyzacyjnych oraz pompach ciepła, urządzeniach zawierających rozpuszczalniki lub systemach przeciwpożarowych i gaśnicach odzyskuje się w trakcie konserwacji lub serwisowania urządzeń lub przed ich demontażem bądź usunięciem w celu zniszczenia, recyklingu lub regeneracji, chyba że odzysk ten regulują inne akty prawne Unii.*
- *Operatorzy urządzeń lub systemów zawierających substancje zubożające warstwę ozonową zapewniają naprawę wszelkich wykrytych wycieków bez zbędnej zwłoki, bez uszczerbku dla zakazu stosowania tych substancji zubożających warstwę ozonową, chyba że odzysk ten regulują inne akty prawne Unii.*
- *Operatorzy, o których mowa w ust. 3, prowadzą dokumentację dotyczącą ilości i rodzaju dodawanych halonów i substancji zubożających warstwę ozonową wymienionych w załączniku I [załącznik nr I do rozporządzenia 2024/590] odzyskanych podczas konserwacji lub serwisowania i ostatecznego usunięcia urządzenia lub systemów, o których mowa w tym ustępie. Operatorzy ci prowadzą również dokumentację zawierającą inne istotne informacje, w tym dane podmiotu, który dokonał konserwacji lub serwisowania, oraz daty i wyniki przeprowadzonych kontroli szczelności. Dokumentację tę przechowuje się przez co najmniej 5 lat i udostępnia się ją właściwemu organowi danego państwa członkowskiego lub Komisji na ich wniosek.”*



4. Podsumowanie

Treść niniejszych materiałów stanowi uzupełnienie treści przedmiotu "Mechanika Płynów" realizowanego na kierunku mechanika i budowa maszyn na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej. Materiały te przedstawiają najważniejsze aspekty związane z czynnikami chłodniczymi stosowanymi w chłodnictwie i klimatyzacji. Omówiono najważniejsze wymagania dotyczące czynników chłodniczych, nazewnictwo oraz klasyfikację czynników chłodniczych ze względu na skład i budowę cząsteczkową. Szczególną uwagę poświęcono F-gazom (fluorowanym gazom cieplarnianym). Wskazano przepisy prawne regulujące stosowanie płynów chłodniczych oraz przedstawiono najważniejsze regulacje prawne i aktualne rozporządzenia Parlamentu Europejskiego dotyczące ograniczeń stosowania F-gazów.

Literatura

1. Chwieduk D. (redaktor naukowy), autorzy: Grzebielec A., Ruciński A., Szelański A., Krawczyk P., Żuchowski S., Chwieduk B., Dzido A., & Ładny D. (2025). *Pompy ciepła i efektywność energetyczna*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa.
2. Grzebielec A., Pluta Z., Ruciński A. & Rusowicz A. (2011). *Czynniki chłodnicze i nośniki energii*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
3. Hundy G. F., Trott A. R. & Welch T. C. (2016). *Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps*. Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier.
4. ISO 817 Refrigerants - Designation and safety classification.
5. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/573 z dnia 7 lutego 2024 r. w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych, zmieniające dyrektywę (UE) 2019/1937 i uchylające rozporządzenie (UE) nr 517/2014 (<https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzienniki-UE/rozporzadzenie-2024-573-w-sprawie-fluorowanych-gazow-cieplarnianych-72274923>, dostępny 4.03.2025).
6. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) z dnia 20 lutego 2024 r. nr 2024/590 w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową i uchylenia rozporządzenia (WE) nr 1005/2009 (<https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzienniki-UE/rozporzadzenie-2024-590-w-sprawie-substancji-zubozajacych-warstwe-ozonowa-i-72274925>, dostępny 4.03.2025).

