



**KRAJOWY
PLAN
ODBUDOWY**



**Rzeczpospolita
Polska**

Sfinansowane przez
Unię Europejską
NextGenerationEU



Nowoczesne technologie w energetyce skierowane do odbiorców i przyczyniające się do racjonalnego zużycia

Prowadzący:

**dr hab. inż. Tomasz KUJAWA, prof. ZUT,
dr hab. inż. Sławomir WIŚNIEWSKI,**

**tomasz.kujawa@zut.edu.pl
slawomir.wisniewski@zut.edu.pl**



**KRAJOWY
PLAN
ODBUDOWY**



**Rzeczpospolita
Polska**

Sfinansowane przez
Unię Europejską
NextGenerationEU



**Nowoczesne technologie w energetyce skierowane do odbiorców
i przyczyniające się do racjonalnego zużycia**

Szczecin, 27 kwietnia 2026 r.



**Branżowe
Centrum Umiejętności
Nr 1 w Szczecinie**

Agenda

1. Wprowadzenie do nowoczesnych systemów grzewczych
2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna
3. Wentylacja wymuszona – odzysk ciepła
4. Ogrzewanie
5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie
6. Energia promieniowania słonecznego
7. Odzysk ciepła – woda szara
8. Automatyka i inteligentne sterowanie

1. Wprowadzenie do nowoczesnych systemów grzewczych

Rola ogrzewania w bilansie energetycznym budynku: kluczowa tym bardziej, gdy warunki klimatyczne są niekorzystne (**długość sezonu ogrzewczego**).

W polskim klimacie ogrzewanie odpowiada zazwyczaj za **największą część zużycia energii końcowej** (często od **60%** do nawet **80%** w starszych obiektach).

Bilans energetyczny zestawia wszystkie zyski i straty energii w obiekcie. **Rolą zastosowanego systemu ogrzewania** jest pokrycie deficytu powstałego w wyniku wszystkich strumieni strat ciepła.

Wymagania prawne dotyczące systemów grzewczych w Polsce (i UE) skupiają się na dwóch filarach:

- a) **efektywności energetycznej,**
- b) **ograniczeniu emisji zanieczyszczeń.**

1. Wprowadzenie do nowoczesnych systemów grzewczych

Kluczowe regulacje i normatywy:

- a) **Warunki Techniczne (WT 2022)** – Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2022 r. (tekst jednolity: Dz.U. z 2022 r. poz. 1225) ze zmianami wprowadzonymi rozporządzeniami z **27 października 2023 r.** (Dz.U. 2023 poz. 2442), **27 marca 2024 r.** (Dz.U. 2024 poz. 474) oraz **9 maja 2024 r.** (Dz.U. 2024 poz. 726),
- b) **Dyrektywa EPBD (Energy Performance of Buildings Directive)** – Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1275 z 24 kwietnia 2024 r.,
- c) **Ekoprojekt/Ecodesign (Ecodesign Directive)** – Dyrektywa 2009/125/WE (ramowa) oraz rozporządzenia szczegółowe dla wybranych urządzeń ogrzewczych,
- d) **lokalne Uchwały Antysmogowe** – inicjatywy lokalnych władz, z reguły dużych miast.

1. Wprowadzenie do nowoczesnych systemów grzewczych

Warunki Techniczne (WT 2022) – jeden z istotnych dokumentów dla osób budujących/modernizujących budynki. Określa m.in. maksymalne wartości wskaźnika **EP** (roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną):

- Od 2021 roku **limit EP** dla budynków jednorodzinnych wynosi **70 kWh/(m²·rok)**.

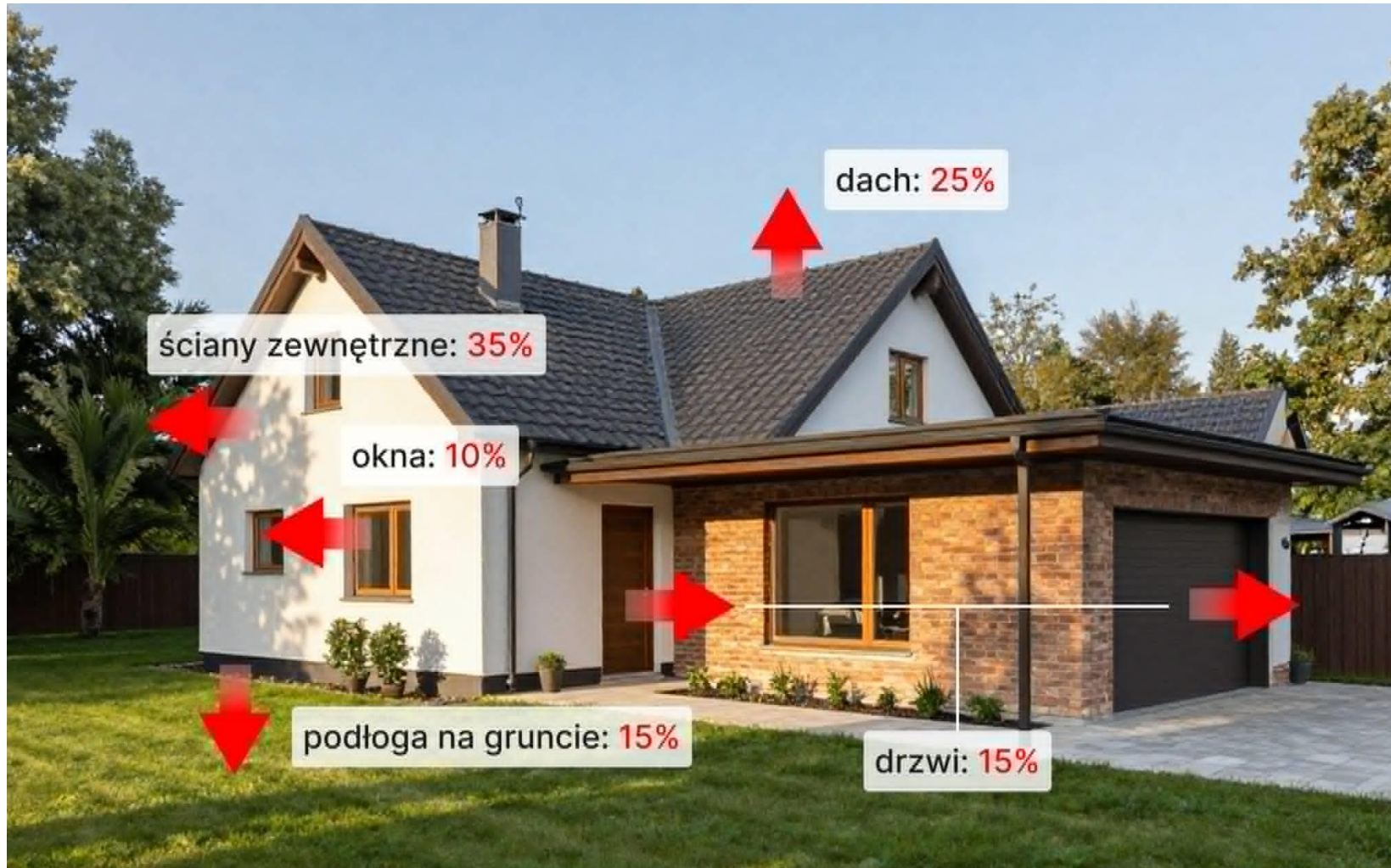
Wskaźnik **EP** wyraża wielkość rocznego zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną niezbędną do zaspokojenia potrzeb związanych z użytkowaniem budynku odniesioną do 1 m² powierzchni o regulowanej temperaturze, podany w [kWh/(m²*rok)], **EP=Q_p/A_f**

Nieodnawialna energia pierwotna jest to energia pozyskiwana bezpośrednio z zasobów naturalnych, a jej zapotrzebowanie obejmuje zapotrzebowanie na energię końcową budynku powiększoną o dodatkowe nakłady energii potrzebne na produkcję paliwa, jego transport, magazynowanie itp.

1. Wprowadzenie do nowoczesnych systemów grzewczych

- **W praktyce** osiągnięcie tego wskaźnika **$EP=70 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$** dla budynków (jednorodzinnych) przy użyciu wyłącznie paliw kopalnych (np. gazu, węgla) jest **niemal niemożliwe** bez wsparcia instalacją OZE (np. PV, kolektory słoneczne).
- **Duża izolacyjność przegród:** poprzez odpowiednie normatywy wymuszone są bardzo niskie współczynniki przenikania ciepła **U** dla ścian, podłóg na gruncie, dachów, drzwi i okien, co zmniejsza zapotrzebowanie na moc grzewczą.

1. Wprowadzenie do nowoczesnych systemów grzewczych



Rys.1.1. Bilans energetyczny budynku

(źródło: opracowanie Paweł Kujawa)

1. Wprowadzenie do nowoczesnych systemów grzewczych

Tabela 1.1. Graniczne wartości współczynnika U [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

Rodzaj przegrody	rok 1970	rok 1993	WT 2022
Ściany zewnętrzne (przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$)	1,16-1,42	0,55 ¹⁾ 0,70 ²⁾	0,20
Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami	0,87-1,04	0,30	0,15
Podłogi na gruncie	-	0,60	0,30
Okna pionowe (z wyjątkiem połaciowych)	3,00	2,00-2,60 ³⁾	0,90
Okna połaciowe (dachowe)	3,00-5,00	2,00-2,60 ³⁾	1,10
Drzwi zewnętrzne oraz bramy garażowe	3,50-5,00	2,60	1,30

¹⁾ dla ścian wielowarstwowych, ²⁾ dla ścian jednowarstwowych, ³⁾ w zależności od strefy klimatycznej

Dzisiejsza ściana zewnętrzna musi być **ponad 2,5 razy cieplejsza** niż ta z 1993 roku i **ponad 7 razy cieplejsza** niż ta z lat 1970.

Dzisiejsze okna zaś muszą być **blisko 3 razy szczelniejsze** termicznie niż te z 1993 r.

1. Wprowadzenie do nowoczesnych systemów grzewczych

Dyrektywa EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) – dotyczy ona **budynków jako całości**. Określa, jak **energooszczędny** musi być dom, budynek (biurowiec, szkoła itp.)

W praktyce:

- **Budynki Zeroemisyjne (ZEB):** od 2030 r. wszystkie nowe budynki muszą być zeroemisyjne (od 2028 r. budynki publiczne). Co to oznacza? Brak emisji z paliw kopalnych na miejscu.
- **Świadectwa Charakterystyki Energetycznej:** wprowadzenie ujednoczonych klas energetycznych (od A do G) dla budynków, podobnie jak na urządzeniach AGD (np. lodówki).
- **Wycofywanie kotłów na paliwa kopalne:** dyrektywa wyznacza cel całkowitego wycofania kotłów na paliwa kopalne (np. gaz, węgiel) do **2040 roku**.
- **Obowiązek fotowoltaiki:** stopniowe wprowadzanie instalacji słonecznych na dachach budynków publicznych i nowych domów mieszkalnych.

1. Wprowadzenie do nowoczesnych systemów grzewczych

Ekoprojekt / Ekodesign (Ecodesign Directive) – dotyczy konkretnych urządzeń (np. kotłów, pomp ciepła) i określa, jakie parametry techniczne musi spełnić produkt, aby mógł zostać dopuszczony do sprzedaży na rynku UE.

W praktyce:

- **Minimalna sprawność urządzenia:** musi zamieniać paliwo na ciepło z bardzo wysoką wydajnością (często powyżej 90%).
- **Limity emisji:** rygorystyczne limity emisji pyłów (PM), tlenków azotu (NO_x) oraz tlenku węgla (CO). Jest on bardziej restrykcyjny niż **PN-EN 303-5:2012** (przed pojawieniem się **Ekoprojektu** najwyższy możliwy standard w Polsce) klasyfikująca kotły pod względem sprawności cieplnej i emisji zanieczyszczeń do atmosfery, czyli tzw. polskiej „Klasy 5”.
- **Efektywność sezonowa:** sprawność urządzenia jest badana nie tylko przy pełnej mocy (tak jak to było w **PN-EN 303-5:2012**, ale w różnych warunkach pracy przez cały rok, co lepiej oddaje realne koszty ogrzewania.

1. Wprowadzenie do nowoczesnych systemów grzewczych

Inne mechanizmy mające wpływ na jakość systemów grzewczych to **przeeglądy i kontrole wynikające z Prawa Budowlanego**

Użytkowanie systemu grzewczego wiąże się z obowiązkami prawnymi w trakcie eksploatacji:

- **kontrola kominiarska:** przynajmniej raz w roku (dla paliw stałych częściej).
- **kontrola systemu ogrzewania:** obowiązek okresowej kontroli efektywności energetycznej kotłów (zależnie od mocy i rodzaju paliwa, zazwyczaj co 2–5 lat).
- **CEEB:** każdy właściciel budynku/mieszkania ma obowiązek zgłoszenia źródła ciepła do **Centralnej Ewidencji Emisyjności Budynków**.

1. Wprowadzenie do nowoczesnych systemów grzewczych

Kryteria nowoczesności i energooszczędności systemów grzewczych:

1) Wysoka sprawność i odnawialne źródła energii (OZE)

Nowoczesność systemu mierzy się przede wszystkim jego zdolnością do generowania ciepła przy minimalnym wkładzie energii zewnętrznej.

2) Automatyzacja i Inteligentne Zarządzanie (Smart Home)

System energooszczędny to taki, który nie marnuje energii, gdy nie jest ona potrzebna.

3) Niskotemperaturowy charakter instalacji

Nowoczesne źródła ciepła pracują najefektywniej przy niskich temperaturach zasilania.

4) Ekologia i niska emisja (dekarbonizacja)

Kryterium nowoczesności jest nierozdzielnie związane z wpływem na środowisko.

5) Współpraca z systemami odzysku energii

Nowoczesny system grzewczy nie istnieje w izolacji od wentylacji (rekuperacja).

Magazynowanie energii (bufor c.w.u. + współpraca z magazynem energii elektrycznej)

2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna

Kluczowe regulacje i normatywy:

- **Dyrektywa EPBD (Energy Performance of Buildings Directive)**
- **Ustawa o charakterystyce energetycznej budynków:** Główny polski dokument określający zasady sporządzania świadectw, kontrole systemów ogrzewania i klimatyzacji oraz prowadzenie centralnego rejestru charakterystyki energetycznej.
- **Prawo Budowlane:** Określa ogólne wymagania dotyczące projektowania i budowy obiektów zgodnie z zasadami oszczędności energii.
- **PN-EN ISO 52000-1:** Podstawa oceny energetycznej budynków.
- **PN-EN 12831:** Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego (kluczowa do doboru mocy kotła/pompy ciepła).
- **PN-EN ISO 6946:** Obliczanie oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła przegród.
- **PN-EN ISO 13790:** Obliczanie zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia.

2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna

Zapotrzebowanie na ciepło

Norma **PN-EN 12831** – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego (kluczowa dla doboru urządzenia grzewczego). Poprzez jej stosowanie możemy precyzyjnie odpowiedzieć na pytanie, jakie jest zapotrzebowanie na ciepło każdego pomieszczenia ogrzewanego, aby utrzymać komfortową temperaturę w najmroźniejszy dzień roku dla danej strefy temperaturowej.

W praktyce:

- 1) Straty przez przenikanie (Φ_T)** – ciepło uciekające przez przegrody zewnętrzne (ściany, dach, okna, podłogę na gruncie). Przy obliczeniach uwzględniamy:
 - współczynniki ***U*** wszystkich przegród,
 - powierzchnie tych przegród,
 - **mostki cieplne** (miejsca, gdzie izolacja jest przzerwana np. balkony, wieńce, osadzenie okien).
 - różnice temperatur między wnętrzem a otoczeniem (zależne od strefy klimatycznej).

2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna

Strefa klimatyczna	Projektowa temperatura zewnętrzna t_e
I	-16°C
II	-18°C
III	-20°C
IV	-22°C
V	-24°C



Rys.1.2. Strefy klimatyczne w Polsce

Źródło : Opracowanie własne na podstawie normy PN-EN 12831:2006

2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna

2) **Straty przez wentylację (Φ_V)** – to ciepło potrzebne do ogrzania świeżego powietrza zewnętrznego, które zastępuje zużyte powietrze wywiewane. Norma rozróżnia:

- wentylację naturalną/grawitacyjną,
- wentylację mechaniczną (z rekuperacją lub bez),
- infiltrację, czyli niekontrolowany dopływ powietrza przez nieszczelności.

3) **Nadwyżka mocy na nagrzewanie (Φ_{RH})**

Opcjonalny parametr używany, gdy planujemy w budynku okresowe obniżanie temperatury (np. nocą). Jest to dodatkowa moc potrzebna, by szybko podnieść temperaturę w wychłodzonym pomieszczeniu.

4) **Uwzględnienie zysków ciepła**

- **zyski słoneczne:** promieniowanie wpadające przez okna.
- **zyski wewnętrzne:** ciepło oddawane przez pracujące urządzenia elektryczne, oświetlenie oraz samych mieszkańców (np. dorosły człowiek w spoczynku emituje ok. **100 W** ciepła).

2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna

System grzewczy **współpracuje** z **darmowymi źródłami energii**, które naturalnie uzupełniają straty ciepła (podnoszą temperaturę).

Rola systemu grzewczego polega na dostarczeniu tylko tej ilości energii, której brakuje po zsumowaniu wszystkich zysków (słonecznych i wewnętrznych).

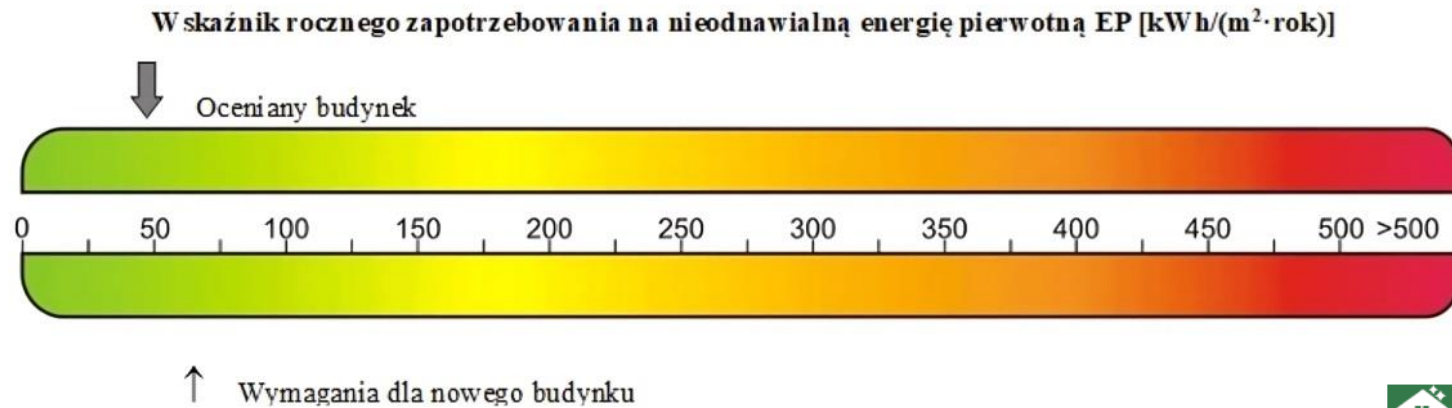
W praktyce **stosowanie PN-EN 12831** chroni przed dwoma błędami:

- **przewymiarowania** lub **niedowymiarowania** urządzenia grzewczego, a tym samym np. jego niewłaściwej efektywności, braku uzyskania temperatury komfortu cieplnego,
- **doboru grzejników** (w każdym pomieszczeniu).

2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna

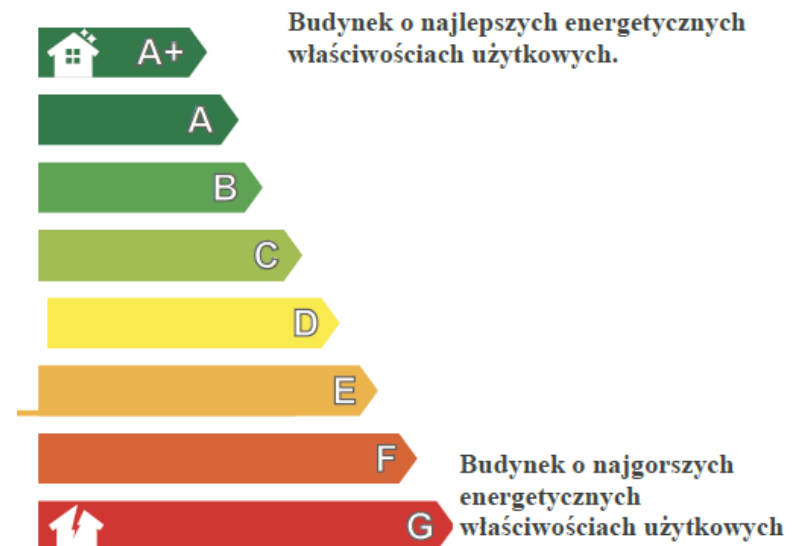
Rozporządzenie w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej

Kluczowe określenie wskaźnika EP



Rys.2.1. Postać graficzna wskaźnika EP w aktualnym ŚChE (źródło: gov.pl)

Rys.2.2. Postać graficzna wskaźnika EP w przygotowywanym nowym projekcie ŚChE (źródło: gov.pl)



2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna

Wpływ izolacyjności przegród na dobór źródła ciepła

1) Obciążenie cieplne budynku (kW)

Im lepsza izolacja, tym mniejsze jest **projektowe obciążenie cieplne**.

- **Dom nieocieplony:** może potrzebować źródła o mocy **15–20 kW**.
- **Dom pasywny/energooszczędny:** wystarczy mu urządzenie o mocy zaledwie **do 5 kW**.

Źle dobrane (przewymiarowane) źródło ciepła w dobrze izolowanym domu będzie pracować nieefektywnie (tzw. taktowanie), co skraca żywotność urządzenia i podnosi rachunki.

2) Temperatura zasilania a sprawność

Izolacyjność przegród bezpośrednio wpływa na to, jakiej temperatury wody potrzebujesz w grzejnikach lub podłogówce, aby utrzymać komfort cieplny.

Standard izolacji	Wymagana temp. zasilania	Rekomendowane źródło ciepła
Bardzo wysoki	Niska (30-35°C)	SPC (powietrzne/gruntowe)
Średni (termomodernizacja)	Średnia (45-55°C)	Kotły gazowe kondensacyjne, hybrydy
Słaby (stary budynek)	Wysoka (65-75°C)	Kotły na pellet, zgazowujące drewno

2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna

Wpływ izolacyjności przegród na dobór źródła ciepła

3) Rentowność pomp ciepła

4) Bezwładność cieplna i stabilność

Dobra izolacja pozwala **zatrzymać** ciepło w masie budynku (ścianach, stropach).

- dzięki temu źródło ciepła może mieć mniejszą elastyczność (np. **kotły na paliwa stałe** lub **ogrzewanie akumulacyjne**), ponieważ dom **przetrwa** przerwy w dostawie energii.
- w budynkach o niskiej izolacyjności spadek temperatury po wyłączeniu pieca jest natychmiastowy, co wymusza pracę źródła w trybie ciągłym.

2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna

Jaka zatem jest kolejność działań?

Zasada **Energy Efficiency First** (najpierw efektywność energetyczna):

- **Zmniejszenie zapotrzebowania:** docieplenie ścian, wymiana okien (obniżenie współczynnika U).
- **Obliczenie zapotrzebowania mocy:** na podstawie nowych parametrów obliczenie zapotrzebowania (OZC).
- **Wybór źródła ciepła:** dopasowanie urządzenia, które przy tej mocy i temperaturze zasilania będzie najtańsze w eksploatacji.

2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna

Klasyfikacja budynków pod kątem ich efektywności energetycznej opiera się głównie na wskaźniku EU_{co} , wyrażanym w $kWh/(m^2 \cdot rok)$. Im niższa wartość, tym budynek jest bardziej **szczelny** i tańszy w utrzymaniu. Główne rodzaje:

- budynki tradycyjne,
- budynki energooszczędne,
- budynki pasywne.

1) Budynek tradycyjny (standardowy)

Wznoszony zgodnie z aktualnie obowiązującymi przepisami (**WT 2022**), ale bez aspiracji do bycia wybitnie energooszczędnym.

- **Zapotrzebowanie na energię:** $EU_{co}=40-70 kWh/(m^2 \cdot rok)$.
- **Izolacja:** ściany i dach są ocieplone poprawnie, ale występują dopuszczalne mostki cieplne (np. przy balkonach czy wieńcach). Grubość izolacji ok. 15 cm.
- **Wentylacja:** Najczęściej grawitacyjna (kominy), co generuje największe straty ciepła w zimie.
- **Źródło ciepła:** Dowolne (pompa ciepła, gaz, pellet), jednak koszty eksploatacji są bezpośrednio zależne od cen paliw.

2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna

2) Budynek energooszczędny

Projektowany tak, aby zminimalizować straty ciepła przy zachowaniu rozsądnych kosztów budowy. To złoty środek między nakładami inwestycyjnymi a oszczędnościami.

- **Zapotrzebowanie na energię:** $EU_{co}=15-40 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$.
- **Konstrukcja:** Prosta bryła (najlepiej na planie prostokąta) z dwuspadowym dachem. Zredukowana liczba wykuszy i lukarn, które są źródłem strat ciepła.
- **Izolacja i stolarka:** Grubsza warstwa styropianu lub wełny (ok. 20-25 cm) oraz okna trzyszybowe o niskim współczynniku przenikania ciepła U.
- **Wentylacja:** Przeważnie mechaniczna z **rekuperacją** (odzyskiem ciepła), co pozwala odzyskać nawet do 90% ciepła z wywiewanego powietrza.

2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna

3) Budynek pasywny

Projektowany tak, w dużym stopniu wykorzystywać pasywne źródła energii (słońce, zyski bytowe od mieszkańców i urządzeń) zamiast aktywnego systemu grzewczego.

- **Zapotrzebowanie na energię:** $E_{u_{co}} < 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$.
- **Szczelność:** Budynek musi przejść test szczelności – powietrze może dostawać się do środka wyłącznie przez system wentylacji.
- **Izolacja i stolarka:** Warstwa styropianu lub wełny (ok. 30-40 cm) oraz okna trzyszybowe z gazem szlachetnym, o niskim współczynniku przenikania ciepła U.
- **Orientacja:** Kluczowe są duże przeszklenia od strony południowej (pozyskiwanie energii słonecznej) i minimalna liczba okien od północy.
- **Brak tradycyjnego ogrzewania:** W budynku pasywnym często nie projektuje się klasycznej instalacji z grzejnikami. Potrzebne ciepło dostarcza się zazwyczaj poprzez podgrzewanie powietrza w systemie wentylacji mechanicznej.

2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna

Znaczenie audytu energetycznego przy doborze systemów grzewczych

W kontekście doboru systemu grzewczego, **audyt energetyczny** pełni rolę precyzyjnej mapy drogowej przy wyborze źródła ciepła:

1) Wyznaczenie dokładnej mocy grzewczej (OZC)

Brak **przewymiarowania**, prawidłowy dobór urządzenia grzewczego.

2) Optymalizacja temperatury zasilania

Audyt po analizie istniejących odbiorników ciepła (grzejniki, podłogówka) da odpowiedź, czy np. obecna instalacja jest w stanie efektywnie współpracować z **pompą ciepła**; czy muszę wymienić grzejniki na większe, aby pompa pracowała z wysokim współczynnikiem COP

3) Wykrycie *słabych ogniw* budynku

Audyt wykaże, że np. znacznie taniej będzie najpierw docieplić strop lub wymienić drzwi, a dopiero później zainwestować w drogie źródło ciepła. **Kamera termowizyjna jako narzędzie.**

4) Porównanie kosztów eksploatacji

Audyt zawiera symulację kosztów dla różnych paliw, stąd orientacja co do rocznych rachunków za różne nośniki energii (np. **gaz, pellet, pompa ciepła**) oraz **czas zwrotu** inwestycji w konkretny systemie.

2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna

Znaczenie audytu energetycznego przy doborze systemów grzewczych

W kontekście doboru systemu grzewczego, **audyt energetyczny** pełni rolę precyzyjnej mapy drogowej przy wyborze źródła ciepła:

5) Klucz do dotacji (np. Program *Czyste Powietrze*)

Audyt energetyczny (w obecnym stanie prawnym i finansowym) jest często **wymogiem formalnym** do uzyskania najwyższego dofinansowania:

- pozwala na uzyskanie dotacji na tzw. **głęboką termomodernizację**,
- koszt wykonania samego audytu jest zazwyczaj w dużej części (lub w całości) refundowany przez programy dotacyjne.

2. Charakterystyka energetyczna budynków, certyfikacja energetyczna

Znaczenie audytu energetycznego przy doborze systemów grzewczych

Nie mając wykonanego **audytu** mogą pojawić się następujące ryzyka i skutki z tego wynikające:

Ryzyko	Skutek
Przewymiarowanie źródła	Wyższy koszt zakupu i szybsze zużycie urządzenia (taktowanie).
Niedowymiarowanie źródła	Brak komfortu cieplnego w mroźne dni (niedogrzany dom).
Błędna technologia	Wysokie rachunki za prąd w przypadku montażu PC w nieocieplonym domu.

3. Wentylacja wymuszona – odzysk ciepła

Wentylacja jest jednym z kluczowych elementów zapewniających odpowiednią jakość powietrza w pomieszczeniach. Jej zadaniem jest:

- usuwanie zanieczyszczeń (CO₂, zapachów, wilgoci, pyłów),
- doprowadzanie świeżego powietrza,
- zapewnienie komfortu cieplnego i higienicznego użytkowników.

Wyróżniamy dwa podstawowe rodzaje wentylacji:

- wentylację naturalną (grawitacyjną),
- **wentylację wymuszoną (mechaniczną).**

Wentylacja wymuszona to system wymiany powietrza, w którym ruch powietrza jest wywoływany przez urządzenia mechaniczne, najczęściej wentylatory.

W przeciwieństwie do wentylacji grawitacyjnej:

- nie zależy od warunków atmosferycznych (wiatr, temperatura),
- umożliwia precyzyjną kontrolę ilości i kierunku przepływu powietrza.

3. Wentylacja wymuszona – odzysk ciepła

Podział wentylacji wymuszonej

Ze względu na sposób działania

1. Wentylacja mechaniczna nawiewna:

- wentylator włacza powietrze do pomieszczenia,
- nadciśnienie wypycha zużyte powietrze przez nieszczelności lub kratki.

2. Wentylacja mechaniczna wywiewna:

- wentylator usuwa powietrze z pomieszczenia,
- świeże powietrze napływa przez nawiewniki.

3. Wentylacja nawiewno-wywiewna:

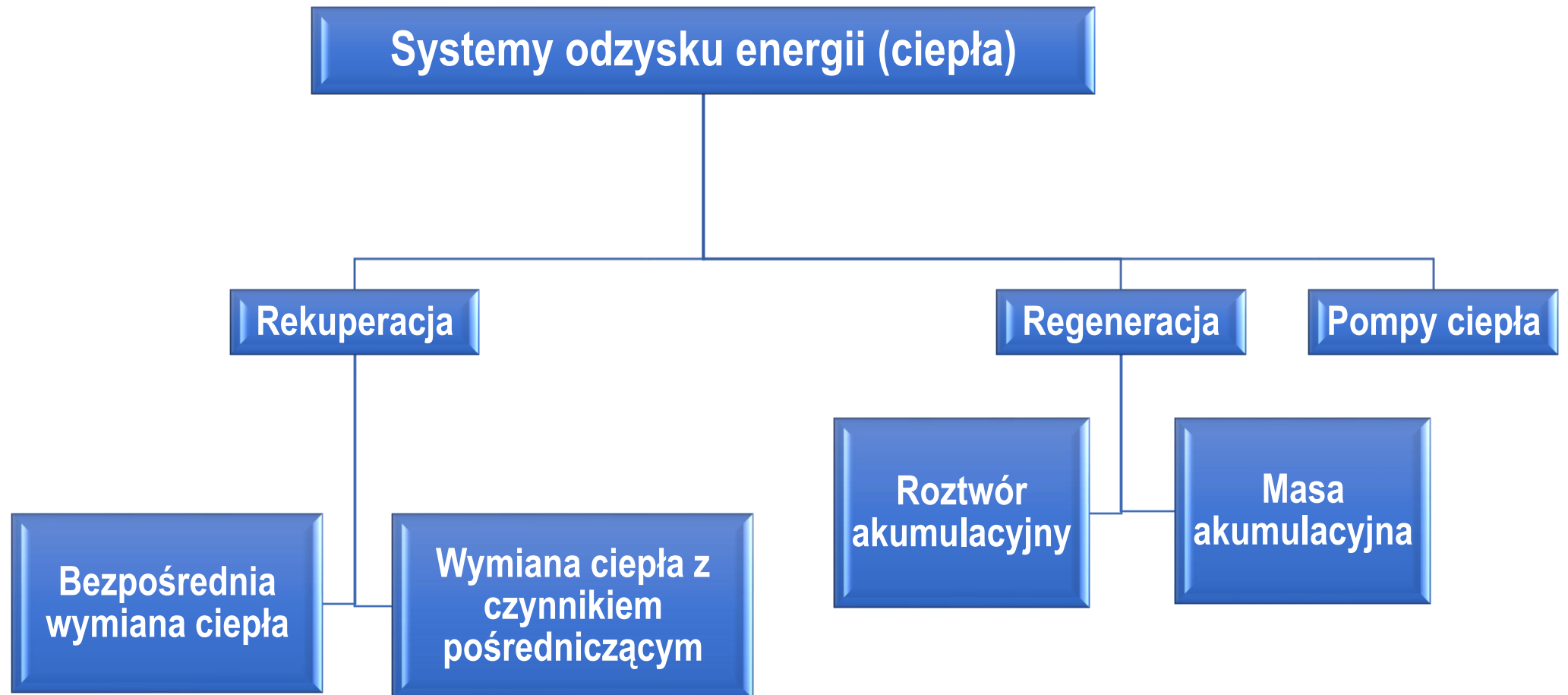
- dwa wentylatory: nawiewny i wywiewny,
- najbardziej efektywny i kontrolowany system,
- stosowana w budynkach nowoczesnych.

Ze względu na odzysk energii

1. Wentylacja mechaniczna bez odzysku ciepła

2. **Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła (rekuperacja)**

3. Wentylacja wymuszona – odzysk ciepła

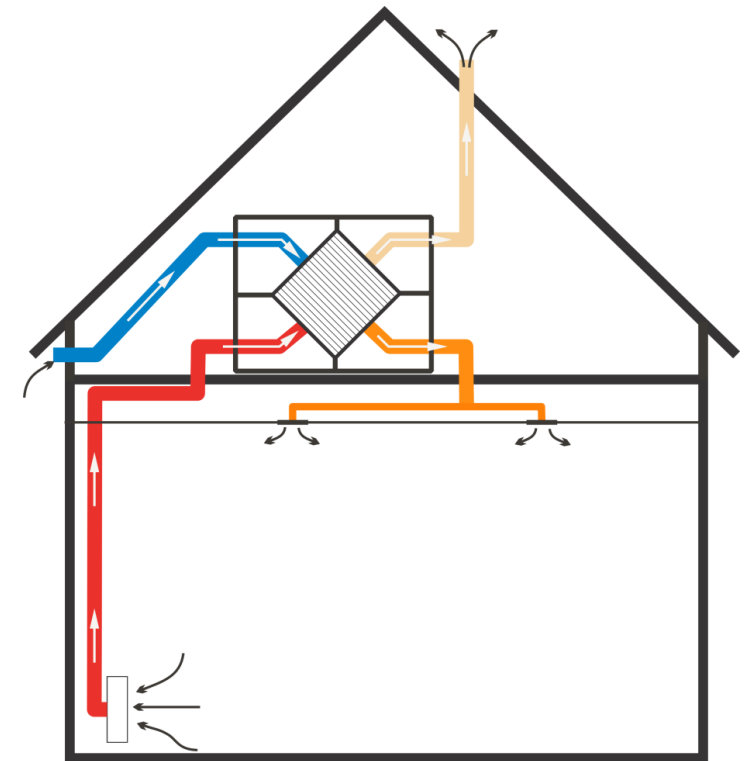


3. Wentylacja wymuszona – odzysk ciepła

Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła stanowi obecnie jeden z kluczowych systemów stosowanych w budynkach energooszczędnych i niskoenergetycznych.

Jej podstawowym zadaniem jest zapewnienie wymaganej jakości powietrza wewnętrznego przy jednoczesnym ograniczeniu strat energii cieplnej, które w budynkach z wentylacją grawitacyjną mogą stanowić nawet 30–50% całkowitych strat ciepła.

W warunkach nowoczesnego budownictwa, charakteryzującego się wysoką szczelnością przegród zewnętrznych, wentylacja naturalna przestaje spełniać swoje zadanie w sposób stabilny i przewidywalny. Rekuperacja umożliwia zatem jednoczesną realizację dwóch, pozornie sprzecznych celów: intensywnej wymiany powietrza oraz minimalizacji strat energetycznych.



Rysunek, Źródło : Opracowanie własne

3. Wentylacja wymuszona – odzysk ciepła

Rodzaje wymienników stosowane do odzysku energii w układzie wentylacji wymuszonej

Wymiennik rekuperacyjny przeciwprądowy (rekuperator przeciwprądowy) - zapewnia najwyższą sprawność odzysku ciepła, ponieważ powietrze przepływa w przeciwnych kierunkach, maksymalizując wymianę ciepła.

Wymiennik rekuperacyjny krzyżowy (rekuperator krzyżowo-prądowy) - powietrze przepływa prostopadle do siebie. Jest to rozwiązanie tańsze, ale charakteryzuje się niższą sprawnością niż wymiennik przeciwprądowy.

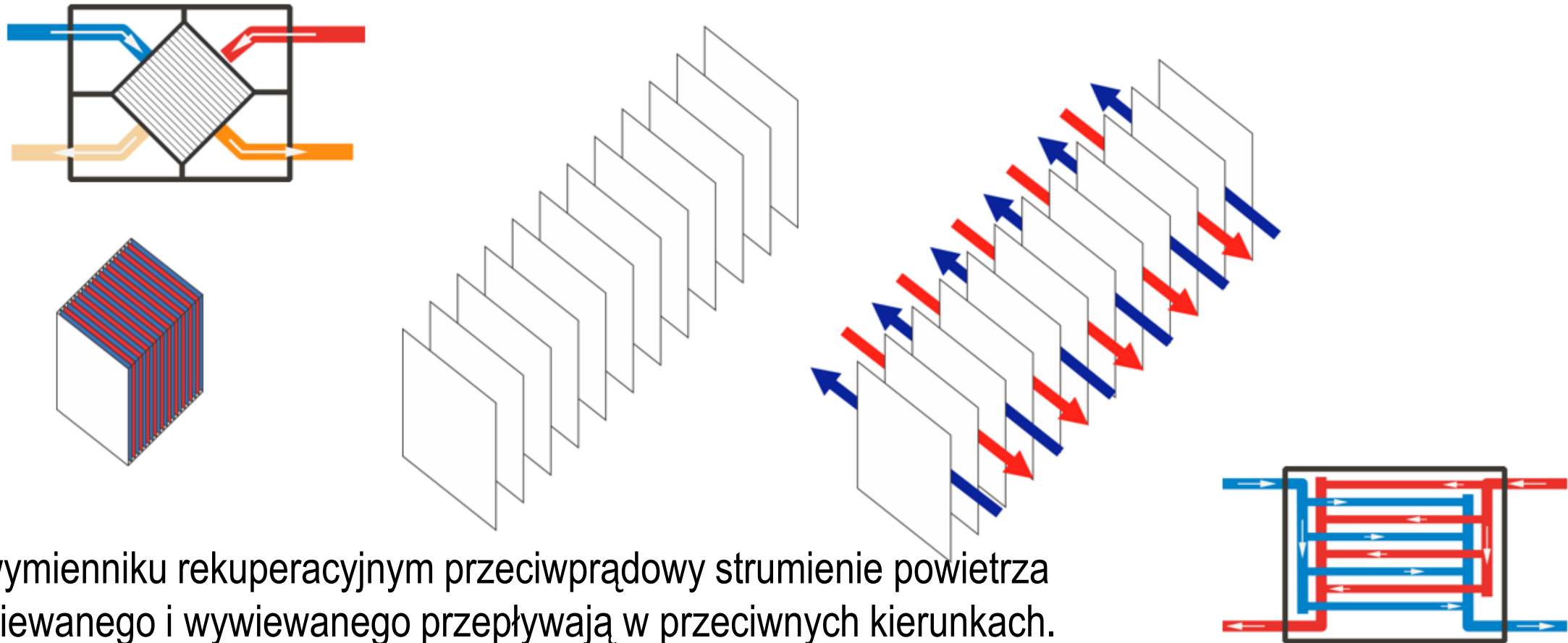
Wymiennik obrotowy - rotor obraca się pomiędzy strumieniami powietrza, przenosząc ciepło. Charakteryzuje się wysoką sprawnością i mniejszą tendencją do zamarzania.

Wymiennik entalpiczny (ERV) - poza ciepłem, odzyskuje również wilgoć z powietrza usuwanego, przekazując ją do nawiewanego, co zapewnia wyższy komfort zimą (zapobiega wysuszeniu powietrza).

3. Wentylacja wymuszona – odzysk ciepła

Rodzaje wymienników stosowane do odzysku energii w układzie wentylacji wymuszonej

Wymiennik rekuperacyjny przeciwprądowy



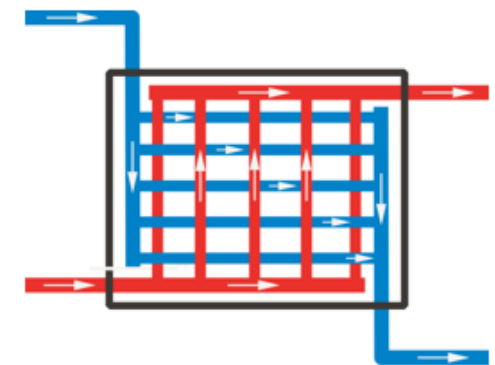
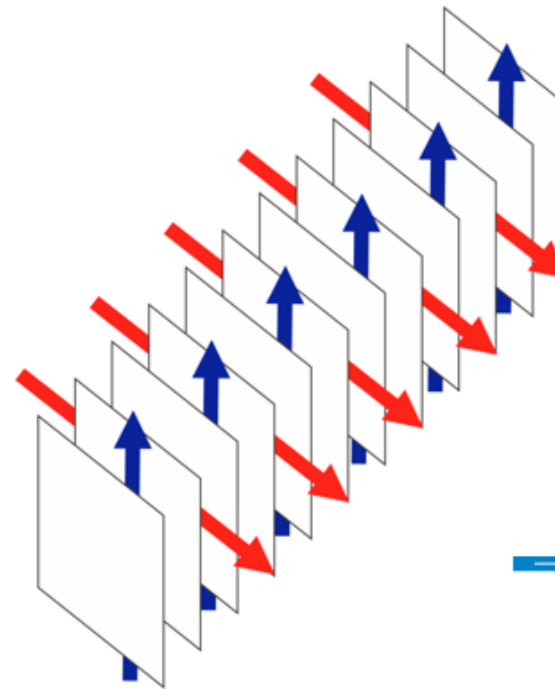
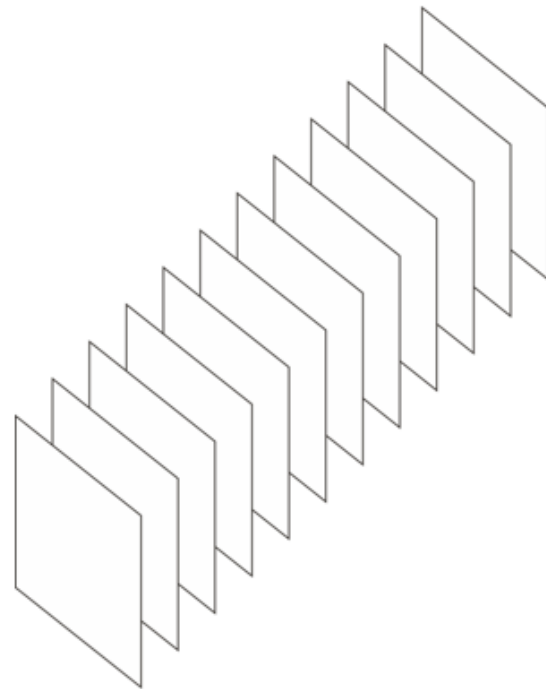
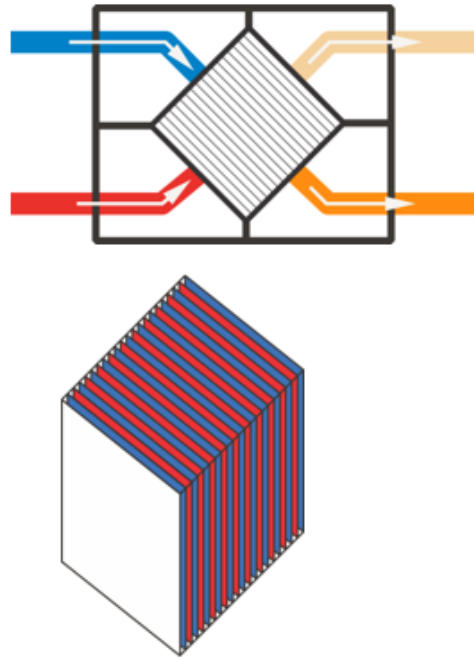
W wymienniku rekuperacyjnym przeciwprądowym strumienie powietrza nawiewanego i wywiewanego przepływają w przeciwnych kierunkach. Następuje maksymalizacja wymiany ciepła wysoka sprawność odzysku ciepła.

Rysunki, Źródło : Opracowanie własne

3. Wentylacja wymuszona – odzysk ciepła

Rodzaje wymienników stosowane do odzysku energii w układzie wentylacji wymuszonej

Wymiennik rekuperacyjny krzyżowy



Rysunki, Źródło : Opracowanie własne

W wymienniku rekuperacyjnym krzyżowym (rekuperator krzyżowo-prądowy) strumienie powietrza przepływają prostopadle do siebie. Jest to rozwiązanie tańsze, ale charakteryzuje się niższą sprawnością niż wymiennik przeciwprądowy.

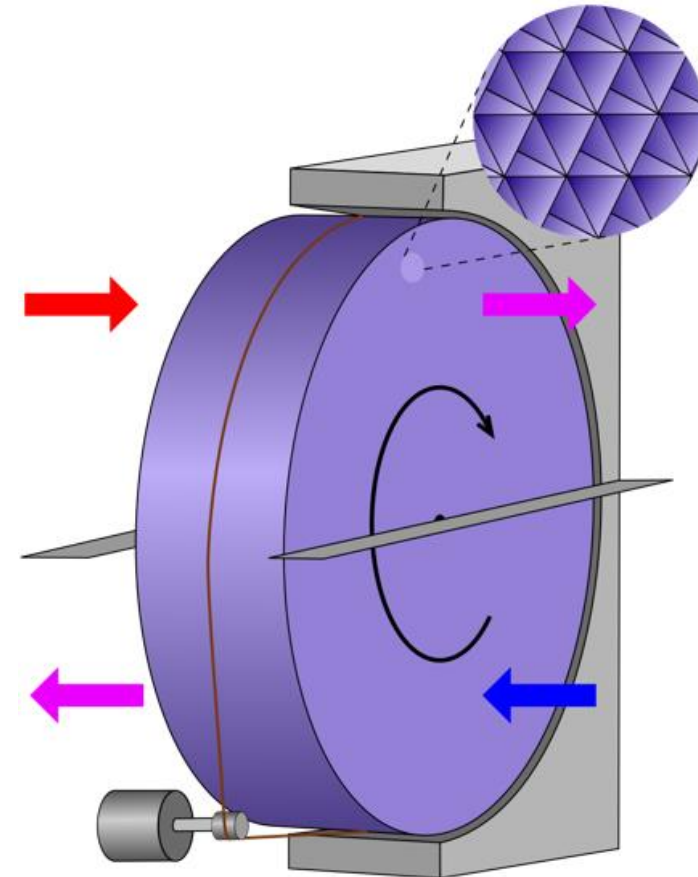
3. Wentylacja wymuszona – odzysk ciepła

Rodzaje wymienników stosowane do odzysku energii w układzie wentylacji wymuszonej

Wymiennik obrotowy

Rotor obraca się pomiędzy strumieniami powietrza, przenosząc ciepło. Charakteryzuje się wysoką sprawnością i mniejszą tendencją do zamarzania.

W wymienniku tym następuje również częściowa wymiana wilgoci oraz w niewielkim stopniu mieszanie powietrza.

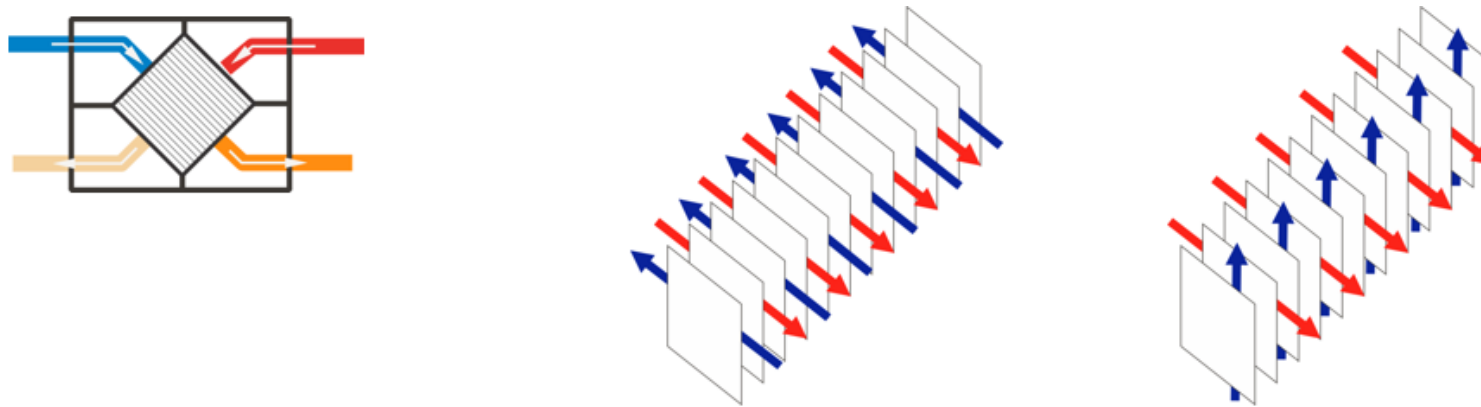


Źródło: Tomia, licencja CC BY 2.5., <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3074789>

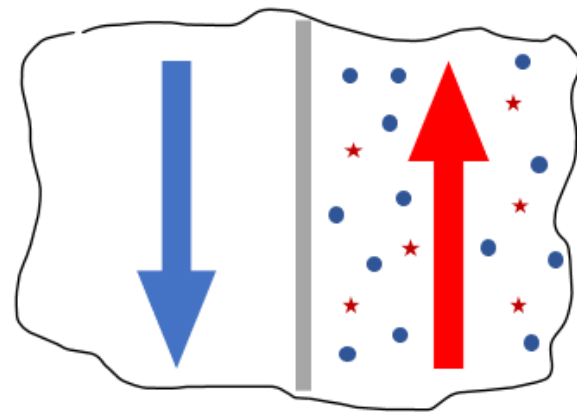
3. Wentylacja wymuszona – odzysk ciepła

Rodzaje wymienników stosowane do odzysku energii w układzie wentylacji wymuszonej

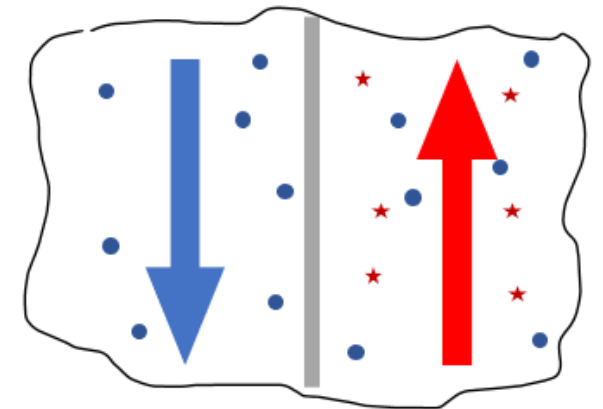
Wymiennik entalpiczny (ERV)



- Para wodna H₂O
- ★ Inne zanieczyszczenia



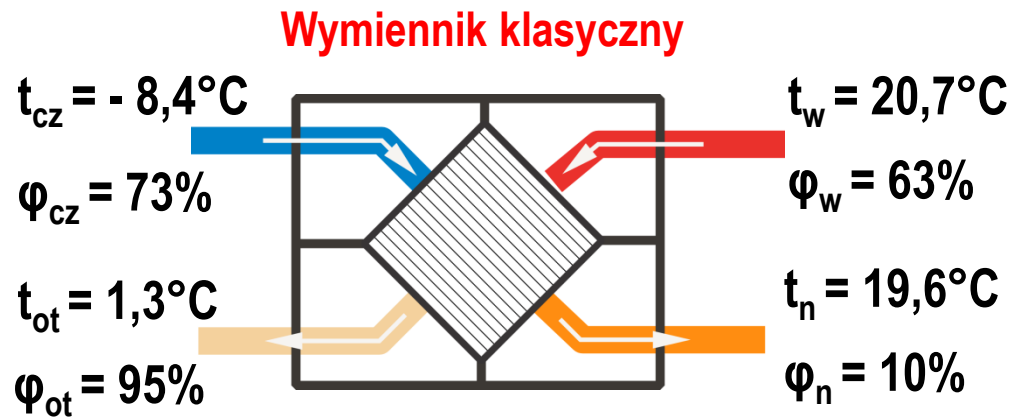
W wymienniku tym dochodzi do wymiany energii (ciepła) oraz umożliwia wymianę wilgoci (pary wodnej)



Rysunki, Źródło : Opracowanie własne

3. Wentylacja wymuszona – odzysk ciepła

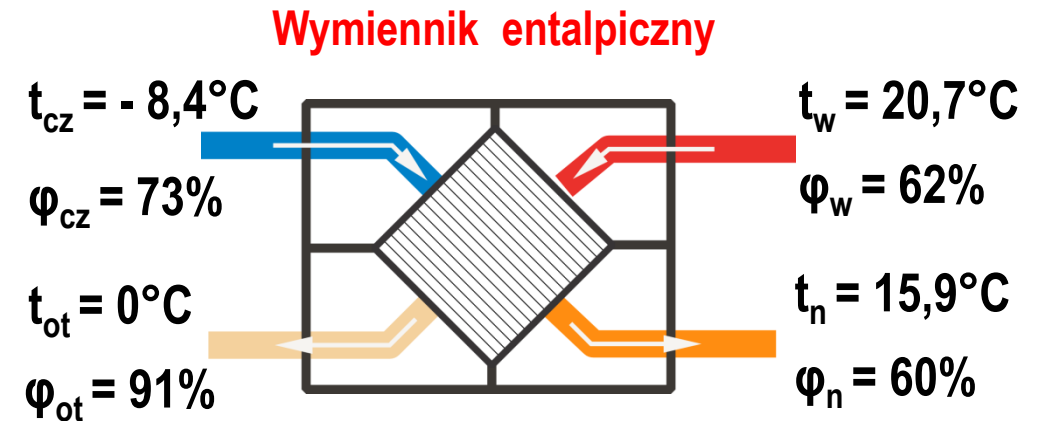
Przykład: porównanie wymiennika klasycznego z entalpicznym



$$\eta_t = 96 \%$$

$$\eta_x = 0$$

$$Q = 1,1 \text{ kWh}$$



$$\eta_t = 83 \%$$

$$\eta_x = 67 \%$$

$$Q = 1,4 \text{ kWh}$$

$$\eta_t = \frac{t_n - t_{cz}}{t_w - t_{cz}}$$

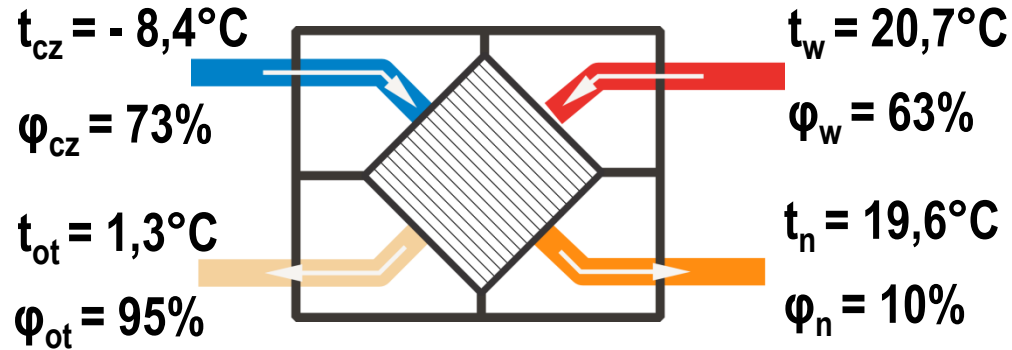
$$\eta_x = \frac{x_n - x_{cz}}{x_w - x_{cz}}$$

Odzysk ciepła dla godzinnej pracy instalacji z wydajnością 100 m³/h

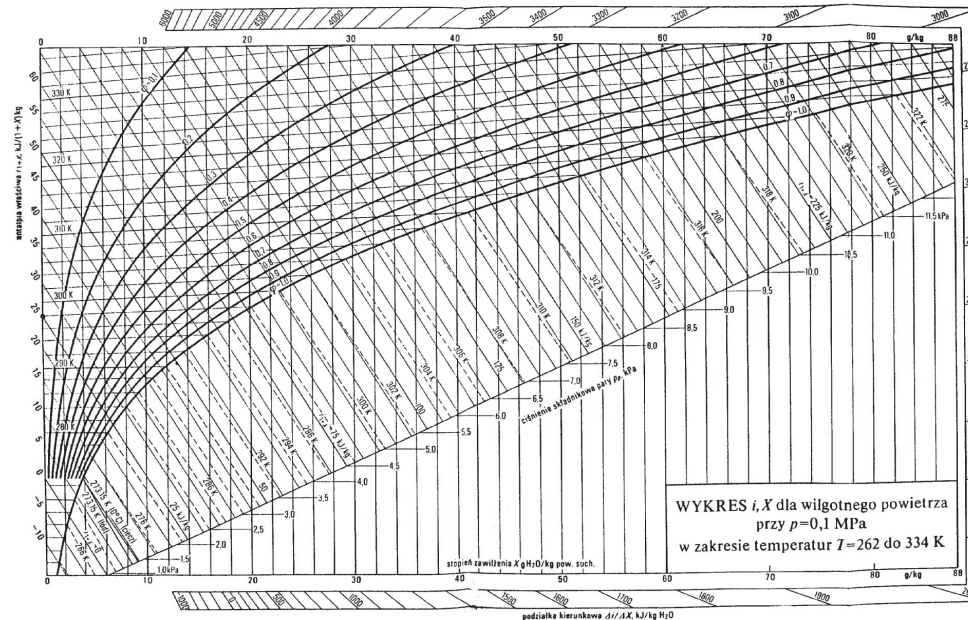
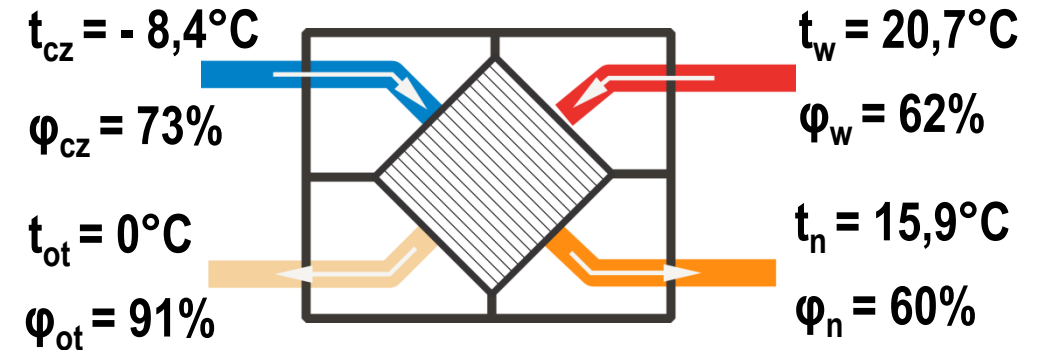
3. Wentylacja wymuszona – odzysk ciepła

Przykład: porównanie wymiennika klasycznego z entalpicznym

Wymiennik klasyczny



Wymiennik entalpiczny



3. Wentylacja wymuszona – odzysk ciepła

$t_n = 19,6^\circ\text{C}$

$\varphi_n = 10\%$

$h_n = 33 \text{ kJ/kg}$

$h_n = 24 \text{ kJ/kg}$

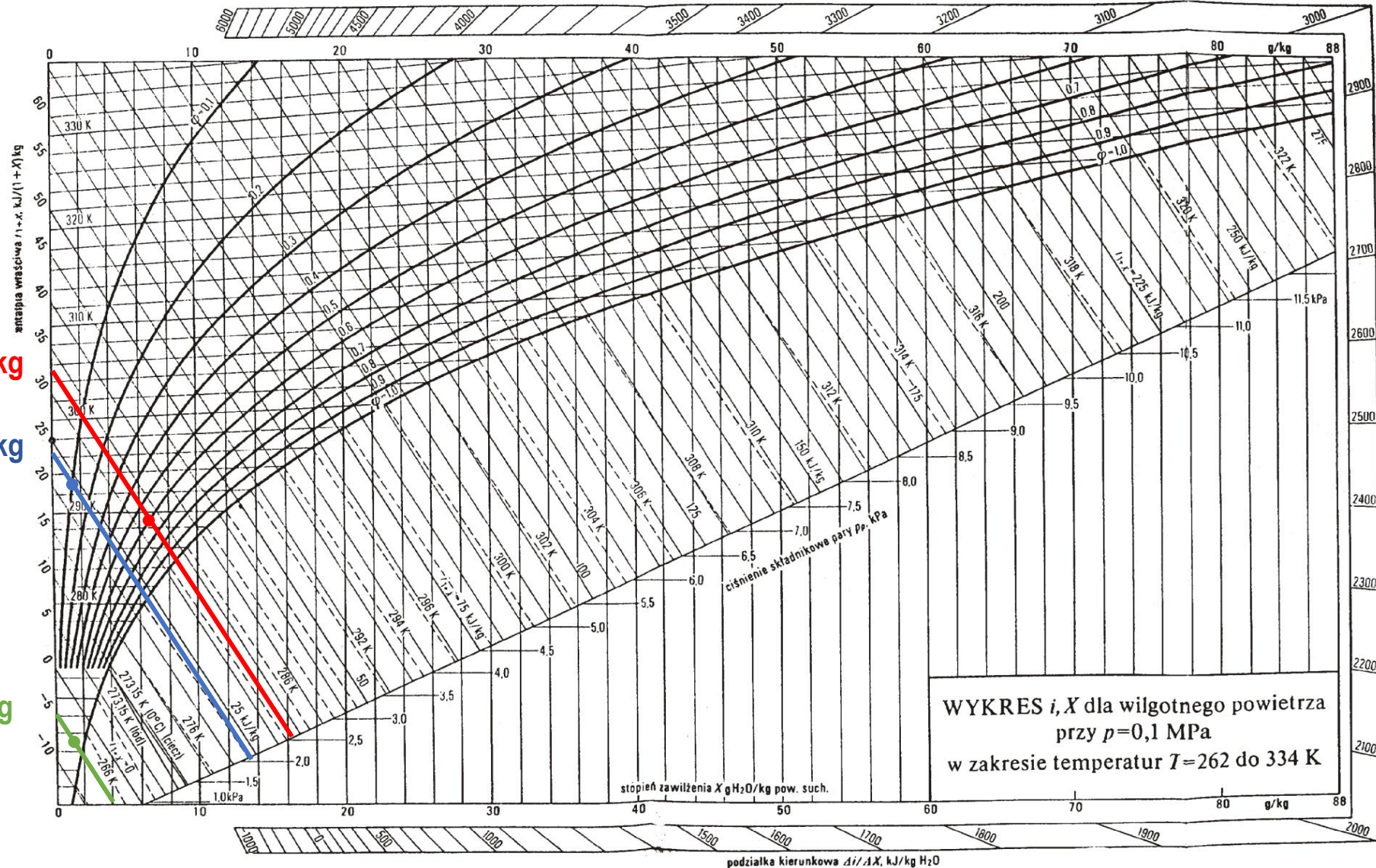
$h_{cz} = -5 \text{ kJ/kg}$

$t_{cz} = -8,4^\circ\text{C}$

$\varphi_{cz} = 73\%$

$t_n = 15,9^\circ\text{C}$

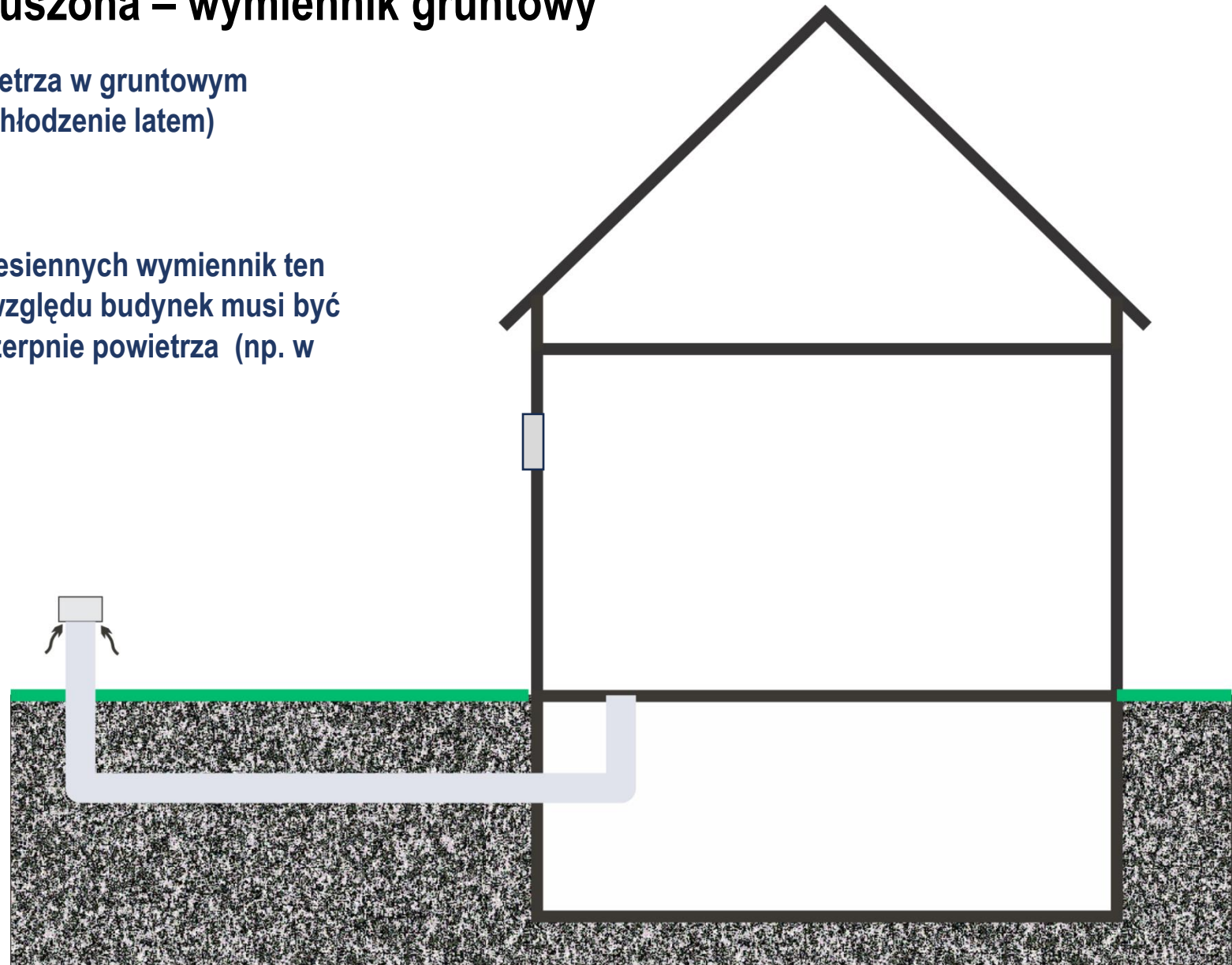
$\varphi_n = 60\%$



3. Wentylacja wymuszona – wymiennik gruntowy

Wstępne podgrzanie powietrza w gruntowym wymienniku ciepła (lub ochłodzenie latem)

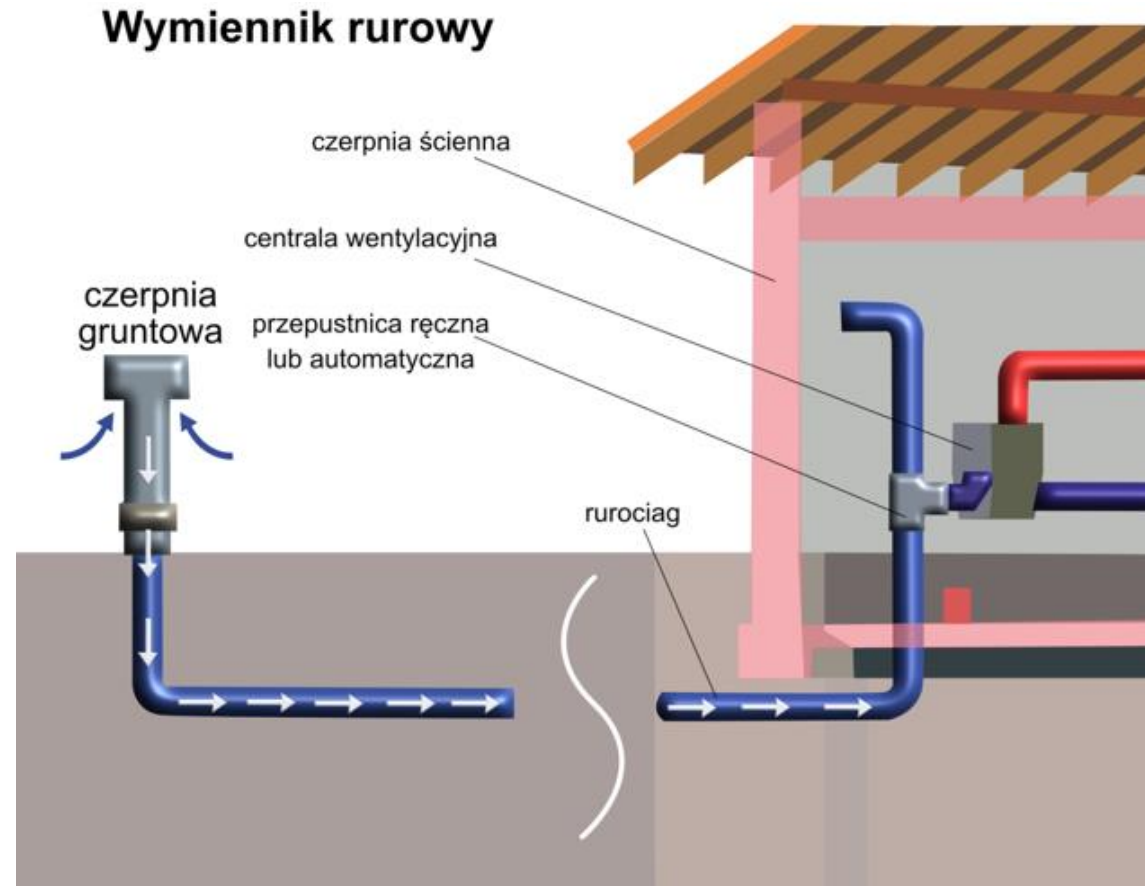
W warunkach wiosennych i jesiennych wymiennik ten jest mało skuteczny. Z tego względu budynek musi być wyposażony w dodatkową czerpnię powietrza (np. w ścianie).



Rysunek, Źródło : Opracowanie własne

3. Wentylacja wymuszona – odzysk ciepła

Wstępne podgrzanie powietrza w gruntowym wymienniku ciepła (lub ochłodzenie latem)

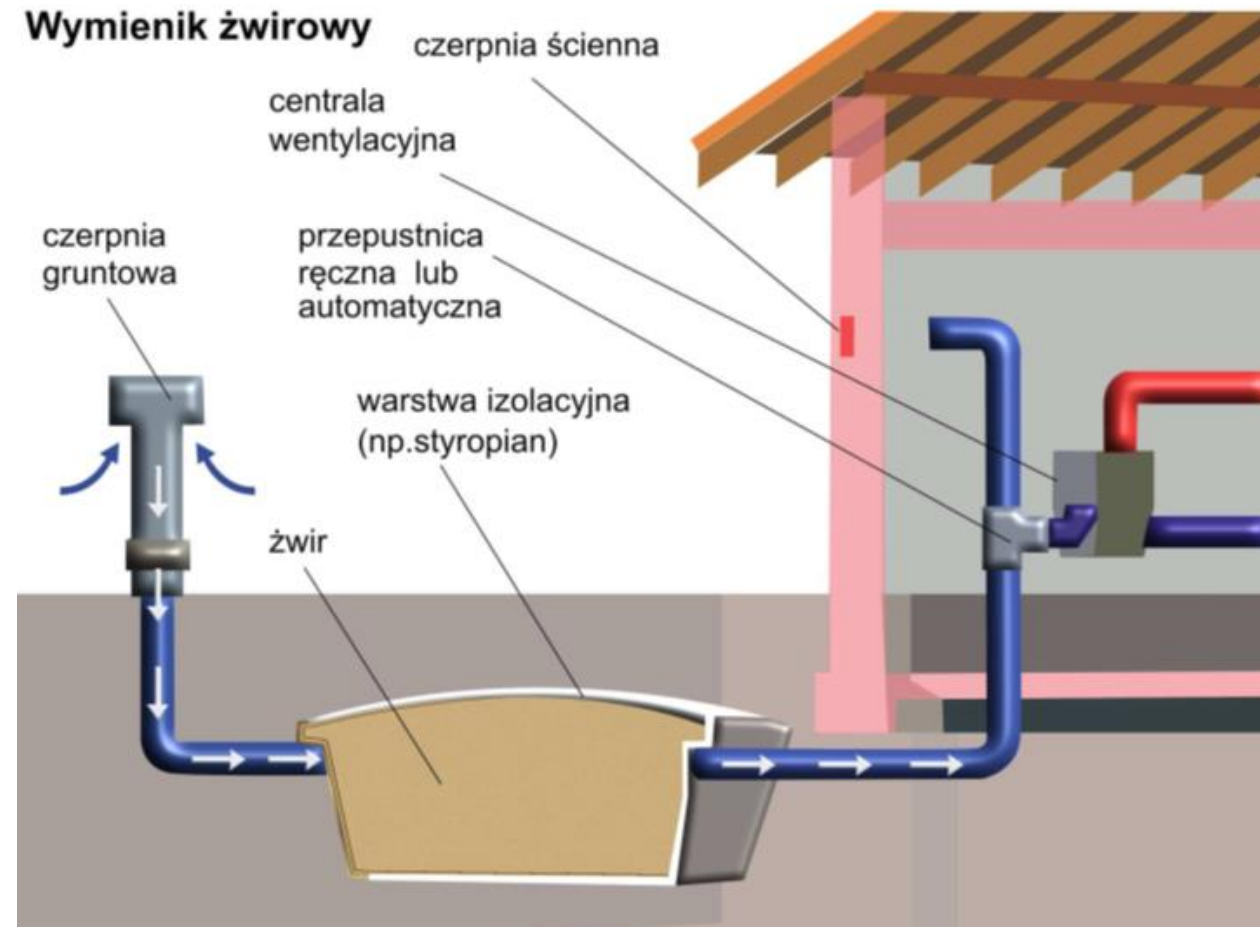


Schemat zamontowanego w gruncie wymiennika rurowego

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY-SA 3.0., Zintegrowana Platforma Edukacyjna
<https://zpe.gov.pl/a/gruntowy-wymiennik-ciepła/DkwtdBli>

3. Wentylacja wymuszona – odzysk ciepła

Wstępne podgrzanie powietrza w
gruntowym wymienniku ciepła (lub
ochłodzenie latem)

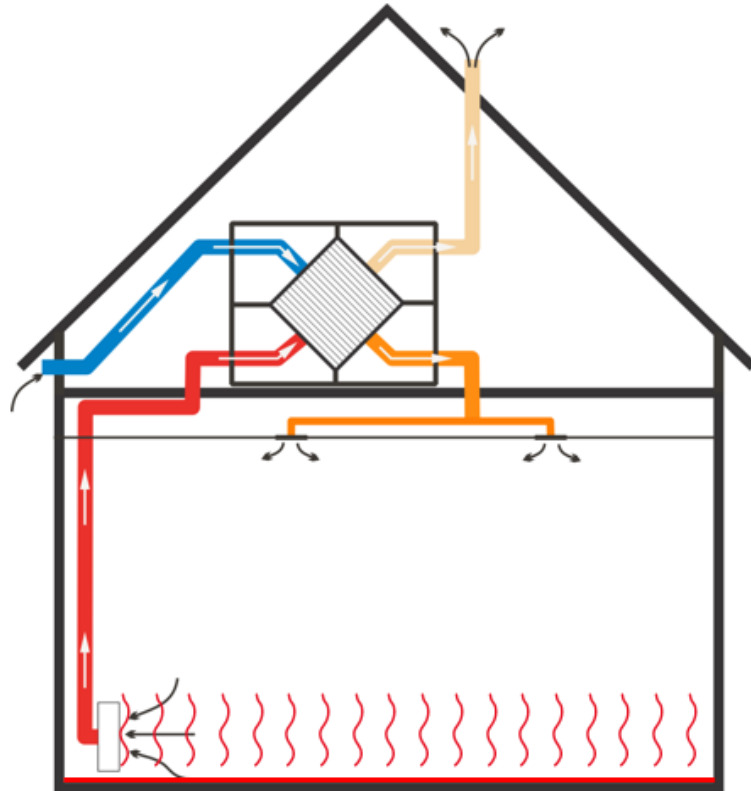


Schemat zamontowanego w gruncie wymiennika żwirowego

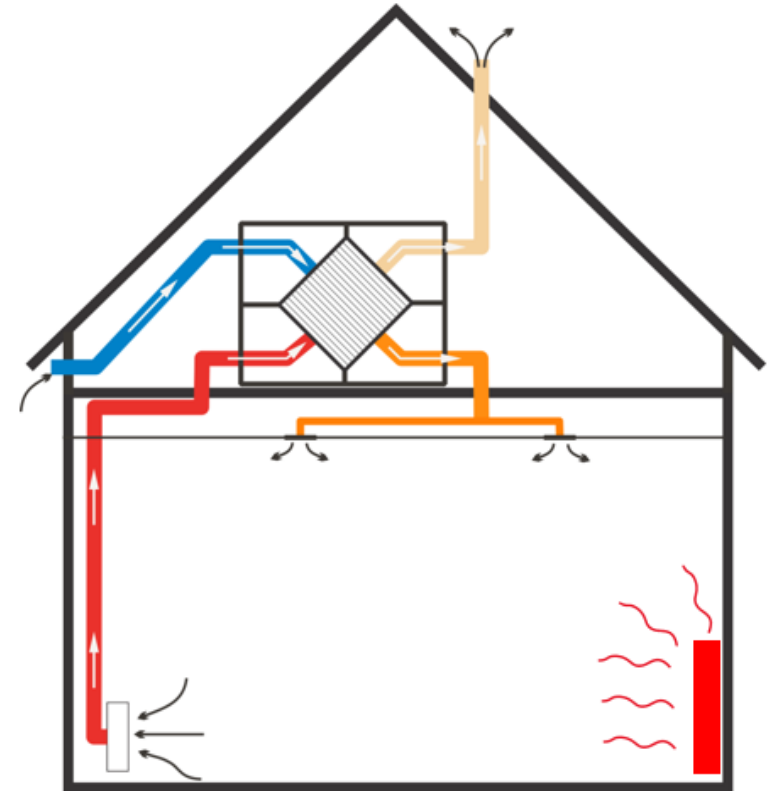
Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY-SA 3.0., Zintegrowana Platforma Edukacyjna
<https://zpe.gov.pl/a/gruntowy-wymiennik-ciepła/DkwjtjdBli>

4. Ogrzewanie

Pomimo odzysku ciepła zachodzi konieczność uzupełnienia niedoborów ciepła



Ogrzewanie podłogowe

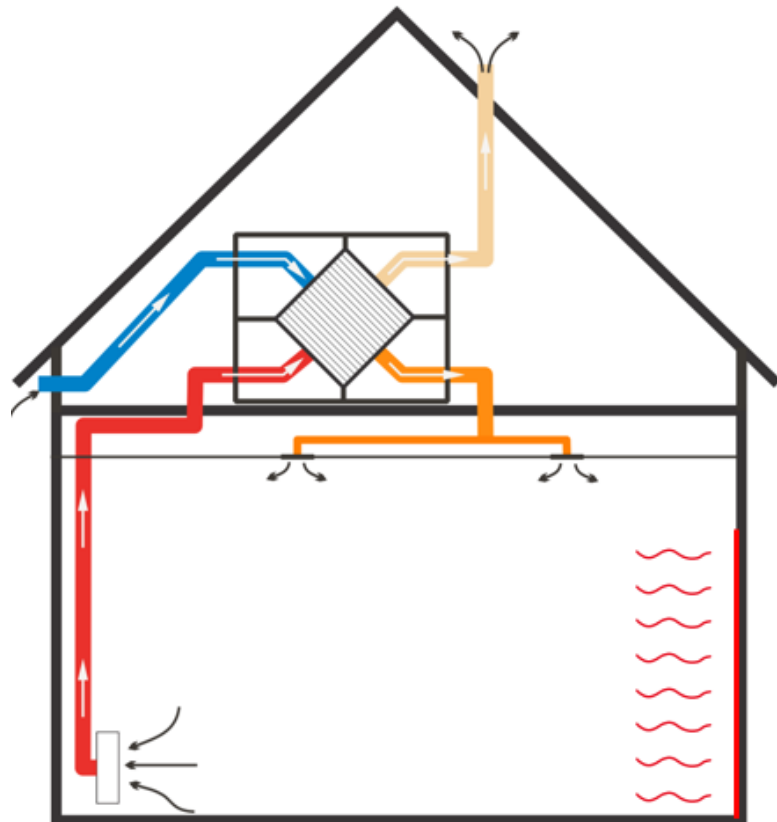


Ogrzewanie grzejnikowe

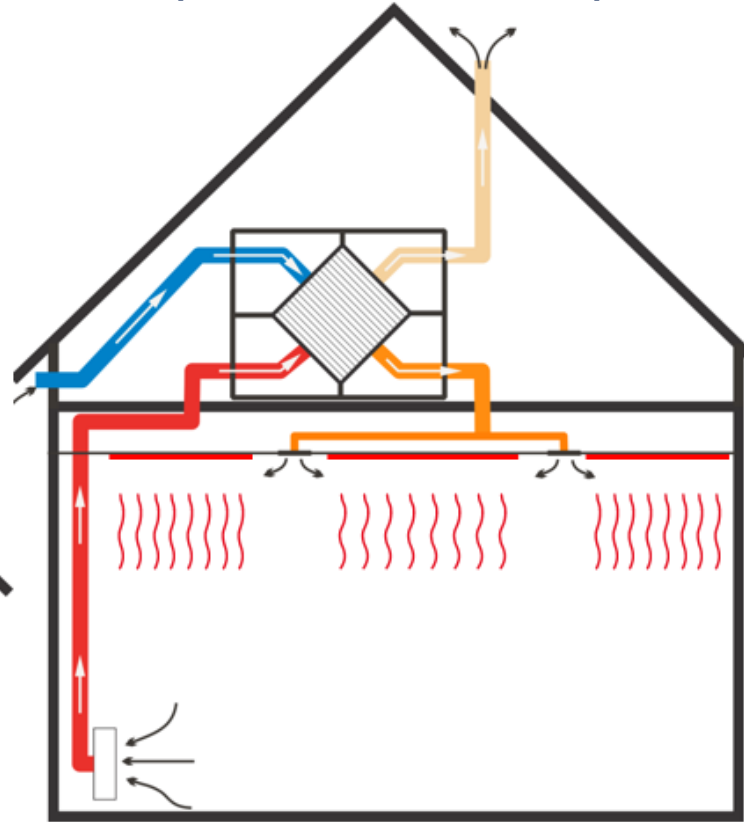
Rysunki, Źródło : Opracowanie własne

4. Ogrzewanie

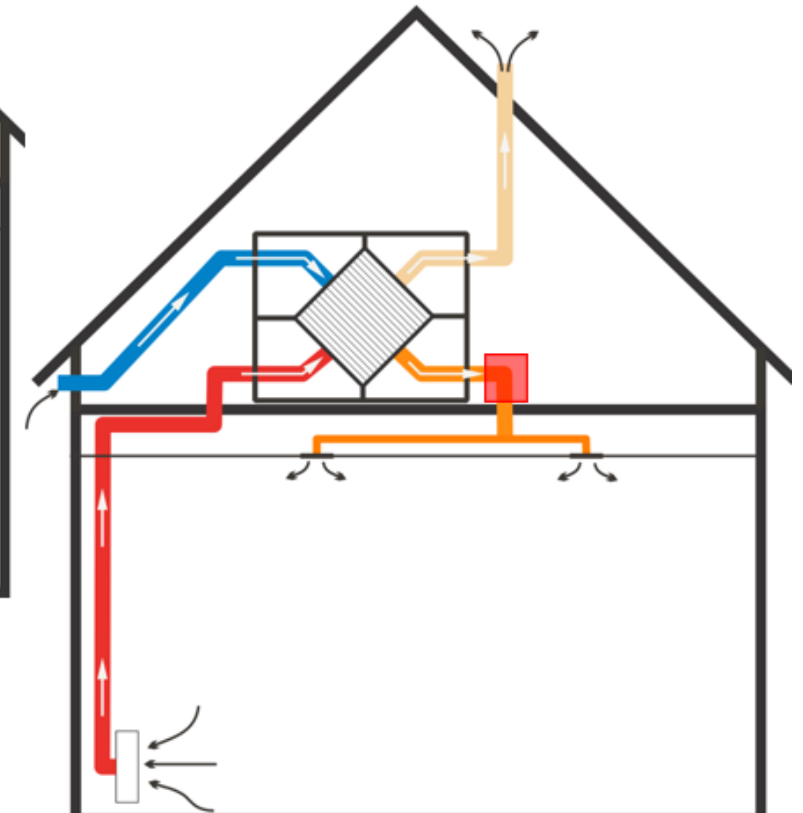
Pomimo odzysku ciepła zachodzi konieczność uzupełnienia niedoborów ciepła



Ogrzewanie ściennie



Ogrzewanie sufitowe



Dodatkowa nagrzewnica powietrza nawiewanego

Rysunki, Źródło : Opracowanie własne

4. Ogrzewanie

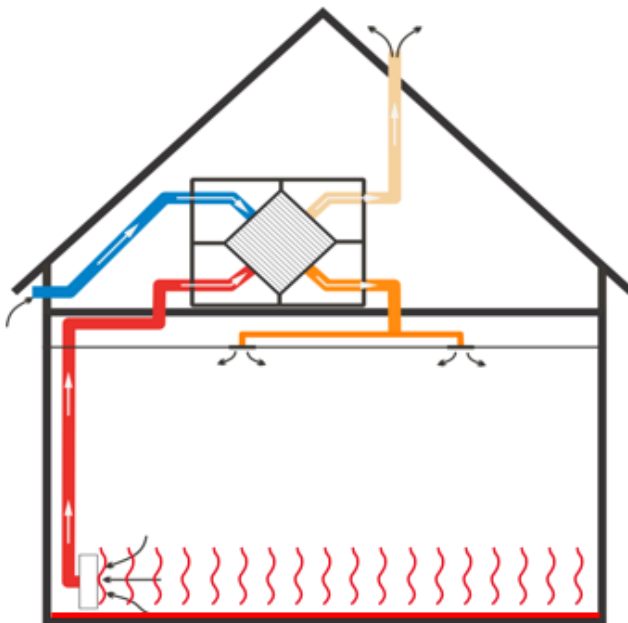
Uzupełnienie strat ciepła (przez przegrody, z powietrzem usuwanym)

Strumień ciepła przekazywany pomiędzy powierzchnia wymiennika a powietrzem w pomieszczeniu i samym pomieszczeniem)

$$\dot{Q} = A \cdot \alpha \cdot (t_g - t_w) = A \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

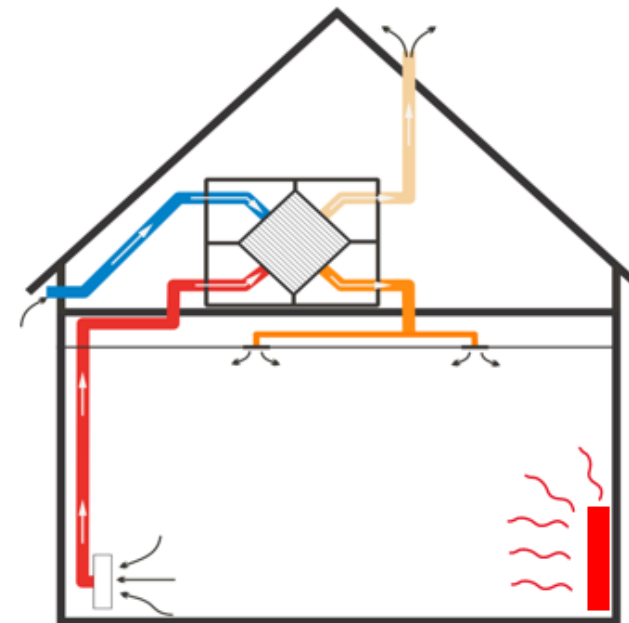
t_g - temperatura powierzchni grzewczej (powierzchni grzejnika),

t_w - temperatura powietrza w pomieszczeniu.



A – duża powierzchnia

Δt – mała różnica temperatur



A – mała powierzchni

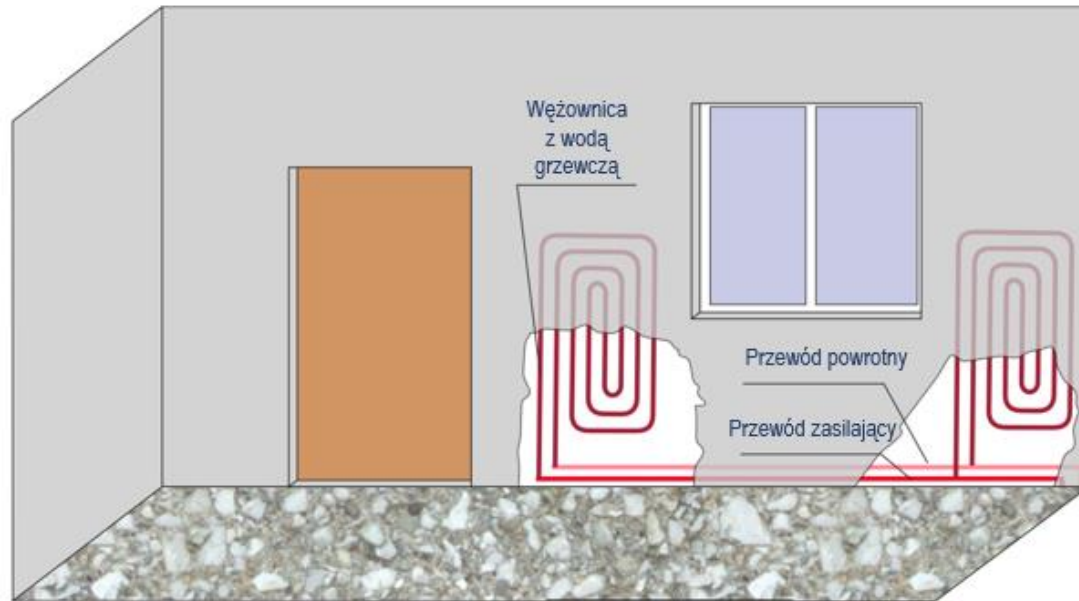
Δt – duża różnica temperatur

Rysunki, Źródło : Opracowanie własne

4. Ogrzewanie

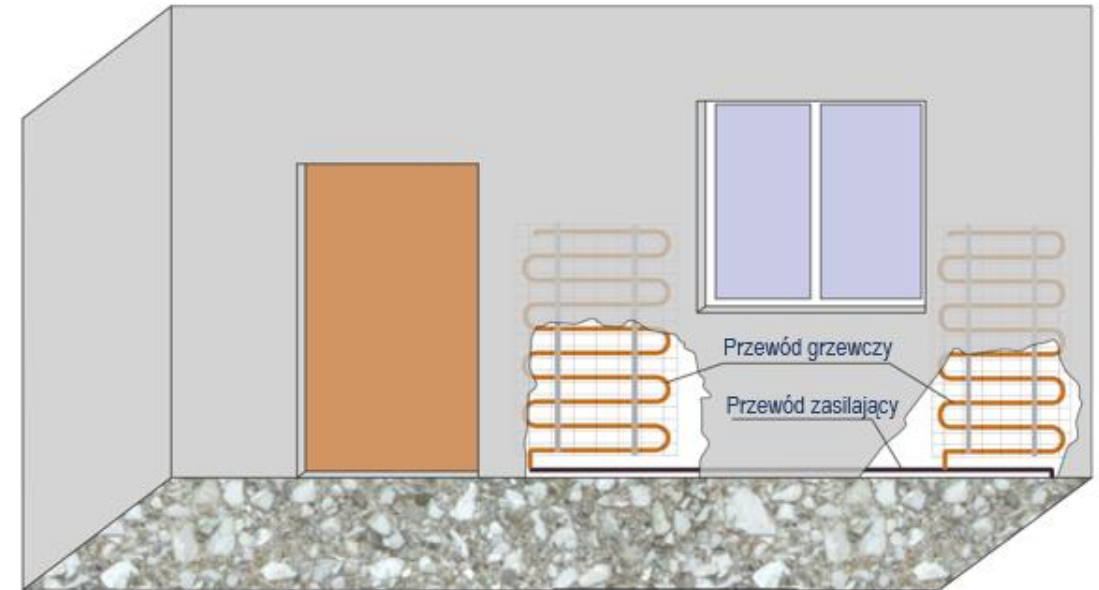
Ogrzewanie ścienne

Ogrzewanie ścienne wodne



Rysunek, Źródło : Opracowanie własne

Ogrzewanie ścienne elektryczne



Rysunek, Źródło : Opracowanie własne

4. Ogrzewanie

Ogrzewanie ścienne

Ogrzewanie podłogowe wodne (lub glikol)



Źródło : Autor: Kiewiev, licencja **CC0**, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=44068361>

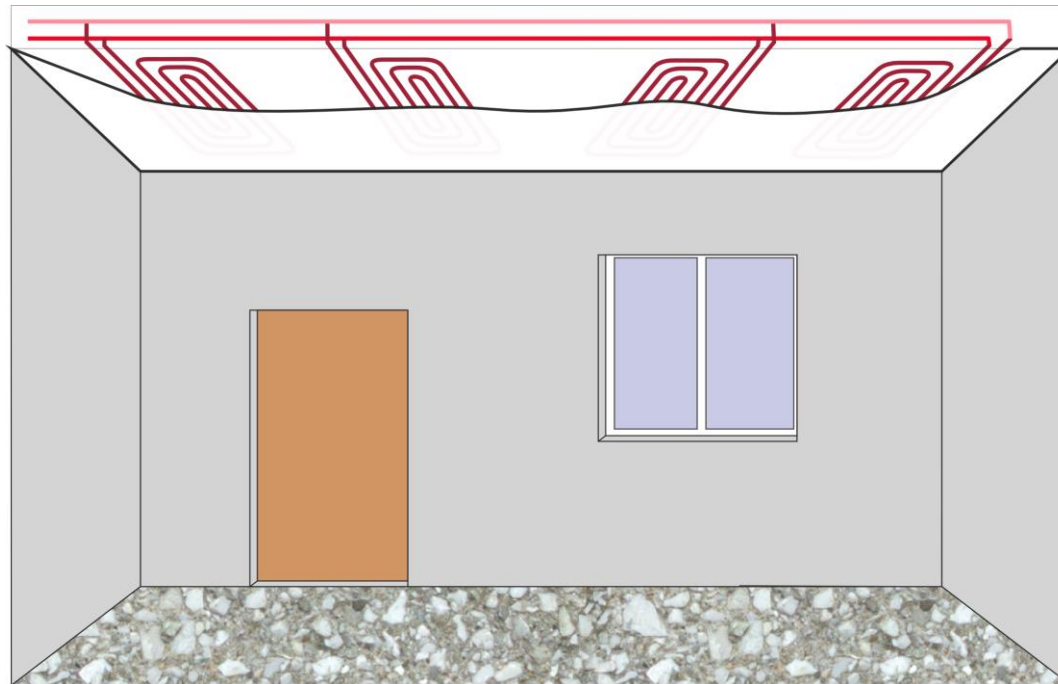
Ogrzewanie podłogowe elektryczne



Źródło : Autor: Ian Haycox - Electrical floor heating, licencja **CC BY-SA 4.0**, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=155817034>

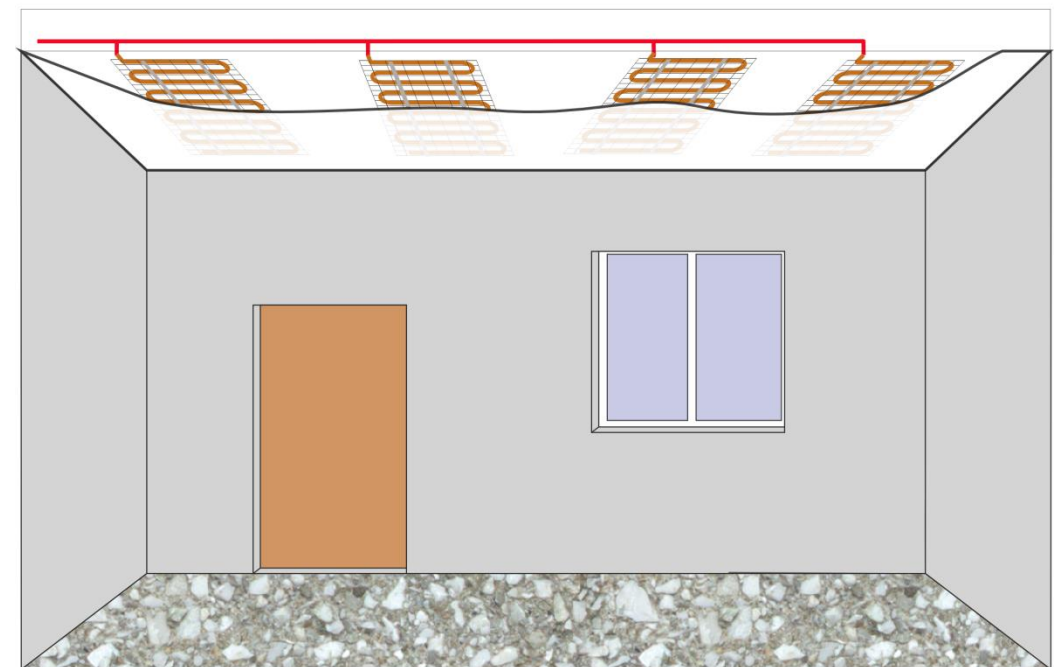
4. Ogrzewanie

Ogrzewanie sufitowe wodne



Rysunek, Źródło : Opracowanie własne

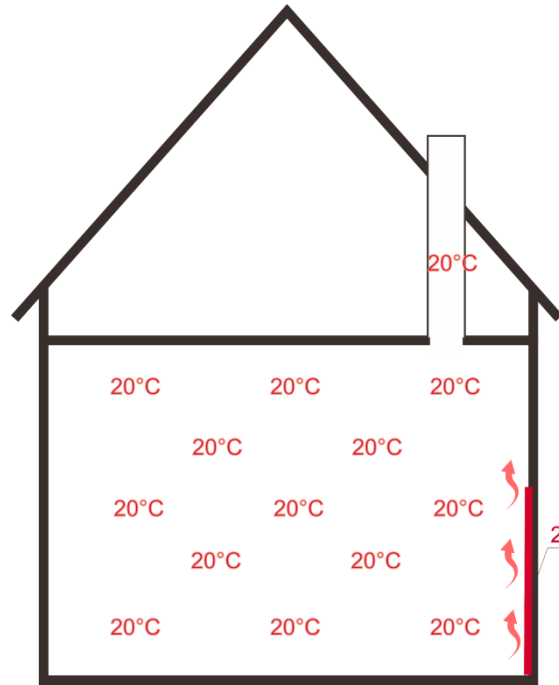
Ogrzewanie sufitowe elektryczne



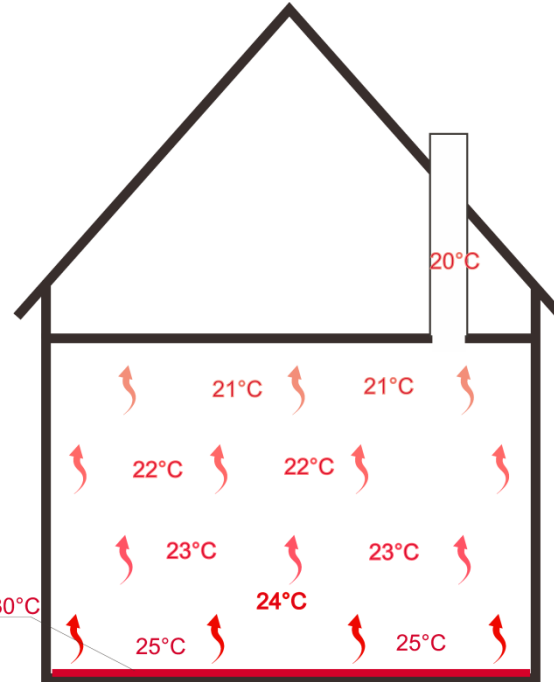
Rysunek, Źródło : Opracowanie własne

4. Ogrzewanie

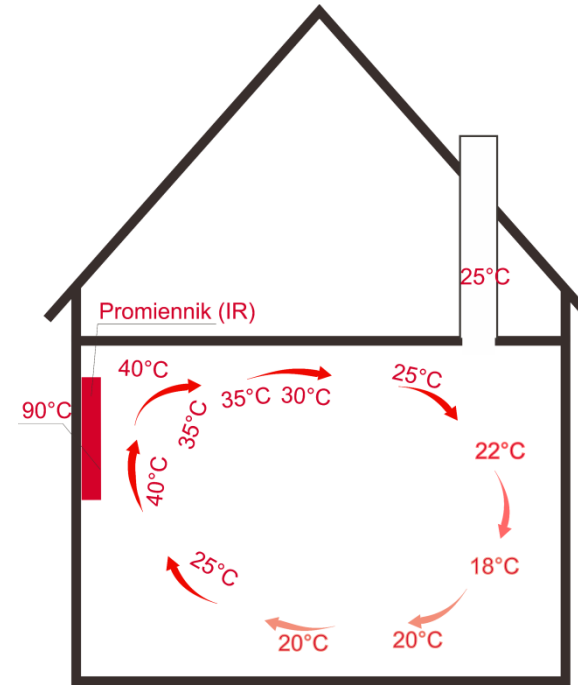
Ogrzewanie – porównanie rozkładów temperatur



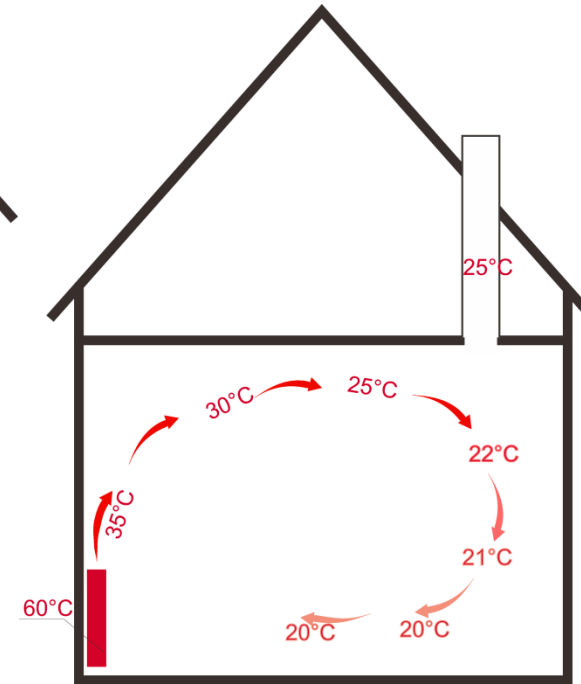
Ogrzewanie ścienne



Ogrzewanie podłogowe



Ogrzewanie IR



Ogrzewanie grzejnikowe

Rysunki, Źródło : Opracowanie własne

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Definicje:

Pompa ciepła to urządzenie, które służy do przenoszenia ciepła z **dolnego niskotemperaturowego źródła ciepła** do **górnego źródła o temperaturze wyższej**. Cel może być realizowany poprzez wymuszenie obiegu termodynamicznego **dostarczeniem pracy** do napędu sprężarki (**pompa sprężarkowa**) lub dostarczenie strumienia ciepła (**pompa absorpcyjna**).

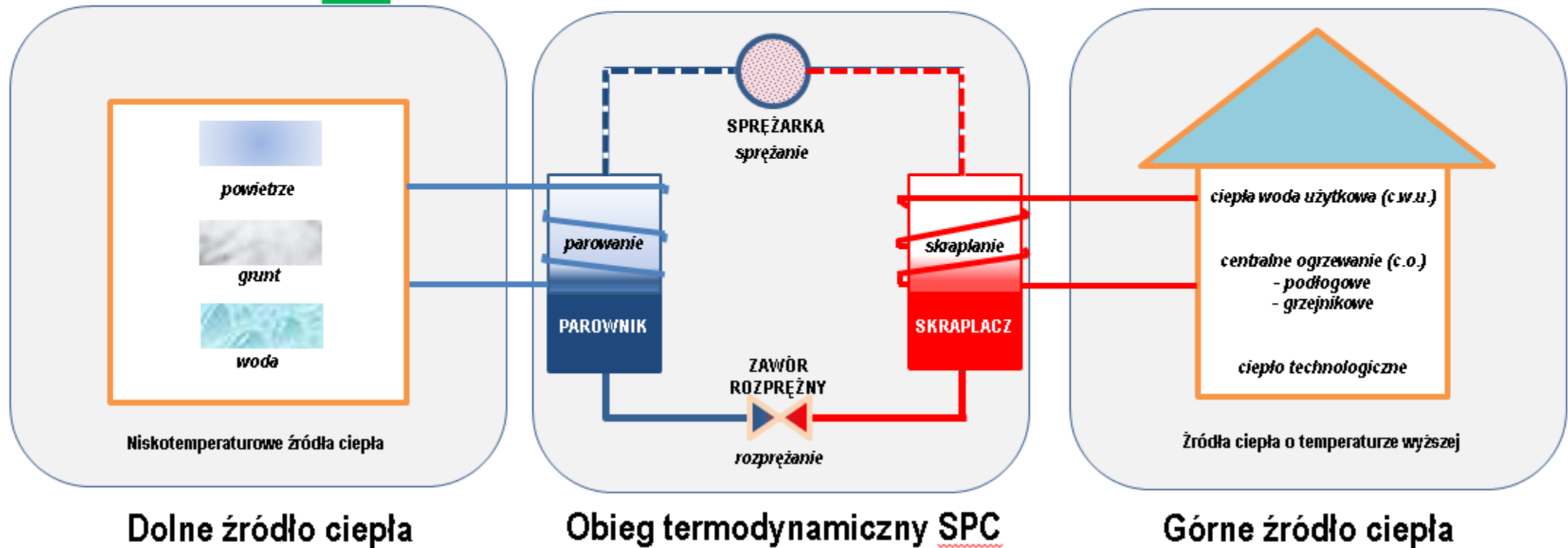
Pompa ciepła to urządzenie grzewcze, które **nie wytwarza energii poprzez spalanie paliwa** (jak kocioł na węgiel czy gaz), lecz **przepompowuje ją** z obszaru o niższej temperaturze (**dolne źródło**) do obszaru o wyższej temperaturze (**górnego źródła**). Tym górnym źródłem może być system c.o., c.w.u. lub ciepła technologicznego. Dolne źródło ciepła to z reguły grunt, powietrze zewnętrzne, ciepło odpadowe (z procesów technologicznych lub np. zużyte powietrze z systemu wentylacyjnego).

Do tego procesu potrzebuje stosunkowo niewielkiej ilości energii elektrycznej, aby napędzić sprężarkę (pompy sprężarkowe) lub ciepła (pompy absorpcyjne).

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie



Źródło: dostępny w internecie: www.maxpixels.net, licencja: CC0, <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/deed.pl>



Rys.5.1. Działanie sprężarkowej pompy ciepła (SPC)

(źródło: opracowanie własne na podstawie BWP/PORT PC)

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie



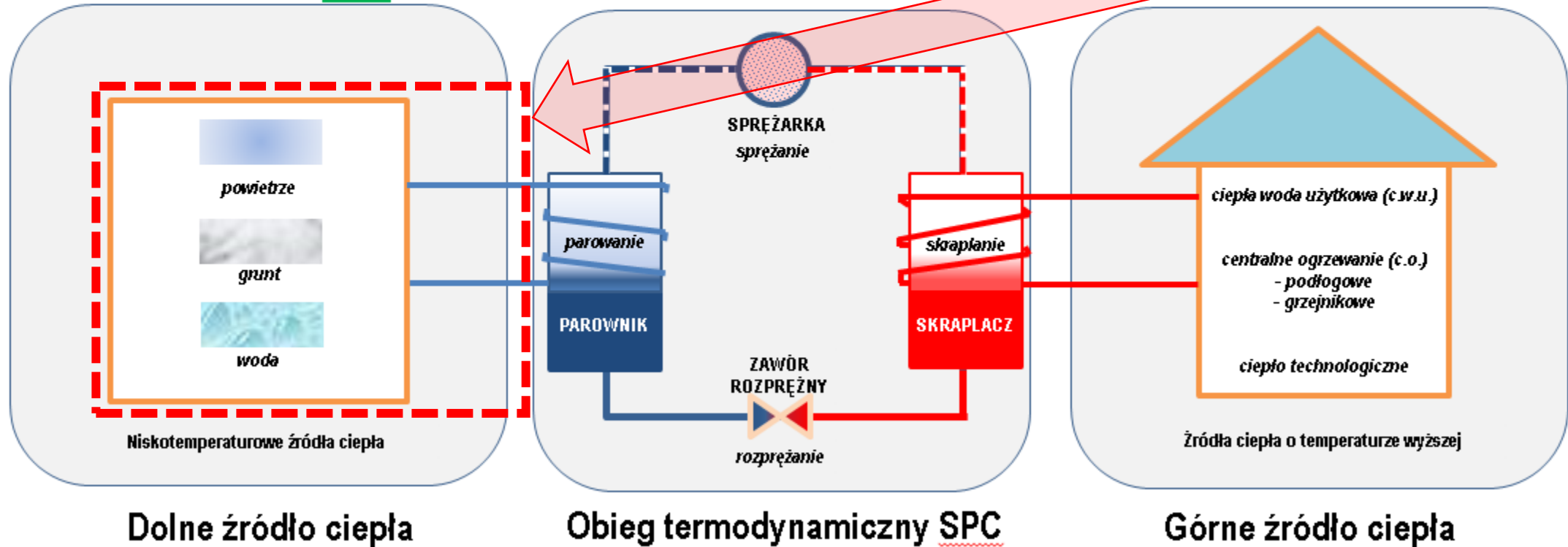
Źródło: dostępny w internecie: www.maxpixels.net, licencja: CC0, <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/deed.pl>

ok. 25% energii napędowej

ok. 75% energii z otoczenia

Ciepło użytkowe

Czynnik roboczy w dolnym źródle ciepła pobiera ciepło z otoczenia.



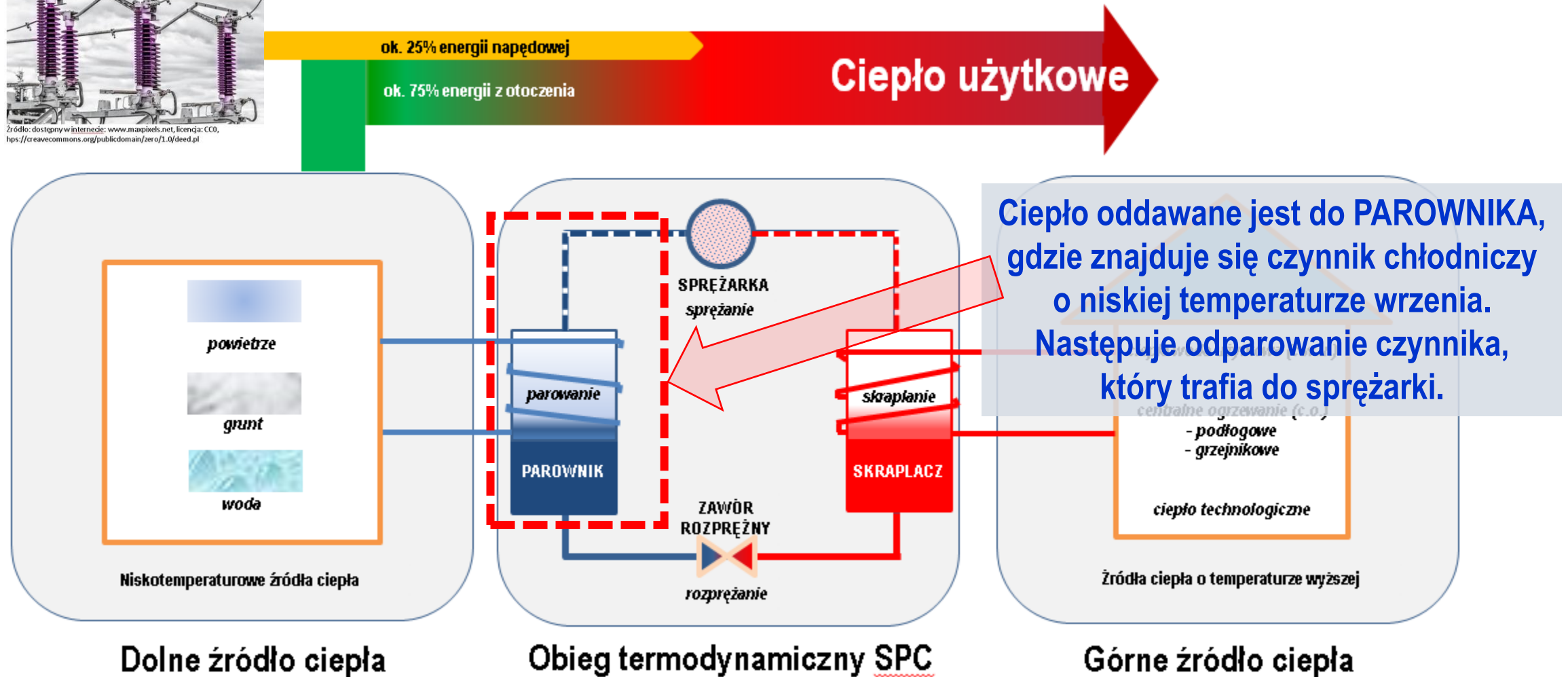
Rys.5.1a. Działanie sprężarkowej pompy ciepła (SPC)

(źródło: opracowanie własne na podstawie BWP/PORT PC)

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie



Zródło: dostępny w internecie: www.maxpixels.net, licencja: CC0, <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/deed.pl>



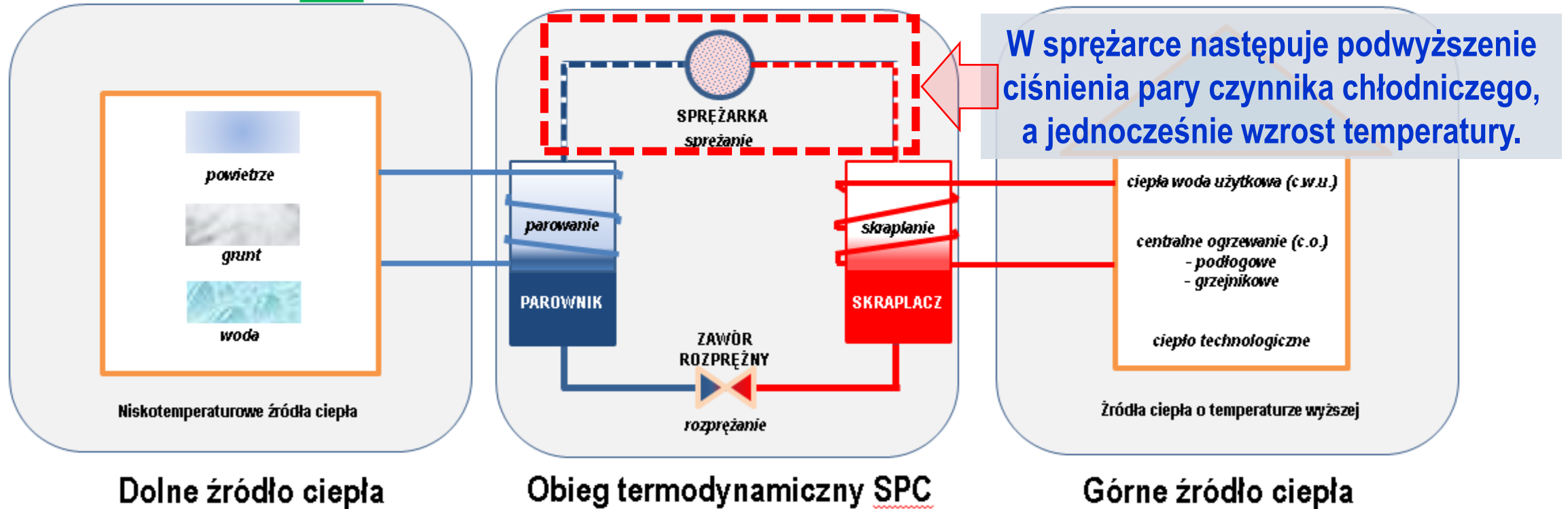
Rys.5.1b. Działanie sprężarkowej pompy ciepła (SPC)

(źródło: opracowanie własne na podstawie BWP/PORT PC)

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie



Zróżło: dostępny w internecie: www.maxpixels.net, licencja: CC0, <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/deed.pl>



Rys.5.1c. Działanie sprężarkowej pompy ciepła (SPC)

(źródło: opracowanie własne na podstawie BWP/PORT PC)

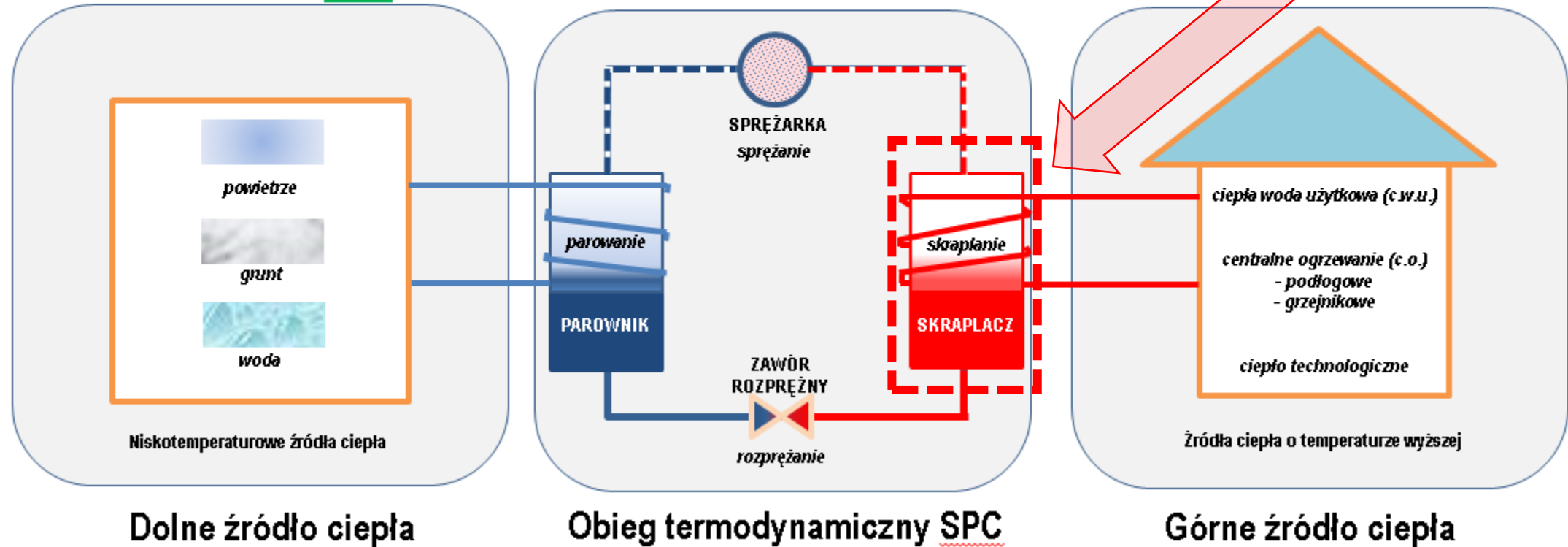
5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie



Zródło: dostępny w internecie: www.maxpixels.net, licencja: CC0, <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/deed.pl>



Gorąca para oddaje ciepło do SKRAPLACZA, a tym samym następuje jej skroplenie.



Rys.5.1d. Działanie sprężarkowej pompy ciepła (SPC)

(źródło: opracowanie własne na podstawie BWP/PORT PC)

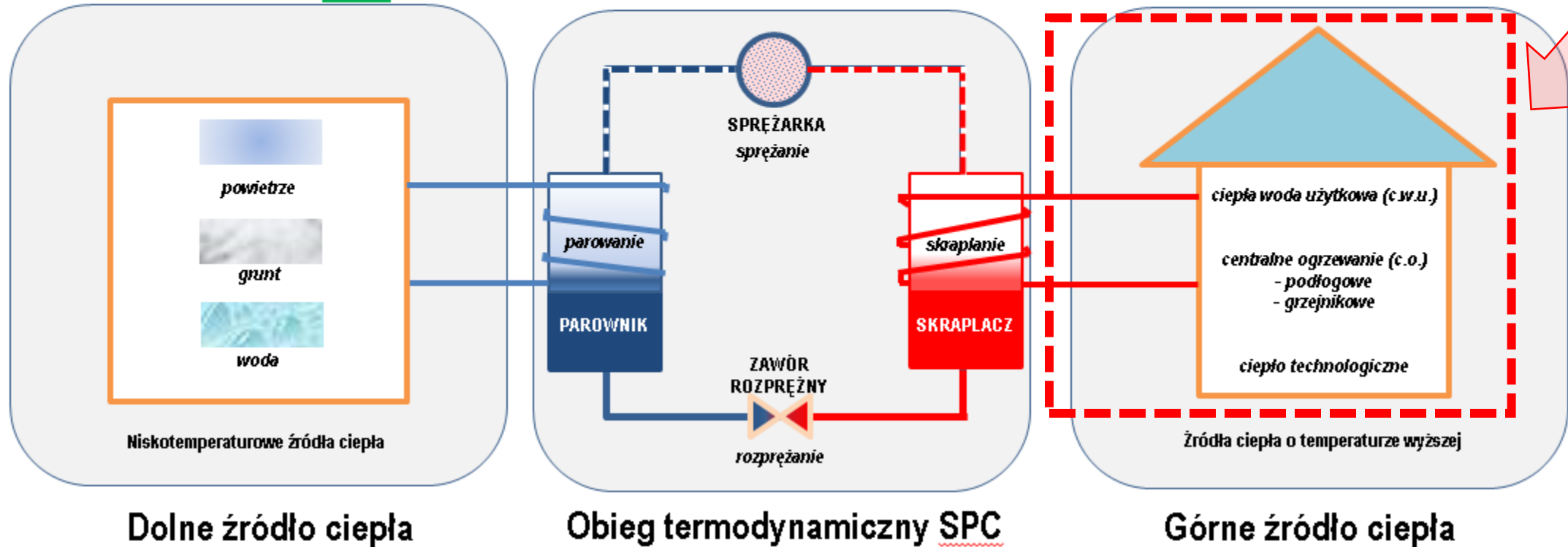
5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie



Źródło: dostępny w internecie: www.maxpixels.net, licencja: CC0, <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/deed.pl>



Ciepło pobrane w SKRAPLACZU wykorzystane jest w górnym źródle ciepła na potrzeby c.o. i/lub c.w.u lub cele technologiczne.



Rys.5.1e. Działanie sprężarkowej pompy ciepła (SPC)

(źródło: opracowanie własne na podstawie BWP/PORT PC)

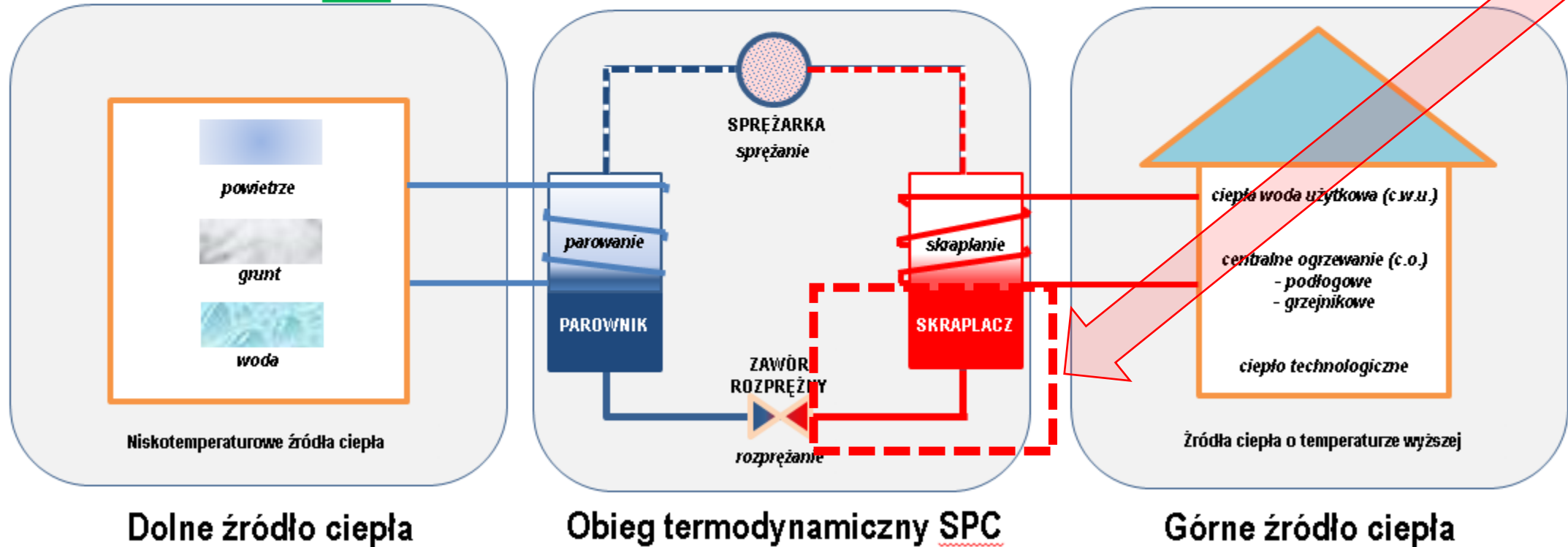
5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie



Źródło: dostępny w internecie: www.maxpixels.net, licencja: CC0, <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/deed.pl>



Skroplony czynnik chłodniczy wraca do obiegu, ale wciąż posiada znaczny potencjał temperatury.



Rys.5.1f. Działanie sprężarkowej pompy ciepła (SPC)

(źródło: opracowanie własne na podstawie BWP/PORT PC)

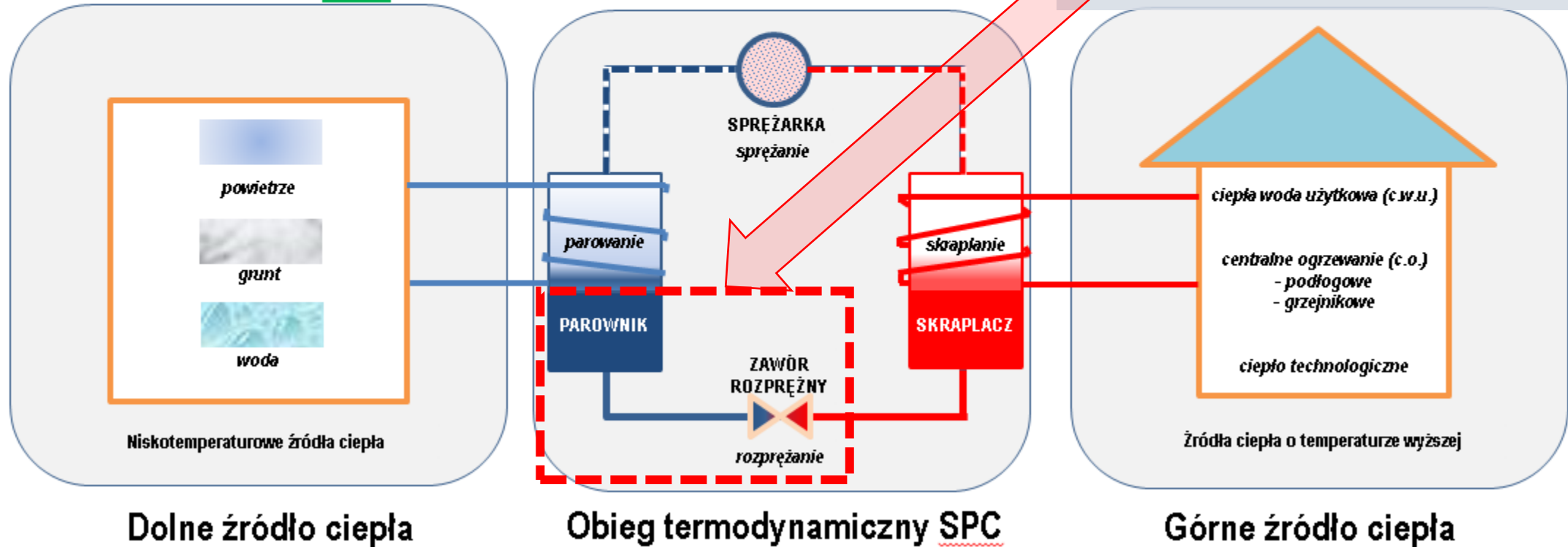
5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie



Zrędo: dostępnv w internecie: www.maxpixels.net, licencja: CC0, https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/deed.pl



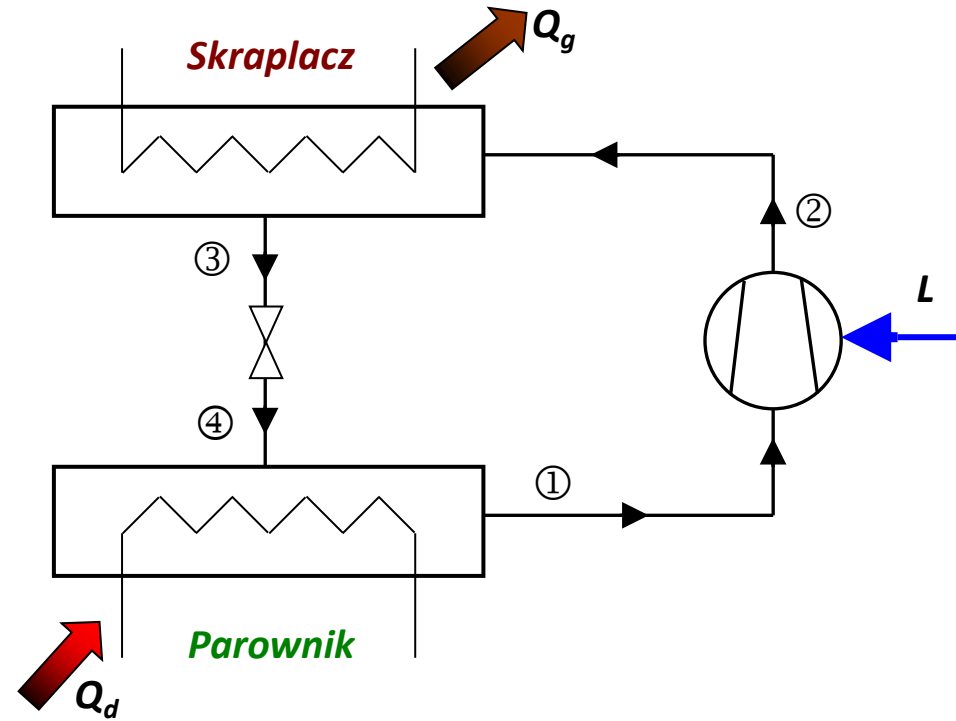
W zaworze rozprężnym gwałtownie spada ciśnienie czynnika chłodniczego, co jednocześnie obniża jego temp. do takiego stopnia, że za chwilę znów będzie mógł pobrać ciepło od czynnika będącego w dolnym źródle ciepła



Rys.5.1g. Działanie sprężarkowej pompy ciepła (SPC)

(źródło: opracowanie własne na podstawie BWP/PORT PC)

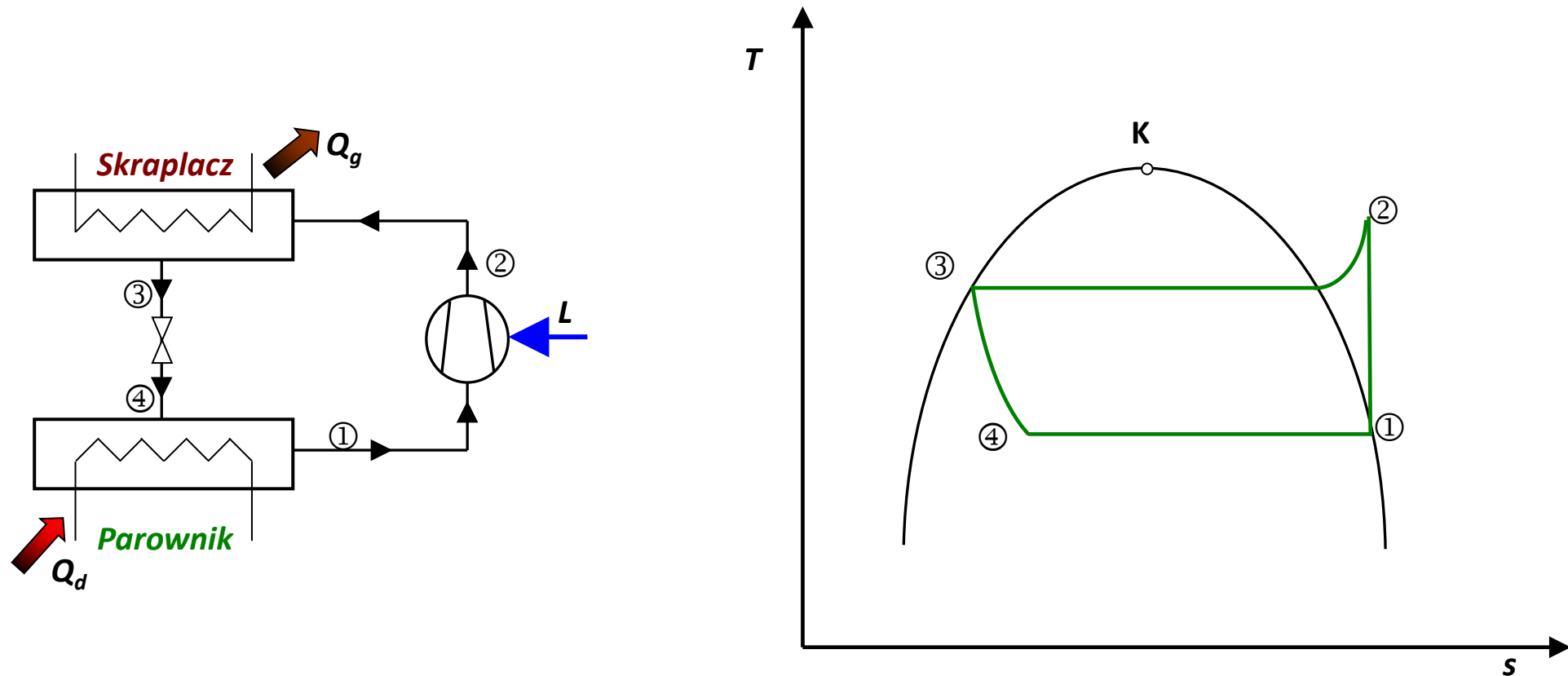
5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie



Rys. 5.2. Schemat strukturalny sprężarkowej pompy ciepła

(źródło: opracowanie własne)

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie



- ① - ② izentropowe sprężanie
- ② - ③ izobaryczno-izotermiczne skraplanie
- ③ - ④ izentalpowe dławienie
- ④ - ① izobaryczno-izotermiczne odparowanie

Rys. 5.3. Schemat strukturalny SPC oraz obieg Lindego

(źródło: opracowanie własne)

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Efektywność termiczną sprężarkowej pompy ciepła:

$$\varepsilon_{pc} = \frac{\dot{Q}_g}{\dot{L}_s}$$

Z Pierwszej Zasady Termodynamiki dla pompy ciepła wynika:

$$\dot{Q}_g = \dot{L}_s + \dot{Q}_d$$

Sprawność efektywną sprężarki możemy obliczyć ze wzoru:

$$\eta_s = \frac{\dot{L}_s}{N_{el}}$$

Po wykorzystaniu wcześniejszych zależności efektywność termiczną sprężarkowej pompy ciepła obliczymy:

$$\varepsilon_{pc} = \frac{\eta_s N_{el} + \dot{Q}_d}{\eta_s N_{el}} = 1 + \frac{\dot{Q}_d}{\eta_s N_{el}}$$

Efektywność termiczna SPC wynikająca z tzw. karnotyzacji obiegu:

$$\varepsilon_{pc \text{ Carnota}} = \frac{T_{SKR}}{T_{SKR} - T_{PAR}}$$

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Efektywność termiczna lub inaczej wydajność pomp ciepła:

COP (Coefficient of Performance) – współczynnik wydajności w danej chwili.

Jeśli pompa ma COP równe 4,5, oznacza to, że w danym momencie z 1 kW prądu produkuje 4,5 kW ciepła.

SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) – współczynnik sezonowy, znacznie ważniejszy od COP, gdyż określa **średnią wydajność urządzenia w skali całego roku** (uwzględniając zmiany temperatur zimą i jesienią).

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Klasyfikacja ze względu na źródło (skąd bierze ciepło?)

Pompy ciepła najczęściej dzielimy według tego, z jakiego medium czerpią energię:

- **powietrzne (typu powietrze-woda):** najpopularniejsze; pobierają ciepło bezpośrednio z powietrza zewnętrznego. Są łatwe w montażu, ale ich wydajność spada, gdy na zewnątrz panują ekstremalne mrozy.
- **gruntowe (typu solanka-woda):** wykorzystują energię zgromadzoną w ziemi za pomocą pionowych odwiertów lub kolektorów poziomych. Są bardzo stabilne i wydajne niezależnie od pogody.
- **wodne (typu woda-woda):** pobierają ciepło z wód gruntowych. Wymagają budowy dwóch studni (czerpalnej i zrzutowej), ale oferują najwyższą efektywność.

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Klasyfikacja ze względu na źródło ciepła nisko- i wysokotemperaturowe

- typu powietrze – woda,
- typu powietrze – powietrze,
- typu woda – woda,
- typu woda – powietrze,
- typu grunt – powietrze,
- typu grunt – woda.

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Podział pomp ciepła – kryterium NAPĘD

- sprężarkowa z czynnikiem jednoskładnikowym,
- sprężarkowa z czynnikiem dwuskładnikowym,
- absorpcyjna,
- absorpcyjny transformator ciepła,
- resorpcyjna napędzana energią mechaniczną,
- resorpcyjna napędzana energią cieplną,
- wykorzystująca sprężanie oparów,
- sprężarkowa z obiegiem gazowym,
- sprężarkowa z otwartym obiegiem powietrznym,
- chemiczny transformator ciepła,
- wykorzystująca efekt Ranque'a,
- wykorzystująca efekt elektrodyfuzji,
- termoelektryczna,
- magnetyczna.

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Podział pomp ciepła – kryterium rodzaj DOLNEGO źródła ciepła

- pompy ciepła wykorzystujące **naturalne** źródła ciepła, jak powietrze zewnętrzne, wody powierzchniowe i głębinowe, grunt, promieniowanie słoneczne itp.,
- pompy ciepła wykorzystujące jako źródła ciepła ciepło **odpadowe**, jak np. ciepło wód odpadowych, ciepło powietrza z pomieszczeń klimatyzowanych itp.,
- pompy ciepła wymienione wyżej połączone szeregowo, aby utrzymać stosunkowo wysokie temperatury.

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Możliwości pracy pomp ciepła

W przypadku pomp ciepła możliwe jest jednoczesne wykorzystanie mocy ziębienia i mocy grzania, jak również alternatywne (także w czasie) wykorzystanie raz chłodzenia, innym razem grzania:

Dwa warianty rozwiązań:

A) Zmiana przepływającego czynnika przez wymienniki, np. w parowaczu: latem zimna woda do klimatyzacji, zimą woda gruntowa jako źródło ciepła; w skraplaczu: zimna woda z chłodni latem i ciepła woda do ogrzewania pomieszczeń zimą.

B) Zmiana obiegu ziębnika w taki sposób, że wymiennik ciepła pracujący latem jako skraplacz w zimie pracuje jako parowacz (latem oddaje ciepło wodzie gruntowej, zimą odbiera ciepło od niej). Tak samo drugi wymiennik: latem pracuje jako parowacz i chłodzi np. wodę do celów klimatyzacyjnych, zimą pracuje jako skraplacz podgrzewający wodę do ogrzewania.

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Zalety stosowania układów z pompą ciepła:

- prawie darmowa energia pochodzi z niewyczerpywalnego źródła – środowiska,
- wygoda i czystość – nie wymaga instalowania komina czy dodatkowego systemu wentylacji, nie wydziela zapachów, jest w pełni zautomatyzowana, ograniczone potrzeby konserwacji i okresowe przeglądy,
- ekologia – brak emisji spalin na miejscu (tzw. *niska emisja*),
- bezpieczeństwo – brak ryzyka wybuchu gazu czy zaczadzenia,
- wielofunkcyjność – większość pomp jest rewersyjnych (latem chłodzą, zimą grzeją),
- autonomiczność – w połączeniu z PV/mikrosiłowniami wiatrowymi praca niemal za darmo,
- uniezależnienie od wzrostu cen paliw,
- sprawność pompy ciepła w miarę upływu czasu nie obniża się – jest stała w całym okresie jej eksploatacji.

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Ograniczenia pomp ciepła:

1) Zależność od temperatury zewnętrznej (szczególnie pompy powietrzne)

- **Spadek wydajności:** im zimniej na zewnątrz, tym trudniej pompie **wycisnąć** ciepło z powietrza. Gdy temperatura spada poniżej **-15°C** czy **-20°C**, współczynnik COP drastycznie maleje.
- **Punkt biwalencyjny:** przy bardzo niskich temperaturach pompa musi wspomagać się wbudowanymi grzałkami elektrycznymi. Wtedy koszt ogrzewania gwałtownie rośnie, bo urządzenie zaczyna działać jak zwykły grzejnik elektryczny.

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Ograniczenia pomp ciepła:

2) Wymóg niskiej temperatury zasilania

Pompy ciepła pracują najefektywniej, gdy temp. wody w instalacji jest niska (ok. **35–40°C**).

- **Problem ze starymi grzejnikami:** tradycyjne, żeliwne grzejniki wymagają wody o temperaturze **60–70°C**. Zmuszenie pompy do pracy na tak wysokich parametrach drastycznie obniża jej żywotność i zwiększa rachunki za prąd.
- **Konieczność termomodernizacji:** często instalacja pompy w starym, nieocieplonym domu bez wymiany grzejników na „podłogówkę” lub grzejniki niskotemperaturowe jest po prostu nieopłacalna.

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Ograniczenia pomp ciepła:

3) Wysokie koszty inwestycyjne

Mimo że eksploatacja jest tania, inwestycja w tę technologię jest droga:

- **Cena urządzenia i montażu:** pompa ciepła wraz z osprzętem to wydatek rzędu **30 000 – 60 000 PLN** (lub więcej w przypadku pomp gruntowych wymagających odwiertów).
- **Długi czas zwrotu:** bez dotacji (np. z programów *Mój Prąd* czy do niedawna *Czyste Powietrze*) inwestycja może zwracać się przez wiele lat.

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Ograniczenia pomp ciepła:

4) Kwestie techniczne i hałas

- **Hałas jednostki zewnętrznej:** wentylator pompy powietrznej generuje szum. Może on być uciążliwy dla domowników lub sąsiadów, zwłaszcza jeśli jednostka zostanie zamontowana blisko okien sypialni.
- **Miejsce w kotłowni:** choć pompa nie potrzebuje składu opału, jednostka wewnętrzna (zasobnik c.w.u. i bufor) zajmuje sporo miejsca – zazwyczaj tyle, co duża lodówka.

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Ograniczenia pomp ciepła:

5) Wrażliwość na ceny energii elektrycznej

Pompa ciepła sprawia, że stajemy się całkowicie zależni od prądu.

- **Brak prądu = brak ciepła:** W przeciwieństwie do kominka, pompa nie zadziała podczas awarii sieci (chyba że mamy zasilanie awaryjne).
- **Ceny energii:** Jeśli ceny prądu wzrosną bardziej niż ceny gazu czy pelletu, opłacalność pompy może stać pod znakiem zapytania (chyba że posiadamy instalację PV i/lub mikrośilownię wiatrową).

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Wady stosowania układów z pompą ciepła:

- koszt inwestycyjny (cena pompy ciepła),
- w niektórych rozwiązaniach koszt inwestycyjny realizacji dolnego źródła ciepła,
- w przypadku powietrznych pomp ciepła może wystąpić zmienna jej efektywność.

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Pompa ciepła w nowych domach standard „Energooszczędny”

W nowym budownictwie pompa ciepła jest obecnie wyborem niemal domyślnym. Projektując dom od podstaw, mamy pełną kontrolę nad środowiskiem pracy urządzenia.

Ogrzewanie płaszczyznowe: W nowych domach standardem jest ogrzewanie podłogowe w całym budynku. Pozwala to na pracę przy bardzo niskich temperaturach (30-35°C), maksymalizując wydajność PC (COP).

Izolacja termiczna: Nowoczesne materiały i standardy (np. WT 2022) sprawiają, że zapotrzebowanie na ciepło jest małe. Dzięki temu można zainstalować pompę o mniejszej mocy, która jest tańsza w zakupie.

Chłodzenie: W nowych domach często rezygnuje się z klimatyzacji na rzecz funkcji chłodzenia płaszczyznowego przez pompę ciepła.

Integracja z PV/mikrosiłonią wiatrową: Od początku planuje się instalację fotowoltaiczną, co pozwala dążyć do domu „zeroenergetycznego”.

5. Pompy ciepła – podstawy i zastosowanie

Pompa ciepła w domach modernizowanych:

Montaż pompy ciepła w starym domu **bez przygotowania** to najczęstszy błąd, który kończy się ogromnymi rachunkami za prąd.

Podstawą jest **audyt energetyczny**. Zanim kupisz pompę, musisz wiedzieć, ile ciepła ucieka przez ściany i dach. Bez ocieplenia budynku pompa będzie pracować non-stop na najwyższych obrotach – panaceum **termomodernizacja**.

Problem grzejników: jeżeli w domu są stare grzejniki wysokotemperaturowe, zwykła PC może sobie nie poradzić. Rozwiązaniem jest:

- wymiana grzejników na modele niskotemperaturowe lub klimakonwektory.
- inwestycja w **wysokotemperaturową pompę ciepła** (wykorzystującą np. czynnik R290 – propan), która potrafi podgrzać wodę do 70°C.

System hybrydowy: Często w modernizowanych domach zostawia się stary kocioł (gazowy lub peletowy) jako wsparcie na wypadek ekstremalnych mrozów. Pompa działa przez 90% sezonu, a kocioł włącza się tylko przy spadku temperatury poniżej -15°C.

6. Energia promieniowania słonecznego

Energia promieniowania słonecznego wydzielana rocznie na powierzchni Ziemi:

- całkowita $E_s = \sim 2810000$ EJ
- w tym na lądach: $E_L = \sim 820000$ EJ
- w tym w Polsce: $E_{sP} = 1170$ EJ

Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej (2025 r):

- światowe $E_z = \sim 625$ EJ
- polskie: $E_{zP} = \sim 3,9$ EJ

Nadwyżka energii słonecznej względem potrzeb:

- całkowita $E_s/E_z = \sim 4496$
- w tym na lądach: $E_L/E_z = \sim 1312$
- w tym w Polsce: $E_{sP}/E_{zP} = \sim 300$



EPS na powierzchni lądów:

820000 EJ/rok

6. Energia promieniowania słonecznego



Promieniowanie słoneczne:

- 45% - promieniowanie widzialne: długość fal ~ 0,4 - 0,76 μm ,
- 44% - promieniowanie podczerwone: długość fal > 0,76 μm ,
- 9% - promieniowanie ultrafioletowe: długości fal < 0,4 μm ,

Rodzaje:

- bezpośrednie - od widocznej tarczy słonecznej,
- rozproszone - w wyniku wielokrotnego załamania na składnikach atmosfery),
- odbite - w skutek odbić od elementów otoczenia.

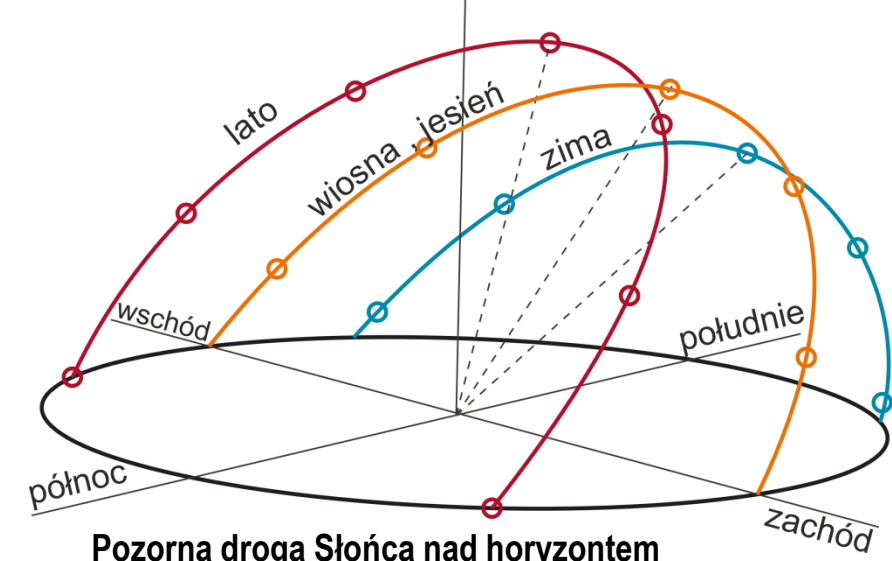
Stała promieniowania:

średnia gęstość strumienia promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię płaską na zewnątrz atmosfery ziemskiej:
 $1367 \pm 3,4 \text{ \% W/m}^2$

6. Energia promieniowania słonecznego

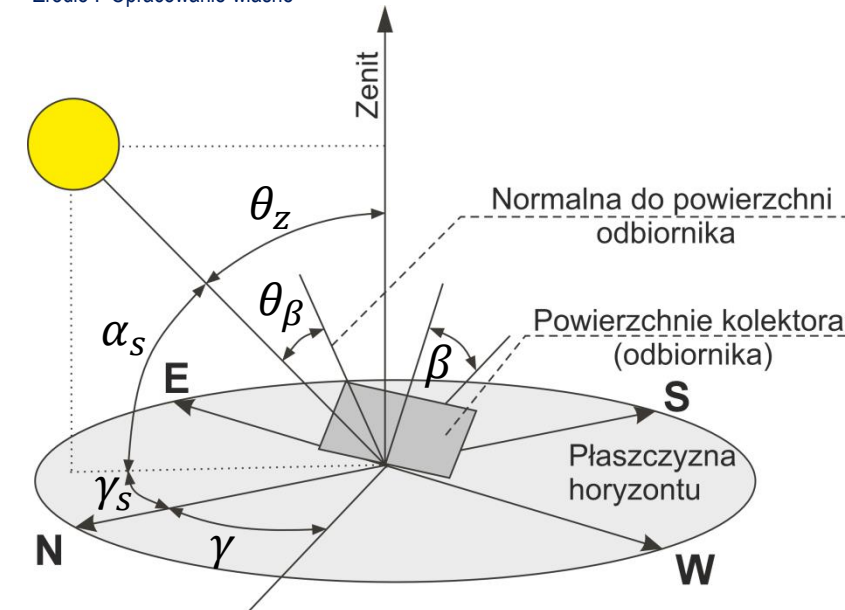
Wielkości charakteryzujące promieniowanie

- energia promieniowania słonecznego (e.p.s.),
- pozorna droga Słońca nad horyzontem (czas operacji słonecznej),
- kąt padania promieni słonecznych,
- modyfikacja widma promieniowania po przejściu przez atmosferę,
- długość drogi pokonanej przez promieniowanie słoneczne w atmosferze,
- wpływ albedo materiałów, do których dociera promieniowanie słoneczne.



Pozorna droga Słońca nad horyzontem

Źródło : Opracowanie własne



Kąt padania promieni słonecznych

Źródło : Opracowanie własne

6. Energia promieniowania słonecznego

Wielkości charakteryzujące e.p.s.

Całkowite promieniowanie słoneczne [W/m²]:

(natężenie promieniowania) - suma promieniowania bezpośredniego i rozproszonego dochodzącego z całej półkuli niebieskiej na płaską powierzchnię poziomą.

Średnie sumy promieniowania [kWh/m²]:

(napromieniowanie, nasłonecznienie, insolacja) - suma promieniowania bezpośredniego, rozproszonego i odbitego, przedstawiająca energię padającą na jednostkę powierzchni w ciągu określonego czasu.

Średnie sumy usłonecznienia [h]:

(usłonecznienie) - średnia liczba godzin z bezpośrednią operacją słoneczną w ciągu roku.

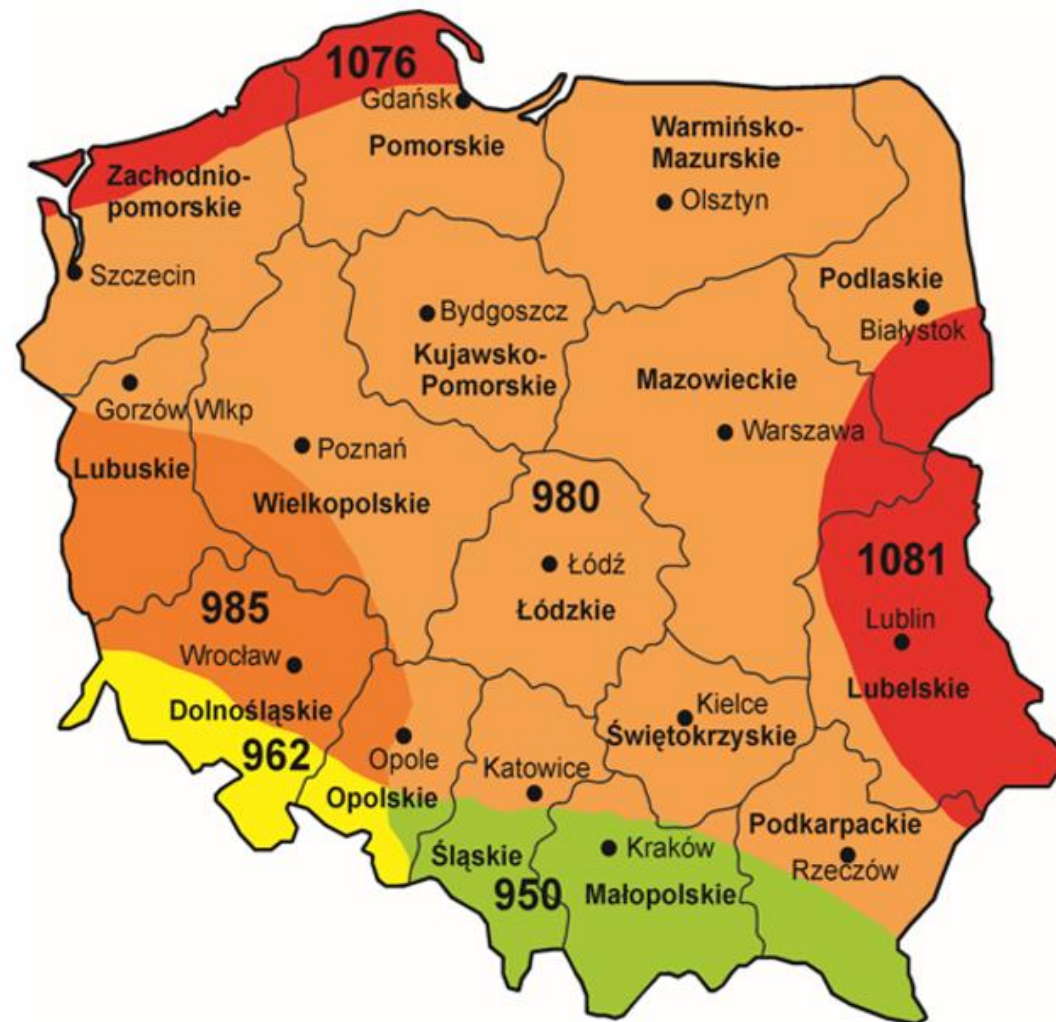
6. Energia promieniowania słonecznego

Średnie sumy promieniowania dla Polski

950 - 1250 kWh/m²rok

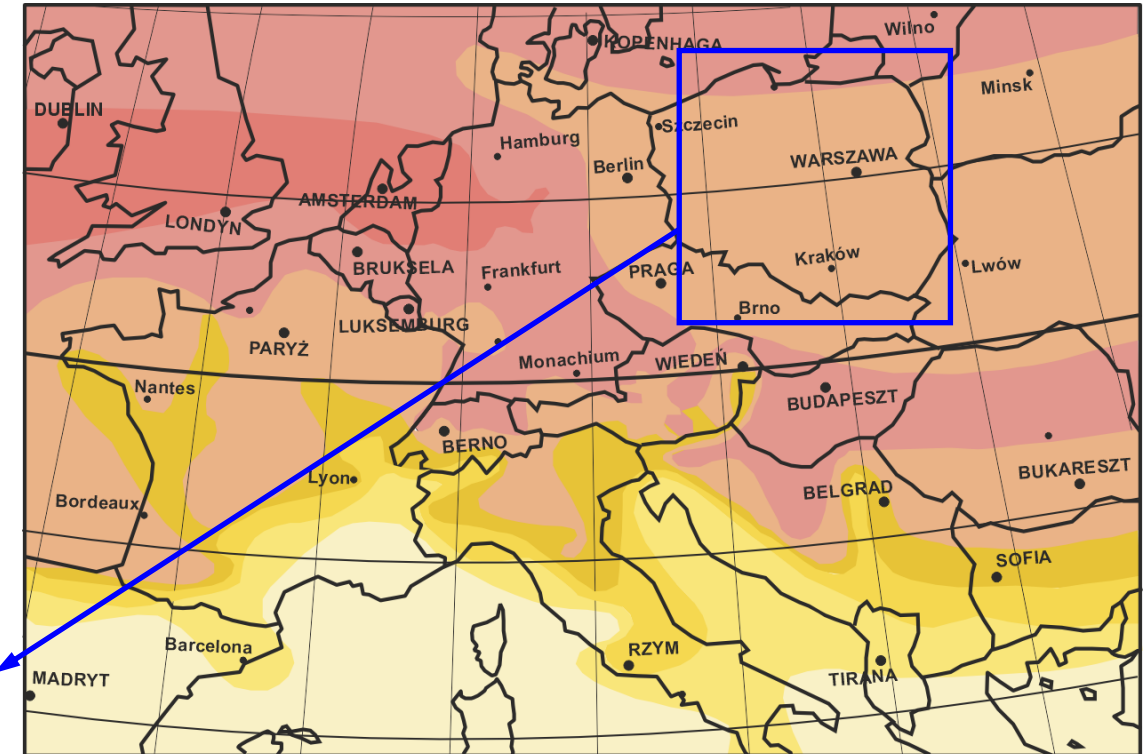
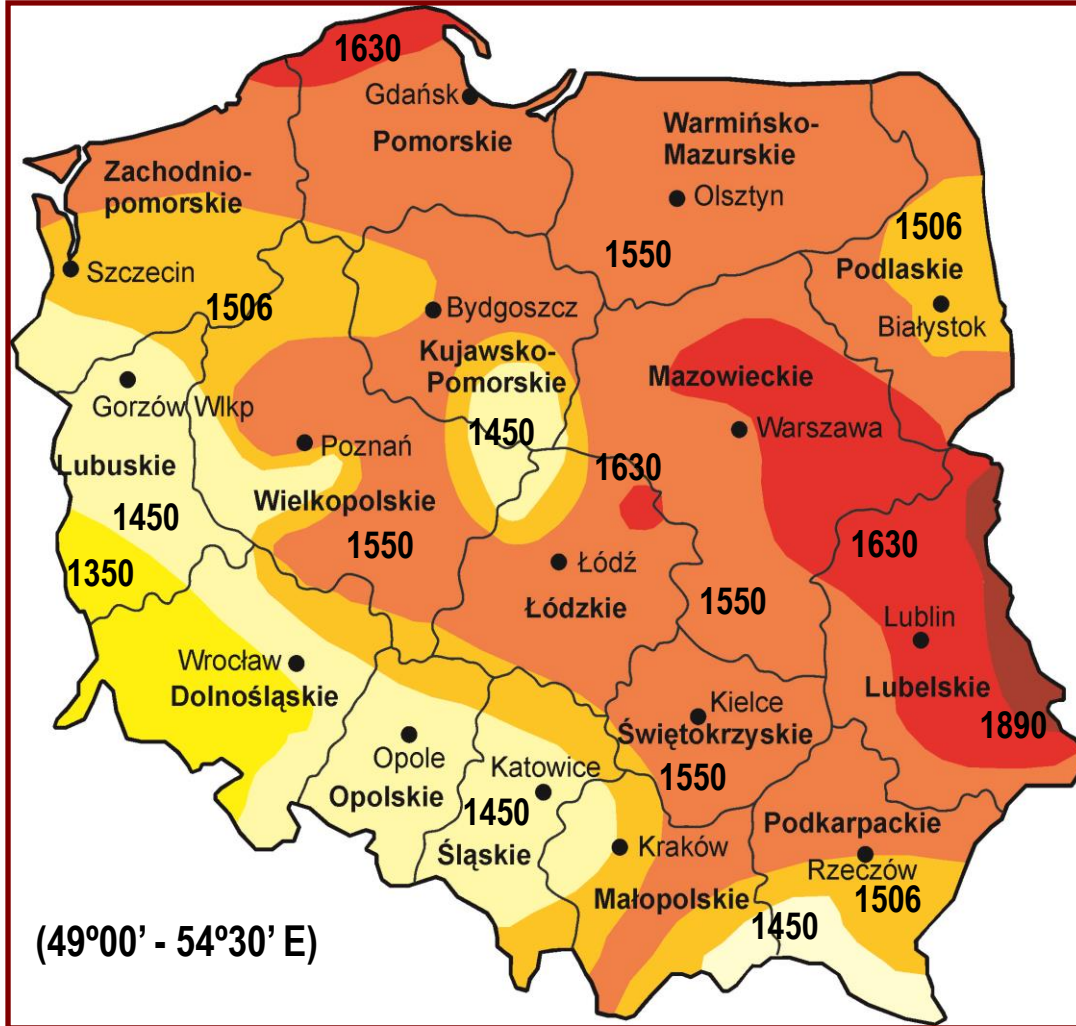
Zasoby energii promieniowania słonecznego dla wybranych rejonów Polski [kWh/m²rok] (na jednostkę powierzchni poziomej)

Rejon	Rok (I-XII)	Okres letni (IV-IX)	Wakacje (VI-VIII)	Okres zimowy (X-III)
Nadmorski	1076	881	497	195
Wschodni	1081	821	461	260
Centralny	985	785	449	200
Zachodni	985	785	438	204
Sudecki	962	682	373	280
Podkarpacki	950	712	393	238



6. Energia promieniowania słonecznego

Średnie sumy usłonecznienia dla Polski



Strefa nasłonecznienia h/rok

do 1500
1500-1700
1700-1900
1900-2100
2100-2300
2300-2500
powyżej 2500

Polska:
 - 1300 do 1900 godz/rok,
 - średnio ok. 1600 godz/rok (18,2% całego roku),

6. Energia promieniowania słonecznego

SPOSOBY WYKORZYSTANIA ENERGII SŁONECZNEJ

- **KONWERSJA FOTOTERMICZNA:**

Zamiana energii promieniowania słonecznego na ciepło z zastosowaniem absorberów stanowiących istotny element kolektorów słonecznych.

- **KONWERSJA FOTOWOLTAICZNA:**

Bezpośrednia zamiana promieniowania słonecznego w energię elektryczną z wykorzystaniem tzw. ogniw słonecznych (fotowoltaicznych).

6. Energia promieniowania słonecznego

KONWERSJA FOTOTERMICZNA - proces przekształcania energii promieniowania słonecznego w energię cieplną (ciepło). W przeciwieństwie do konwersji fotoelektrycznej (PV), gdzie powstaje energia elektryczna, tutaj efektem końcowym jest wzrost temperatury medium roboczego (najczęściej wody lub glikolu).

Systemy:

- **Pasywne (bierne)**
- **Aktywne (czynne)**
 - niskotemperaturowe,
 - wysokotemperaturowe,
 - wspomagające,
- **Semiaktywne,**
- **Kombinowane.**

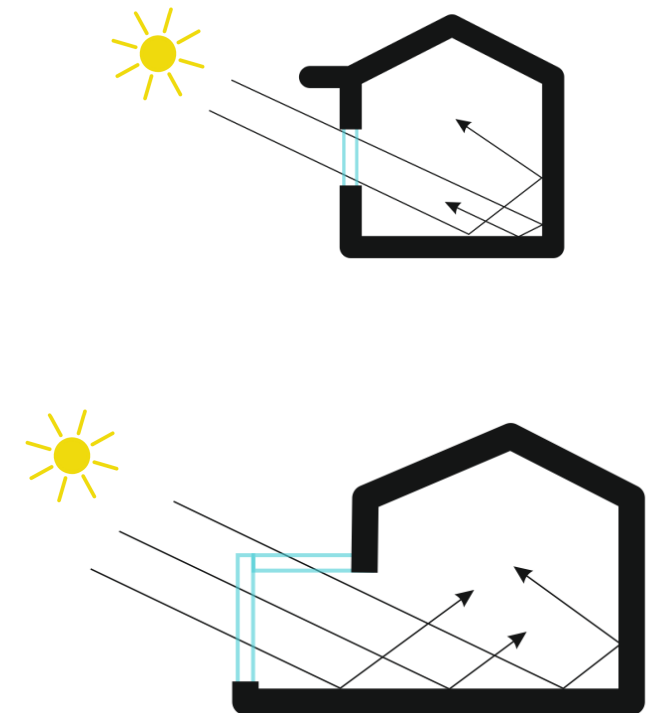
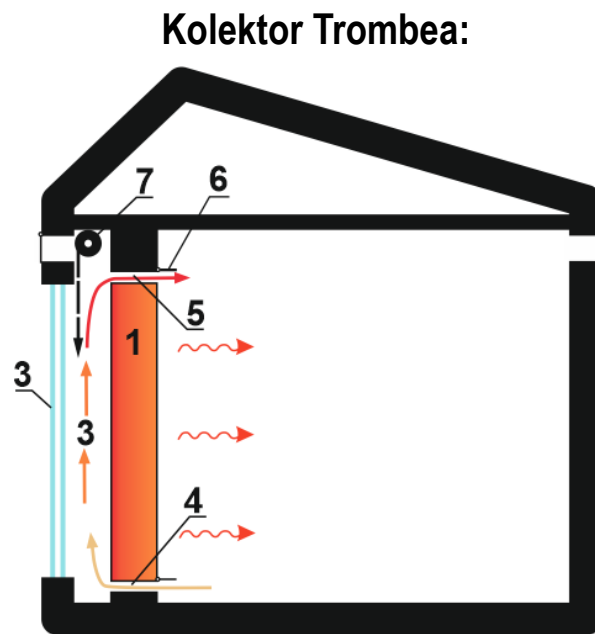
6. Energia promieniowania słonecznego

Systemy pasywne

Znaczenie praktyczne:

- system zysków bezpośrednich,
- kolektor (ściana) Trombea,
- zintegrowana szklarnia.

System zysków bezpośrednich

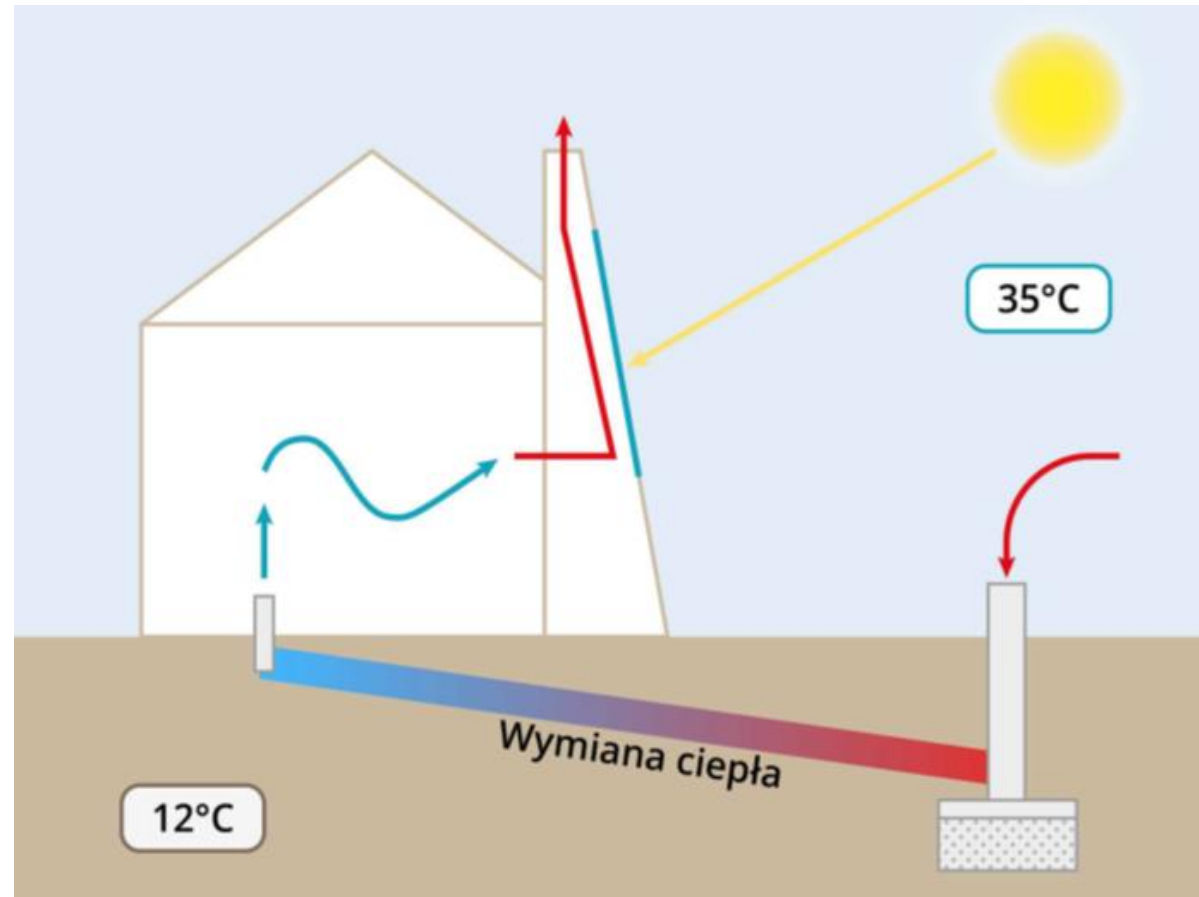


1 – ściana magazynująca, 2 – podwójna szyba, 3 – szczelina wentylacyjna,
4,5 – otwory wentylacyjne, 6 – regulacja, 7 – izolacja

6. Energia promieniowania słonecznego

Wspomaganie wentylacji grawitacyjnej w warunkach letnich.

Zasada chłodzenia budynku przy użyciu gruntowego wymiennika ciepła oraz komina słonecznego.



Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY-SA 3.0., za: Zintegrowana Platforma Edukacyjna
<https://zpe.gov.pl/a/budowa-i-zasada-dzialania-komina-slonecznego/DUsAmQRB6>

6. Energia promieniowania słonecznego

Systemy aktywne

Wymagają doprowadzenia dodatkowej energii z zewnątrz, zwykle do napędu urządzeń przetwarzających czynnik roboczy przez tzw. kolektor słoneczny, zamieniający energię promieniowania słonecznego w ciepło użyteczne.

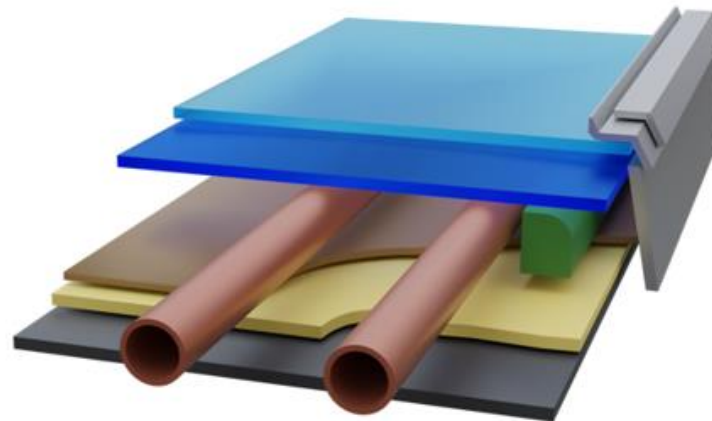
Podział ze względu na czynnik roboczy:

- kolektory cieczowe,
- kolektory powietrzne.

6. Energia promieniowania słonecznego

Kolektory cieczowe płaskie

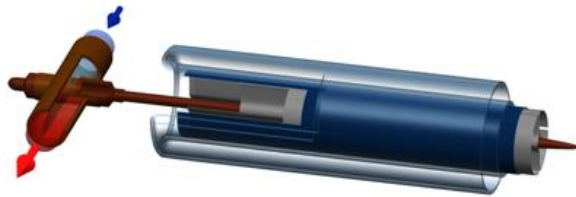
Budowa - kolektor rurowy płaski zbudowany z szyby solarnej przepuszczającej promienie słoneczne, absorbera miedzianego, przez który przepływa czynnik roboczy, i obudowy izolowanej cieplnie. Zadaniem izolacji jest redukcja ewentualnych strat ciepła.



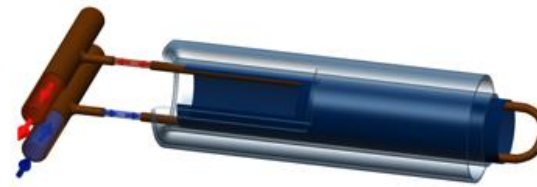
Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY-SA 3.0.,
za: Zintegrowana Platforma Edukacyjna (zpe.gov.pl)

6. Energia promieniowania słonecznego

Kolektory próżniowe z przepływem bezpośrednim



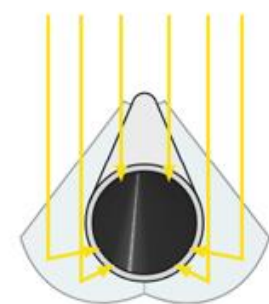
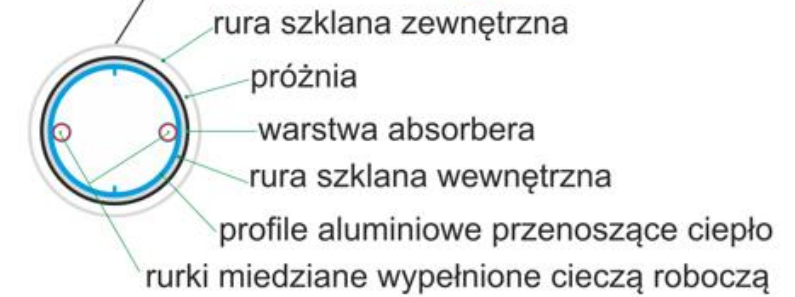
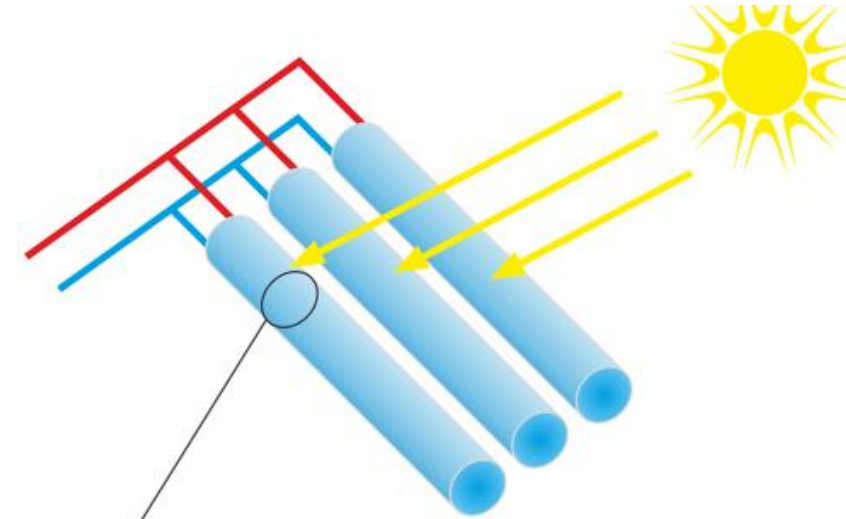
Źródło : Autor:, Rkraft, licencja **CC BY-SA 3.0**,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8720547>



Źródło : Autor:, Rkraft, licencja **CC BY-SA 3.0**,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8720538>



Źródło : Autor:, Barelyhere, licencja **CC BY-SA 4.0**,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=37840813>



6. Energia promieniowania słonecznego

Kolektory typu „rura ciepła” (heat pipe)

Kolektor słoneczny z rurą ciepła składa się z trzech kluczowych elementów: rury próżniowej (szklanej), rury ciepła (heat pipe) umieszczonej wewnątrz, kolektora zbiorczego), przez który przepływa czynnik grzewczy instalacji. Rura próżniowa jest zwykle dwuścienna, z przestrzenią próżniową pomiędzy ściankami, co minimalizuje straty ciepła do otoczenia.

Promieniowanie słoneczne przenika przez zewnętrzną warstwę szkła i jest pochłaniane przez powłokę selektywną znajdującą się na wewnętrznej powierzchni rury. Dzięki wysokiej absorpcyjności i niskiej emisyjności powłoki, energia

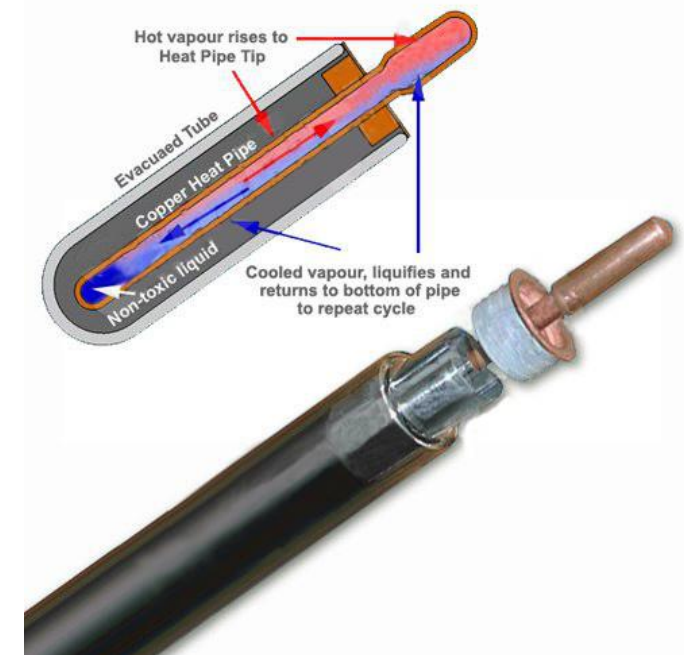
promieniowania słonecznego zostaje skutecznie zamieniona na energię cieplną.

W dolnej części rury ciepła znajduje się niewielka ilość czynnika roboczego (np. woda, alkohol, amoniak), pracującego w warunkach obniżonego ciśnienia.

Pod wpływem ciepła czynnik roboczy odparowuje już przy stosunkowo niskiej temperaturze, a para przemieszcza się ku górze rury ciepła, wykorzystując różnicę gęstości i energię cieplną.

Górna część rury ciepła (tzw. kondensator) jest osadzona w kolektorze zbiorczym. Tam para oddaje ciepło czynnikowi grzewczemu instalacji w wyniku czego ulega skraplaniu. W ten sposób energia słoneczna zostaje przekazana do obiegu grzewczego budynku.

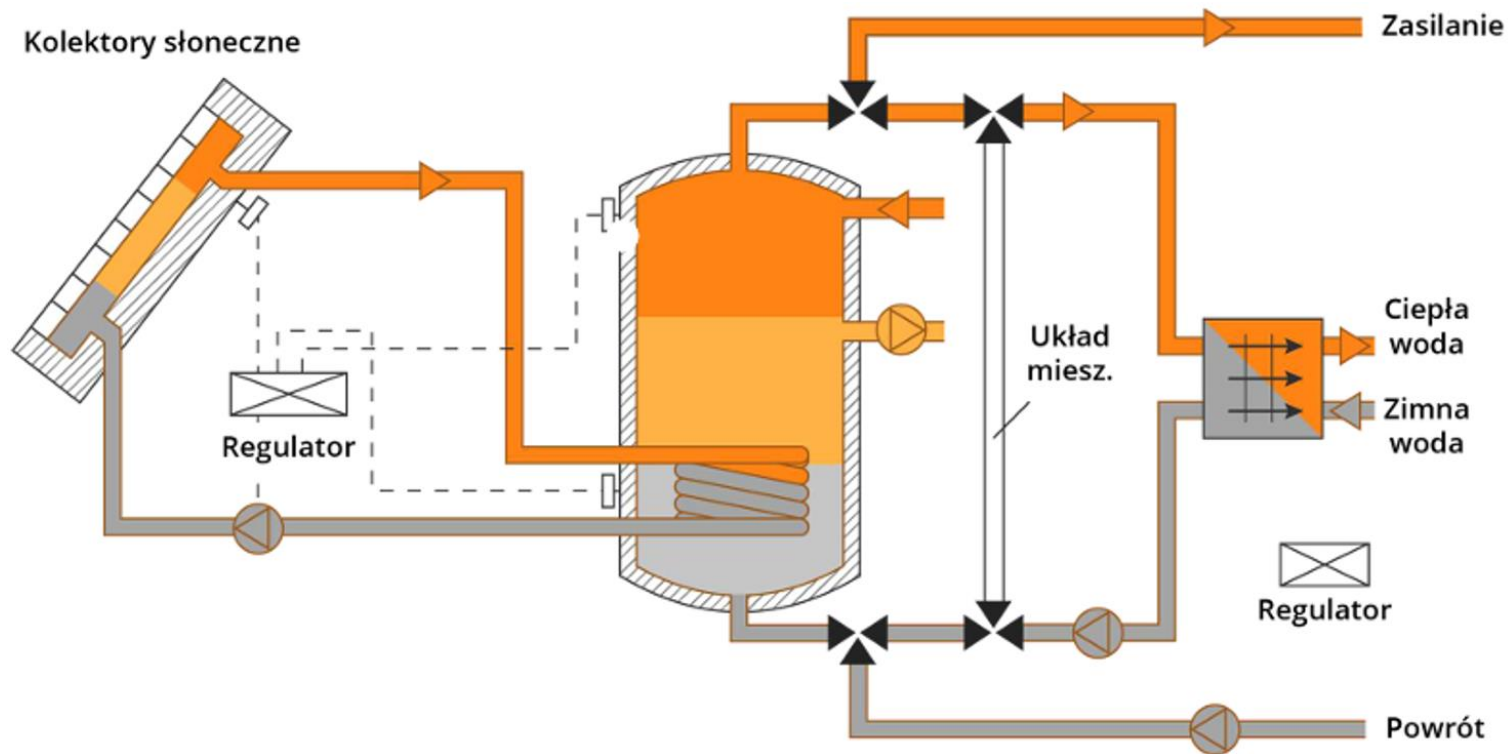
Skroplony czynnik roboczy ściekając grawitacyjnie, wraca do dolnej części rury ciepła, cykl parowanie–kondensacja powtarza się automatycznie.



Źródło : Autor:, Ilijanasov, licencja: domena publiczna CC 0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5930434>

6. Energia promieniowania słonecznego

Instalacje z kolektorami słonecznymi

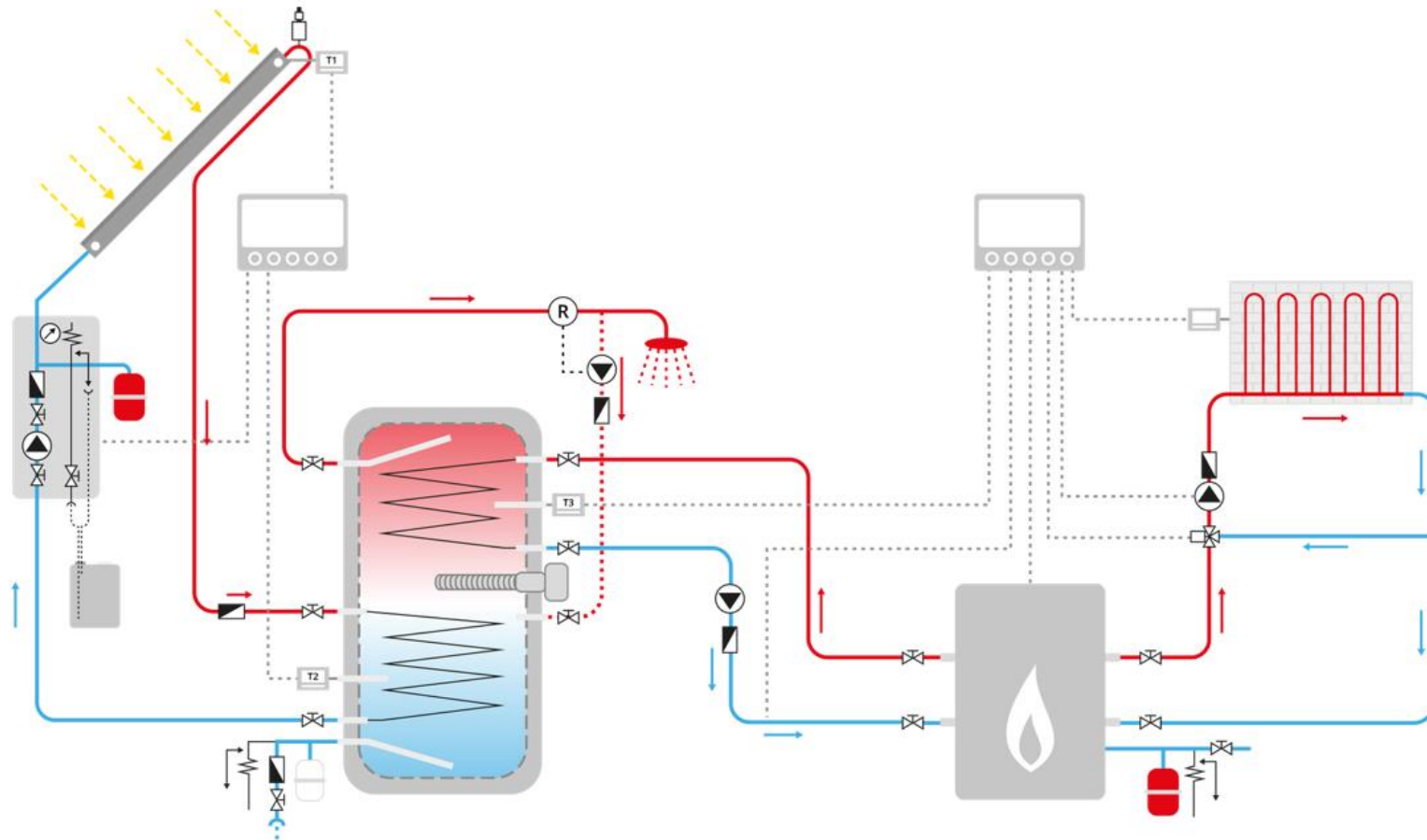


Schemat cieczonej słonecznej instalacji grzewczej współpracującej z układem przygotowania c.w.u.

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY-SA 3.0., za: Zintegrowana Platforma Edukacyjna
<https://zpe.gov.pl/a/budowa-dzialanie-i-obsluga-ukladow-magazyinowania-energii-ciepnej-mechanicznej-i-elektrycznej-wraz-z-ukladami-sterowania/Dn1T5JnJN>

6. Energia promieniowania słonecznego

Instalacje z kolektorami słonecznymi

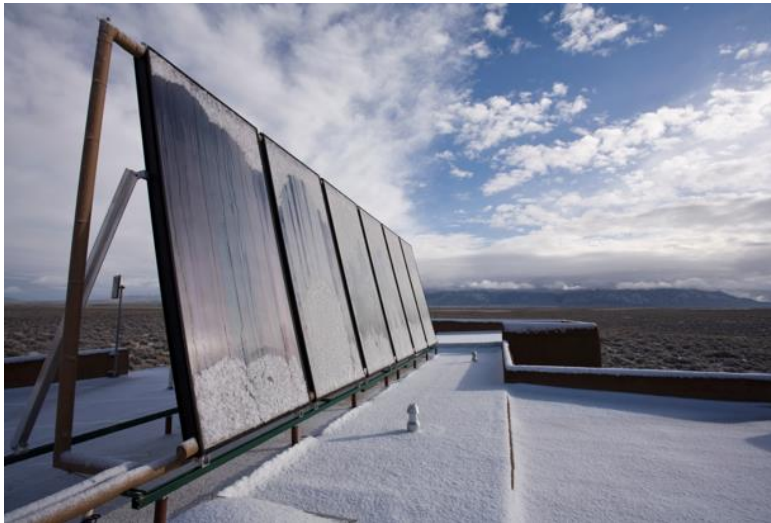


Schemat cieczowej słonecznej instalacji grzewczej współpracującej z układem przygotowania c.w.u. i c.o.

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY-SA 3.0., Zintegrowana Platforma Edukacyjna (zpe.gov.pl)

6. Energia promieniowania słonecznego

Kolektory słoneczne – zastosowania



Źródło : Autor:, Terry Thompson, U.S. Department of Energy from United States, licencja: domena publiczna **CC0**, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=74496505>



Źródło: TVP SOLAR SA , licencja: CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=78425183>



Źródło : Autor:, Ra Boe , licencja: CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1872882>



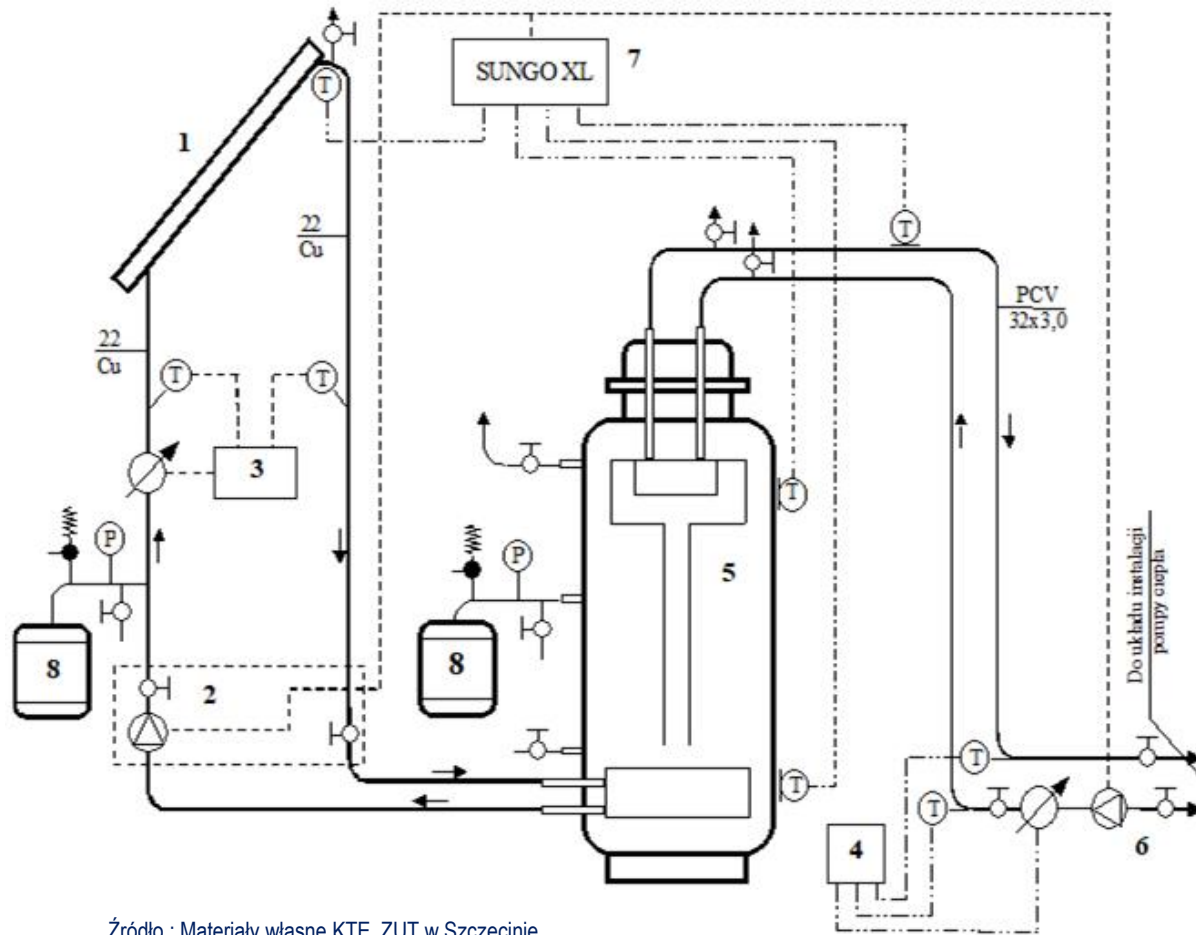
Źródło : Autor:, Chris Olszewski , licencja: CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=74432457>



Źródło: Hannes Grobe , licencja: CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=104221424>

6. Energia promieniowania słonecznego

KTE ZUT: Instalacja z kolektorem słonecznym

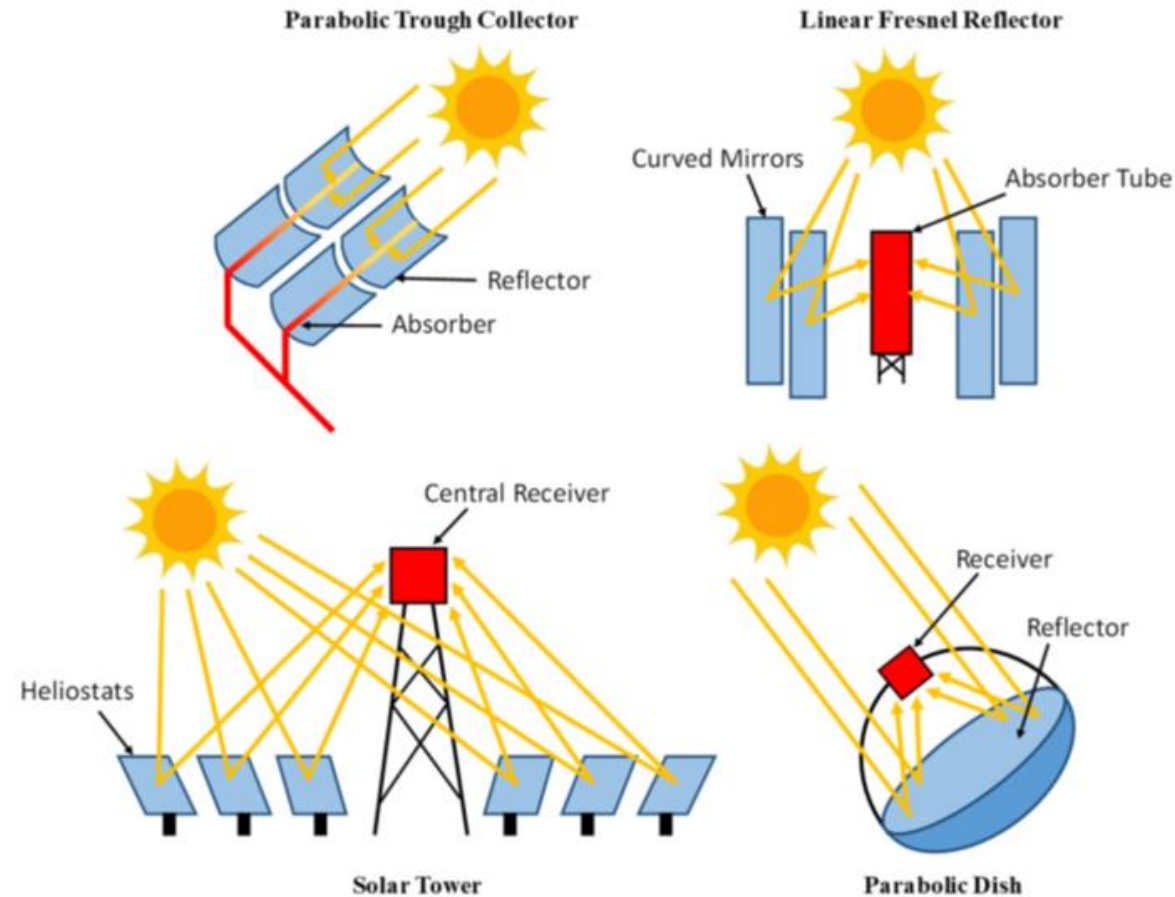


Źródło : Materiały własne KTE, ZUT w Szczecinie



6. Energia promieniowania słonecznego

Kolektory słoneczne – skupiające



Źródło : Ubando, A.T.; Conversion, A.; Barroca, R.B.; Enano, N.H., Jr.; Espina, R.U. Computational Fluid Dynamics on Solar Dish in a Concentrated Solar Power: A Bibliometric Review. Solar 2022, 2, 251–273. <https://doi.org/10.3390/solar2020014>, , licencja **CC BY 4.0**

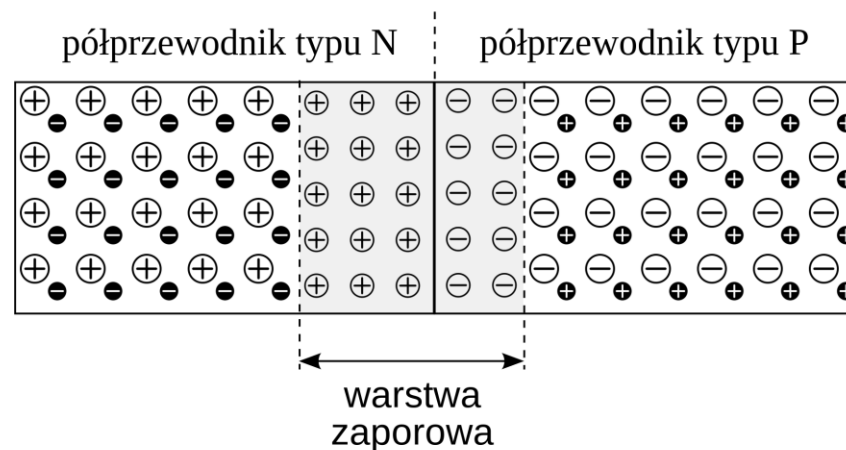
6. Energia promieniowania słonecznego

KONWERSJA FOTOELEKTRYCZNA

Zamiana energii słonecznej na energię elektryczną jest możliwa dzięki ogniwom fotowoltaicznym. Są to specjalne elementy wykonane z materiałów półprzewodnikowych. Składają się one z dwóch warstw, w których prąd może płynąć w różny sposób. Gdy na ogniwo pada światło słoneczne, wywołuje ono ruch ładunków elektrycznych wewnątrz materiału. W efekcie powstaje napięcie elektryczne, które można wykorzystać jako źródło prądu.

Ogniwo:

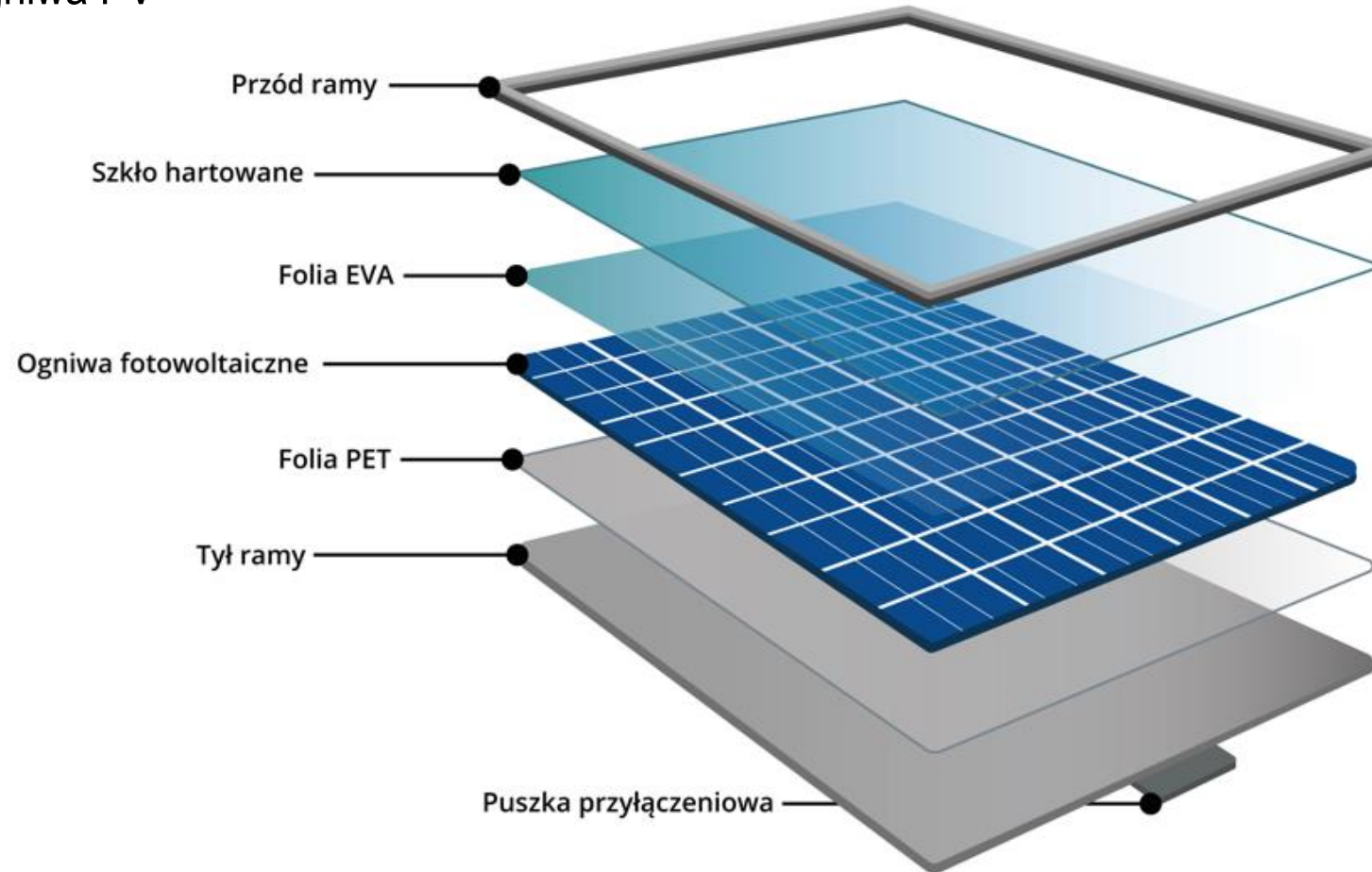
- półprzewodnik typu „n”
- półprzewodnik typu „p”



- ⊕ jon dodatni ⊕ domieszka donorowa (jon+elektron)
- ⊖ jon ujemny ⊖ domieszka akceptorowa (jon+dziura)

Źródło: Domena publiczna, domena publiczna CC0, , za: Zintegrowana Platforma Edukacyjna (zpe.gov.pl)

Budowa ogniwa PV



Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY-SA 3.0., za: Zintegrowana Platforma Edukacyjna (zpe.gov.pl)

Ogniwa fotowoltaiczne:

Materiał na ogniwa:

- krzem,
- półprzewodniki złożone itp.

Struktura materiału:

- monokrystaliczna,
- polikrystaliczna,
- amorficzna.

Rodzaje ogniw:

- z krzemu monokrystalicznego,
- z krzemu polikrystalicznego,
- cienkowarstwowe z krzemu amorficznego,
- cienkowarstwowe z materiałów półprzewodnikowych (np. CdTe)

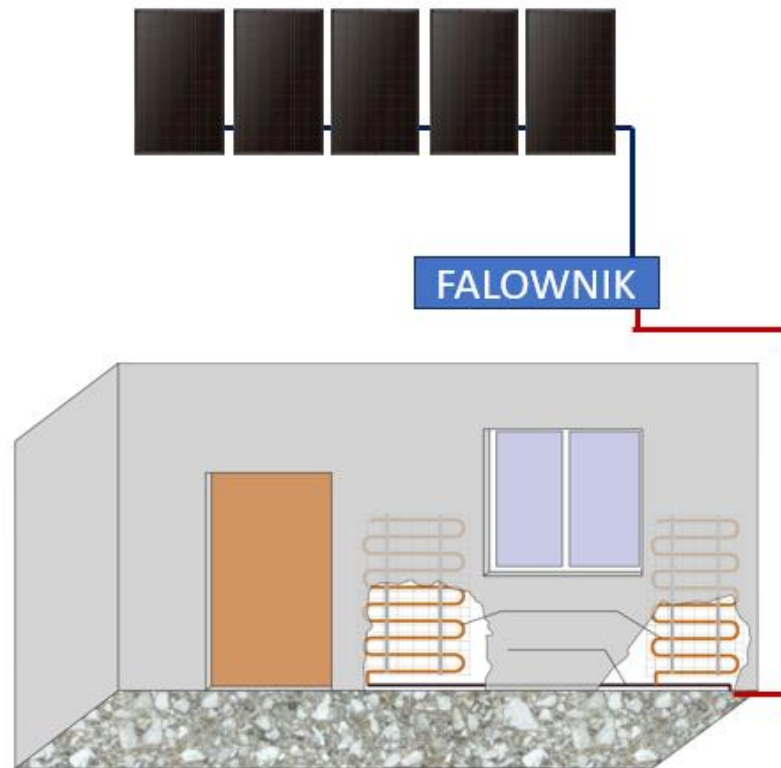
Materiał	Struktura	Sprawność
Krzem	monokrystaliczna	18-22%
Krzem	polikrystaliczna	14-18%
GaAs	monokrystaliczna	22%
AlGaAs/Si	monolityczna (2 x p-n)	28,5%

6. Energia promieniowania słonecznego

KONWERSJA FOTOELEKTRYCZNA

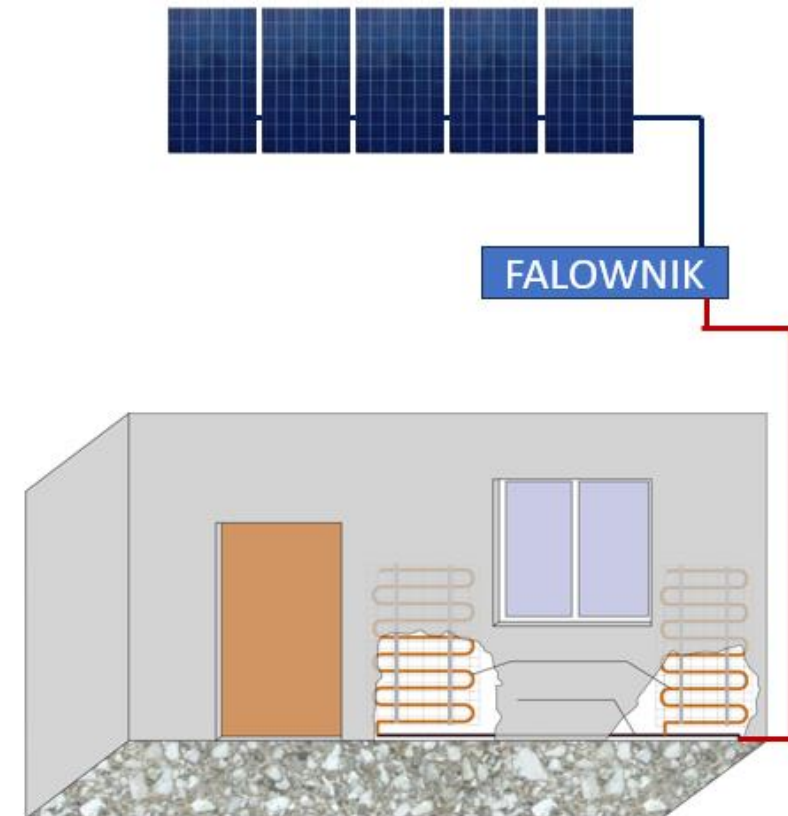
Przykład wykorzystania energii elektrycznej generowanej przez panele fotowoltaiczne do zasilania ogrzewania elektrycznego.

Panele PV monokrystaliczne



Rysunek, Źródło : Opracowanie własne

Panele PV polikrystaliczne



Rysunek, Źródło : Opracowanie własne

7. Odzysk ciepła – woda szara

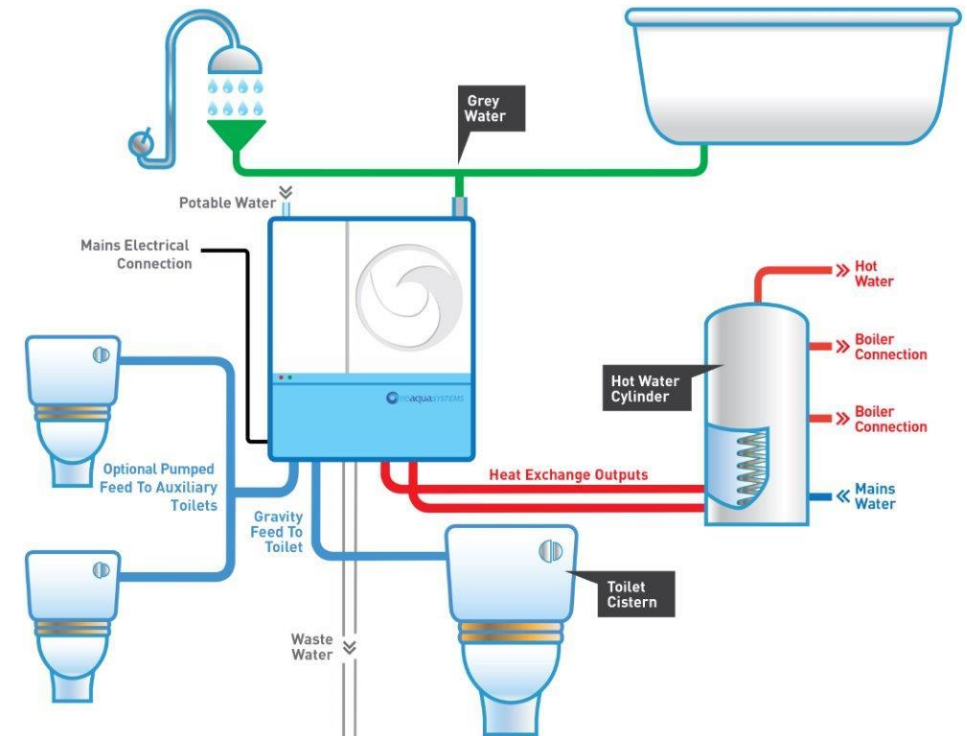
Woda szara to lekko zanieczyszczona woda odpływowa z pryszniców, wanien, umywalk czy prałek. Ma temperaturę zwykle **25–35°C**, więc niesie ze sobą znaczną ilość energii, która w standardowych instalacjach jest bezpowrotnie tracona.

Odzysk ciepła z wody szarej (WWHR – Waste Water Heat Recovery) polega na przekazywaniu energii cieplnej z ciepłej wody odpływowej do zimnej wody zasilającej instalację ciepłej wody użytkowej (CWU). Dzięki temu:

- zmniejsza się zużycie energii potrzebnej do podgrzewania wody,
- rośnie efektywność energetyczna budynku,
- obniżają się koszty eksploatacji (nawet o 20–40% dla pryszniców),

Inną zaletą układu jest to, że działa on bezobsługowo i nie wymaga zasilania energią elektryczną.

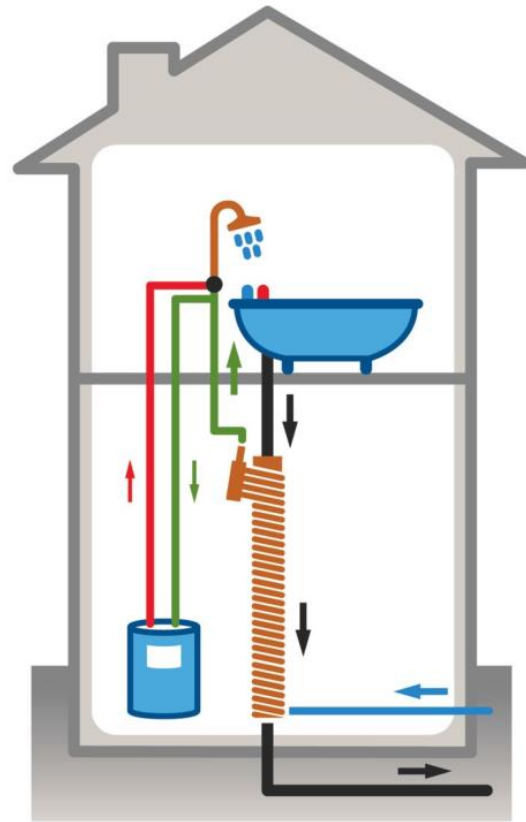
Przykładowa instalacja odzysku ciepła z wody szarej



Źródło : Autor.: Wipeout 997 - Eigenes Werk, licencja CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30441468>

7. Odzysk ciepła – woda szara

Przykładowa instalacja odzysku ciepła z wody szarej



— Cold Water — Hot Water
— Pre-Heated Water — Drain Water

Źródło : Autor: , Ashp uk , licencja CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=39813339>



Źródło : Autor: Recycle9876, licencja, domena publicznaCC0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7929123>

8. Automatyka i inteligentne sterowanie

Automatyzacja ogrzewania:

- 1) wygoda,
- 2) **optymalizacja zużycia energii,**
- 3) **zwiększenie trwałości systemu grzewczego.**

Nowoczesne podejście opiera się na synergii dwóch rodzajów regulacji: **pogodowej i pokojowej**

- 1) **Regulacja Pogodowa** – działa **wyprzedzająco**. Opiera się na **czujniku temperatury zewnętrznej** i dostosowuje temperaturę zasilania systemu grzewczego zanim jeszcze chłód przeniknie przez ściany do środka.

Sercem systemu jest krzywa grzewcza – zależność matematyczna między **temperaturą na zewnątrz a temperaturą wody** wychodzącej z urządzenia grzewczego (kotła, PC).

Zalety:

- **Stabilność** – zapobiega gwałtownym wahaniom temperatury wewnątrz.
- **Oszczędność** – urządzenie grzewcze pracuje z najwyższą sprawnością przy możliwie najniższej temperaturze zasilania.

8. Automatyka i inteligentne sterowanie

- 2) **Regulacja Pokojowa** – podczas gdy *pogodówka* dba o sprawność źródła ciepła, regulator pokojowy zarządza komfortem w konkretnym pomieszczeniu. Działa on w pętli sprzężenia zwrotnego.
- **Termostaty ON/OFF** – Proste urządzenia, które wyłączają grzanie po osiągnięciu progu.
 - **Regulatory Modułacyjne** – bardziej inteligentne – nie tylko mówią *grzej*, ale też *z jaką mocą*, co zapobiega przegrzewaniu pomieszczeń.

Kiedy jest niezbędna?

Gdy w domu występują **zyski ciepła**, których czujnik zewnętrzny nie widzi:

- nasłonecznienie przez duże okna.
- ciepło z kominka.
- gotowanie lub duża liczba osób w pokoju.

8. Automatyka i inteligentne sterowanie

- 3) **System Hybrydowy** – najinteligentniejsze systemy łączą obie te metody: **regulator pogodowy** ustala bazową temperaturę wody (zapewniając oszczędność), a **regulatory pokojowe** wprowadzają korektę tej temperatury lub sterują poszczególnymi obiegami (np. ogrzewaniem podłogowym).

Inteligentne funkcje Smart Home (np. Home Assistant, Greenton, Loxone):

- **Geofencing:** system obniża temperaturę, gdy wszyscy domownicy opuszczą budynek.
- **Adaptacja:** algorytmy AI uczą się bezwładności cieplnej budynku (wiedzą, z jakim wyprzedzeniem włączyć grzanie, by o 7:00 rano było dokładnie 21°C).
- **Strefowanie:** niezależne harmonogramy dla sypialni (chłodniej) i łazienki (cieplej).

8. Automatyka i inteligentne sterowanie

Korzyści trzech sposobów regulacji

Cecha	Regulacja pogodowa	Regulacja pokojowa	Regulacja hybrydowa
Komfort cieplny	Dobry	Średni (wahania)	Idealny
Efektywność (obniżenie rachunków)	Wysoka	Średnia	Najwyższa
Reakcja na dodatkowe źródło ciepła (słońce/kominek)	Brak	Bardzo dobra	Bardzo dobra
Ochrona urządzenia grzewczego	Bardzo wysoka	Średnia	Bardzo wysoka

8. Automatyka i inteligentne sterowanie

Sterowanie ogrzewaniem w taryfach dynamicznych – w układzie tym system automatyki **przesuwa zużycie energii na godziny, w których jest ona najtańsza** (często południe przy dużej produkcji z OZE lub godziny nocne), gdzie w klasycznym układzie system **dba o komfort**.

Oto jak zmienia się rola automatyki w takim modelu:

1) Wykorzystanie bezwładności cieplnej budynku

W taryfie dynamicznej dom staje się **magazynem energii**. Automatyka nie reaguje już tylko na bieżący spadek temperatury, ale planuje grzanie z wyprzedzeniem.

- **przegrzewanie kontrolowane** – system podnosi temperaturę wewnątrz o 1-2°C powyżej nastawy w czasie taniej energii, aby **naładować** ściany i podłogę ciepłem.
- **blokada w szczytach** – system wyłącza pompę ciepła lub kotły elektryczne w godzinach najdroższych (np. poranny i wieczorny szczyt), pozwalając budynkowi powoli oddawać zgromadzone ciepło.

8. Automatyka i inteligentne sterowanie

2) Rola algorytmów prognozujących (HEMS)

Niezbędny jest system **HEMS** (*Home Energy Management System*), gdyż zwykły termostat nie wystarczy. **HEMS** łączy trzy zmienne:

- **ceny energii:** pobierane z giełdy (np. TGE w Polsce) na następną dobę,
- **prognoza pogody:** aby wiedzieć, czy słońce wspomogrze ogrzewanie przez okna,
- **model budynku:** system uczy się, jak szybko dom traci ciepło przy danej temperaturze zewnętrznej.

3) Współpraca z pompą ciepła i PV

W taryfach dynamicznych automatyka wykorzystuje funkcję **SG Ready** (Smart Grid Ready) pompy ciepła.

- **tryb niskiej ceny:** automatyka wymusza pracę PC na wyższych obrotach i podgrzewa zasobnik c.w.u. do maksymalnych temperatur,
- **Optymalizacja krzywej grzewczej:** krzywa grzewcza staje się *plynna* – sterownik może ją chwilowo podnieść, widząc nadwyżkę energii z PV lub ujemne ceny prądu na giełdzie.

8. Automatyka i inteligentne sterowanie

Przykładowy scenariusz dobowy działania automatyki i inteligentnego sterowania

Godziny	Cena prądu	Działanie automatyki
00:00 – 05:00	Niska	Intensywne grzanie, ładowanie bufora ciepła
07:00 – 09:00	Bardzo wysoka	Ogrzewanie wyłączone, dom stygnie o 0,5-1°C
11:00 – 15:00	Niska (OZE)	Dogrzewanie na auto-konsumpcję z PV
17:00 – 20:00	Ekstremalna	Blokada źródła ciepła, praca tylko pomp obiegowych

8. Automatyka i inteligentne sterowanie

Kluczowe pytanie: komfort czy cena?

Największym wyzwaniem dla automatyki jest znalezienie balansu. Zbyt agresywne oszczędzanie może prowadzić do wychłodzenia domu poniżej progu komfortu. Dlatego nowoczesne regulatory pozwalają ustawić **priorytety**:

- **Tryb Comfort:** cena jest drugorzędna, liczy się stabilna temperatura.
- **Tryb Eco:** dopuszczamy wahania o np. $1,5^{\circ}\text{C}$ w zamian za niższe rachunki.

Nowoczesne technologie w energetyce skierowane do odbiorców i przyczyniające się do racjonalnego zużycia

Prowadzący:

dr hab. inż. Tomasz KUJAWA, prof. ZUT,
dr hab. inż. Sławomir WIŚNIEWSKI,

tomasz.kujawa@zut.edu.pl
slawomir.wisniewski@zut.edu.pl

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
Katedra Technologii Energetycznych