



Studia Podyplomowe

EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

w ramach projektu

Śląsko-Małopolskie Centrum Kompetencji
Zarządzania Energią

Użytkowanie i oszczędność
energii w budynkach
mieszkalnych i użyteczności
publicznej

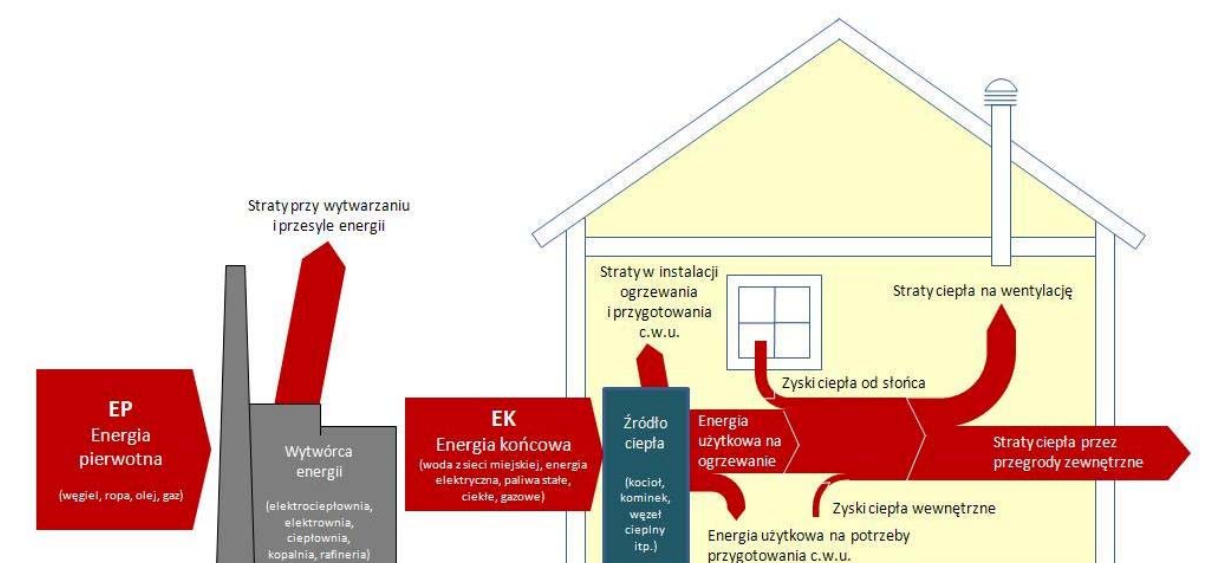
Jacek Przędzik

1. Ocena stanu ochrony cieplnej budynku	3
1.1. Wymiana ciepła	6
1.2. Określanie danych do obliczenia wskaźników energetycznych: cech geometrycznych i wymiarowych oraz występujących mostków cieplnych	12
1.3. Określenie cech fizycznych materiałów i wyrobów budowlanych ..	13
1.4. Obliczanie wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych zgodnie z PN EN ISO 6946	32
1.4.1. Opory cieplne	32
1.4.2. Całkowity opór cieplny	35
1.4.3. Współczynnik przenikania ciepła	37
1.4.4. Współczynnik przenikania ciepła komponentów o zmiennej grubości	37
1.4.5. Skorygowany współczynnik przenikania ciepła	39
1.5. Ocena szczelności przegród	39
1.6. Określenie wielkości przepływu powietrza wentylacyjnego oraz solarnych i wewnętrznych zysków ciepła	40
1.7. Interpretacja wyników badań przenikania ciepła przez przegrody budowlane metodą termowizji i badań szczelności.....	44
2. Ocena systemu ogrzewania i zaopatrzenia w ciepłą wodę	46
2.1. Ocena stanu i sprawności elementów systemu grzewczego (wytwarzania, przesyłu, regulacji, wykorzystania)	46
2.2. Ocena stanu i sprawności elementów systemu zaopatrzenia w ciepłą wodę użytkową	69
2.3. Alternatywne źródła energii	75
2.4. Kogeneracja	78
2.5. Ocena możliwości wykorzystania źródeł odnawialnych lub wysokosprawnej kogeneracji	89
3. Ocena instalacji oświetleniowej w budynku	96
3.1. Określenie zapotrzebowania na energię na potrzeby oświetlenia Wbudowanego	102
3.2. Referencyjny system oświetlenia wbudowanego budynku	104
4. Metodyka obliczania kosztów wytwarzania energii elektrycznej i/lub ciepła	108
Bibliografia	114

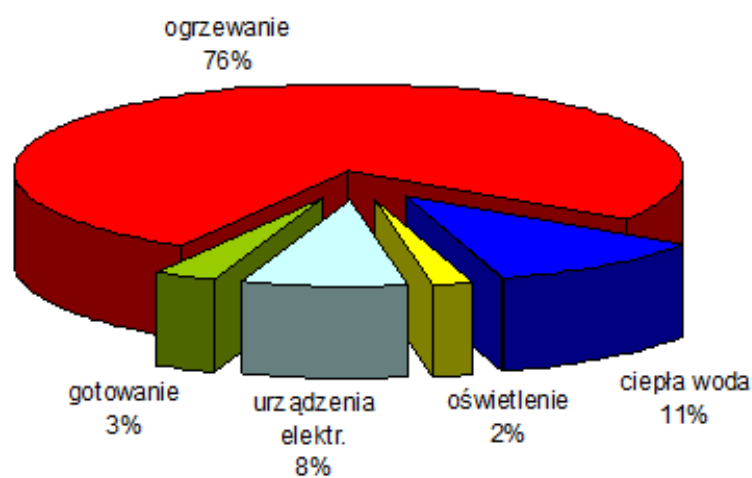
1. Ocena stanu ochrony cieplnej budynku

Cele użytkowania energii w budynku:

- ogrzewanie i wentylacja,
- chłodzenie,
- przygotowanie ciepłej wody użytkowej,
- oświetlenie.

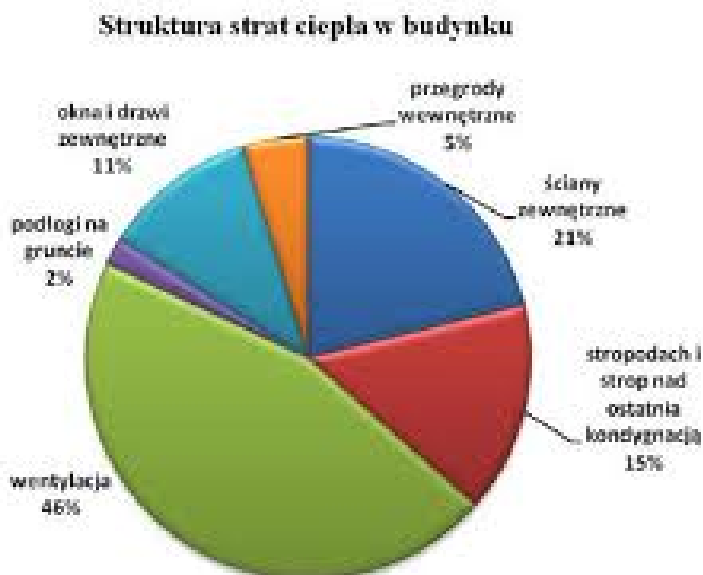


W Unii Europejskiej budynki ok. 40 % łącznego zużycia energii przypada na budynki. W Polsce struktura zużycia energii wskazuje, że znacznie ponad 70 % zapotrzebowania na energię związane jest z ogrzewaniem i wentylacją budynków.



Zużycie energii w budynkach mieszkalnych

Wynika to z faktu, że dostarczana dla celów ogrzewania energia cieplna jest tracona na skutek procesów wymiany ciepła przez zewnętrzne i wewnętrzne, przezroczyste i nieprzezroczyste przegrody oraz usuwane powietrze dla celów wentylacji.



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z programu Furma-ozc

Celem ochrony cieplnej jest:

- zapewnienie warunków komfortu cieplnego we wnętrzu,
- ograniczenie zapotrzebowania na energię grzewczą,
- obniżenie kosztów ogrzewania lub klimatyzacji,
- zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza,
- ochrona przegród budynku przed szkodami wywołanymi zawilgoceniem.

Obowiązki związane z wymaganiami poprawy charakterystyki energetycznej budynków dotyczą przede wszystkim podejmowania działań związanych głównie z:

- poprawą izolacji ścian, dachów i podłóg,
- stosowaniem szczelnych okien i drzwi (z zastosowaniem nawiewników),
- ograniczenie strat przez t.zw. mostki cieplne,
- odzysk ciepła z usuwanego powietrza wentylacyjnego,
- odpowiednią szczelnością budynku.

Tabela 1. Zestawienie wybranych norm z zakresu ochrony cieplnej budynków

Zakres tematyczny	Oznaczenie normy	Tytuł normy
Materiały – wartości obliczeniowe	PN-EN ISO 10456:2009	Materiały i wyroby budowlane -- Właściwości cieplno-wilgotnościowe -- Tabelaryczne wartości obliczeniowe i procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych
	PN-EN 12524:2003	Materiały i wyroby budowlane -- Właściwości cieplno-wilgotnościowe -- Tabelaryczne wartości obliczeniowe

Komponenty – metody określania	PN-EN ISO 6946:2008	Komponenty budowlane i elementy budynku -- Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła -- Metoda obliczania
	PN-EN ISO 10077-1:2007 PN-EN ISO 10077-2:2012	Cieplne właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji -- Obliczanie współczynnika przenikania ciepła -- Część 1: Postanowienia ogólne Cieplne właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji -- Obliczanie współczynnika przenikania ciepła -- Część 2: Metoda komputerowa dla ram
	PN-EN ISO 10211:2008	Mostki cieplne w budynkach -- Strumienie ciepła i temperatury powierzchni -- Obliczenia szczegółowe
	PN-EN ISO 14683:2008	Mostki cieplne w budynkach -- Liniowy współczynnik przenikania ciepła -- Metody uproszczone i wartości orientacyjne
	PN-EN ISO 13370:2008	Cieplne właściwości użytkowe budynków -- Przenoszenie ciepła przez grunt -- Metody obliczania
	PN-EN ISO 13788:2003	Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku -- Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa -- Metody obliczania
	PN-EN ISO 13792:2007	Cieplne właściwości użytkowe budynków -- Obliczanie temperatury wewnętrznej pomieszczenia w lecie, bez mechanicznego chłodzenia -- Metody uproszczone
	PN-EN ISO 13793:2002	Właściwości cieplne budynków -- Projektowanie cieplne posadowień budynków w celu uniknięcia wysadzin mrozowych
Budynki - metody określania i dane klimatyczne	PN-EN ISO 13789:2008	Cieplne właściwości użytkowe budynków -- Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie i wentylację -- Metoda obliczania
	PN-EN ISO 13790:2008	Energetyczne właściwości użytkowe budynków -- Obliczanie zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia

Przepływ ciepła - podstawowe wielkości:

T – temperatura, [oC], [K] - Temperatura jest informacją o stanie energetycznym ciała. Jest ona umowną wielkością fizyczną, do jej liczbowego określania używa się dwóch skal: Celsjusza i Kelvina. Zbiór wartości temperatury we wszystkich punktach rozpatrywanego ciała w tej samej chwili czasu jest nazywany polem temperatury. Matematyczny opis pola temperatury sprowadza się do równania o postaci:

$$T = f(x, y, z, \tau)$$

tzn. zależności funkcjonalnej temperatury od współrzędnych x, y, z oraz czasu τ

Q – ciepło, energia [J], [kWh], [kcal]

– moc cieplna, strumień ciepła [J/s] = [W], [Gcal/h]

q – gęstość strumienia ciepła [W/m^2] – wartość strumienia ciepła odniesiona do pola powierzchni wymiany ciepła (A):

$$q = \frac{\dot{Q}}{A}$$

E – energia zużywana na jednostkę pola powierzchni budynku na jednostkę czasu [$J/(m^2/s)$, [$kWh/(m^2K)$]

Wymiana ciepła polega na przekazywaniu energii pomiędzy układami o różnej temperaturze. Układ o temperaturze wyższej traci energię, a układ o temperaturze niższej ją zyskuje [4,5]. Proces trwa do uzyskania stanu równowagi, tzn. wyrównania się temperatur i przebiega poprzez bezpośrednie zetknięcie się układów wymieniających ciepła lub na odległość.

1.1. Wymiana ciepła

Wymiana ciepła polega na przekazywaniu energii pomiędzy układami o różnej temperaturze, przy czym siłą napędową wymiany jest różnica temperatur. Układ o temperaturze wyższej traci energię, a układ o temperaturze niższej zyskuje. Proces trwa do uzyskania stanu równowagi – wyrównania się temperatur, i przebiega poprzez bezpośrednie zetknięcie się układów wymieniających ciepło, bądź na odległość.

Wyróżnia się trzy mechanizmy wymiany ciepła:

- przewodzenie (kondukcja),
- promieniowanie (radiacyjna wymiana ciepła),
- konwekcja (unoszenie).

Podczas rozwiązywania zagadnień wymiany ciepła najczęściej stosuje się prawo addytywności, które zakłada niezależność mechanizmów wymiany ciepła. Oznacza to, że obliczone ilości energii cieplnej związanych z przewodzeniem, unoszeniem i promieniowaniem niezależnie się sumuje.

Przewodzenie ciepła

Przewodzenie, to przekazywanie energii od jednej cząstki do drugiej, za pośrednictwem ruchu drgającego tych cząstek. Proces ten trwa dopóty, dopóki temperatura ciała nie zostanie wyrównana w całej rozpatrywanej objętości. Dotyczy to bezpośredniego kontaktu ciała z ciałem, części ciała z ciałem.

Proces wymiany ciepła na drodze przewodzenia podlega prawu Fouriera, według którego strumień ciepła \dot{Q} przepływający w jednostce czasu przez jednostkową powierzchnię jest proporcjonalny do gradientu temperatury, a współczynnikiem proporcjonalności jest λ , współczynnik przewodzenia ciepła materiału lub ośrodka, w którym ten proces zachodzi.

Współczynnik przewodzenia ciepła λ jest miarą przewodności ciepła. Określa on zdolność danej substancji do przewodzenia ciepła.

Współczynnik przewodzenia ciepła przez przegrody określa, jaki strumień ciepła przenika w ciągu 1 godziny przez $1m^2$ materiału budowlanego grubości 1 m, jeżeli różnica temperatur po obu stronach powierzchni tegoż materiału wynosi 1 K.

Przewodzenie ciepła opisane jest wektorowym prawem Fouriera, które dla materiałów izotropowych i jednego kierunku przewodzenia ciepła, prostopadłym do powierzchni izotermicznej, przyjmuje postać:

$$q = -\lambda \text{ grad } T = -\lambda \frac{dT}{dx},$$

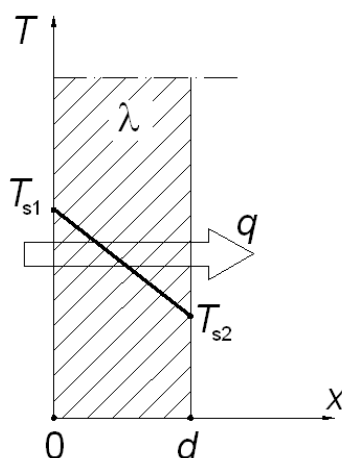
gdzie:

q – składowa natężenia strumienia ciepła w kierunku osi x układu współrzędnych, $[\text{W}/\text{m}^2]$,

λ – współczynnik przewodzenia ciepła, $[\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}]$,

T – temperatura, $[\text{K}]$.

Znak minus we wzorze oznacza, że ciepło płynie w kierunku przeciwnym do wzrastającej temperatury.



Przewodzenie ciepła w płaskiej przegrodzie jednowarstwowej

Gęstość strumienia ciepła w dowolnym przekroju jednorodnej przegrody, przy stacjonarnym polu temperatury, można wyznaczyć ze wzoru:

$$q = \lambda \frac{T_{s1} - T_{s2}}{d}$$

lub

$$q = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{R_T},$$

gdzie:

$R_\lambda = d/\lambda$ - opór przewodzenia ciepła płaskiej przegrody jednowarstwowej ($n = 1$).

Dla przegrody wielowarstwowej ($n > 1$),:

$$R_\lambda = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}.$$

Promieniowanie cieplne

Promieniowanie termiczne jest to emisja fal elektromagnetycznych kosztem energii wewnętrznej ciała. Promieniowanie termiczne emitują wszystkie ciała, których temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego (0 K). Jeśli straty energii wynikające z promieniowania cieplnego nie są równoważone przez dostarczanie ciepła z zewnątrz, temperatura ciała stopniowo obniża się a moc emitowanego promieniowania maleje. Promieniowanie cieplne padające na dowolne ciało zostaje przez nie częściowo pochłonięte (zaabsorbowane), częściowo przepuszczone, a częściowo odbite od jego powierzchni. Energia pochłoniętego promieniowania zwiększa energię wewnętrzną ciała.

Całkowitą moc wypromieniowywaną przez jednostkę powierzchni przez ciało doskonale czarne w danej temperaturze podaje prawo Stefana-Boltzmann.

Zgodnie z nim gęstość strumienia emisji powierzchni doskonale czarnej określona jest wzorem:

$$q_0 = \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot T^4$$

gdzie

σ_0 – stała promieniowania powierzchni doskonale czarnej równa $5,67 \cdot 10^{-8}$ W/(m²•K⁴),

T – temperatura absolutna (termodynamiczna) ciała [K].

Gęstość strumienia ciepła emitowanego przez powierzchnie ciał rzeczywistych, określanych jako szare, zależy wyłącznie od właściwości fizycznych powierzchni ciała i jego temperatury. Określa się go wzorem:

$$q = \varepsilon \sigma_0 T^4.$$

gdzie:

$$\varepsilon = \frac{q}{q_0}$$

ε - emisyjność względna (zdolność promieniowania) jest wielkością charakterystyczną dla danego ciała i określona jest jako stosunek gęstości strumienia promieniowania ciała szarego do gęstości strumienia ciała doskonale czarnego w tej samej temperaturze.

Strumień energii promieniowania ciała szarego o powierzchni A określa zależność:

$$\dot{Q} = \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot A \cdot T^4$$

Konwekcja

Konwekcja to proces przekazywania ciepła związany z makroskopowym ruchem materii w płynie; gazie, cieczy bądź plazmie, np. powietrzu, wodzie, plazmie gwiazdowej. Czasami przez konwekcję rozumie się również sam ruch materii związany z różnicami temperatur, który prowadzi do przenoszenia ciepła, nazywany prądem konwekcyjnym.

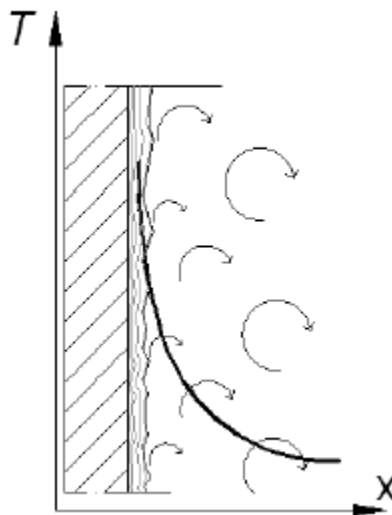
Konwekcja może być:

- swobodna – ruch płynu jest wywołany różnicami gęstości wywołanymi konwekcją.
- wymuszona – występuje ruch płynu niewynikający z konwekcji, wywołany przez czynniki zewnętrzne urządzenia wentylacyjne, wiatr itp.

Pomiędzy powierzchnia ciała stałego a płynem zachodzi złożony proces wymiany ciepła, zwany przejmowaniem ciepła lub wnikaniem ciepła.

Przejmowanie ciepła w układzie powierzchnia przegrody – płyn może zachodzić wskutek następujących zjawisk fizycznych :

- przewodzenia w zakresie przepływu laminarnego,
- przewodzenia w warstwie przyściennej i konwekcji w przypadku ruchu burzliwego,
- promieniowania.



Rozkład temperatury przy przejmowaniu ciepła od przegrody pionowej do płynu

Proces przejmowania ciepła opisuje prawo Newtona, w myśl którego gęstość strumienia ciepła przejmowanego przez konwekcje jest wprost proporcjonalna do różnicy temperatur układu:

$$q_c = h_c (T_s - T_p),$$

gdzie:

h_c – współczynnik przejmowania ciepła przez konwekcje [$W/(m^2 \cdot K)$] – ilość ciepła przepływająca przez jednostkę powierzchni w jednostce czasu odniesiona do różnicy temperatury powierzchni przegrody i płynu (otoczenia),

T_s – temperatura powierzchni ciała stałego, K

T_p – temperatura płynu, K

Wymianę ciepła przez promieniowanie między powierzchnią przegrody a otoczeniem opisuje równanie:

$$q_r = h_r (T_s - T_p),$$

gdzie:

h_r – współczynnik przejmowania ciepła przez promieniowanie [$W/(m^2 \cdot K)$], którego wartość zależy od średniej temperatury absolutnej powierzchni i otoczenia – T_m ;

$$h_r = \varepsilon \sigma_0 4\pi \cdot T_m^3.$$

Całkowity strumień ciepła, wymieniany na powierzchni przegrody, zarówno na drodze konwekcji, jak i promieniowania określa wzór:

$$q = q_r + q_c = h_s (T_s - T_p),$$

gdzie:

$h_s = h_c + h_r$ – współczynnik przejmowania ciepła [$W/(m^2 \cdot K)$].

Opór przejmowania ciepła jest odwrotnością współczynnika przejmowania ciepła:

$$R_s = \frac{1}{h_s}.$$

Gęstość strumienia ciepła można określić zależnością:

$$q = \frac{1}{R_s} (T_s - T_p)$$

Strumień ciepła przepływający przez powierzchnie wymiany ciepła A określa zależność:

$$\dot{Q} = \frac{1}{R_s} (T_s - T_p) A.$$

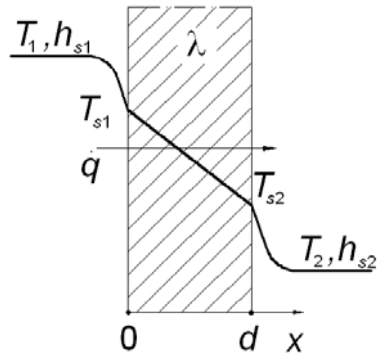
Przenikanie ciepła

Przekazywanie ciepła jest zwykle procesem złożonym, składającym się z dwu lub trzech rodzajów jednocześnie.

Przykładowo na styku powierzchni ciała stałego z płynem (np. powietrzem) zachodzi zarówno konwekcja jak i promieniowanie.

Wymiana ciepła od środowiska gazowego (powietrza) wewnętrznego do środowiska gazowego zewnętrznego (o niższej temperaturze) przez przegrodę budowlaną obejmuje następujące zjawiska fizyczne:]:

- przejmowanie (wnikanie) ciepła z otoczenia do ścianki (przegrody),
- przewodzenie ciepła w przegrodzie;
- przejmowanie ciepła od przegrody do otoczenia.



Przenikanie ciepła przez przegrodę płaską jednowarstwową

Gęstość strumienia ciepła wymienianego przez przegrodę określa wzór:

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R_T} = U(T_1 - T_2),$$

gdzie:

U jest współczynnikiem przenikania ciepła [W/(m²•K)]:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

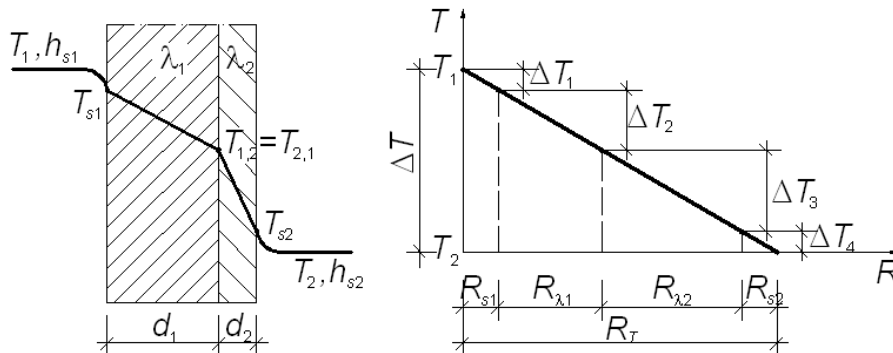
opór przenikania ciepła R_T :

$$R_T = \frac{1}{h_{s1}} + \sum_{k=1}^n \frac{d_k}{\lambda_k} + \frac{1}{h_{s2}} = R_{s1} + R_\lambda + R_{s2}$$

gdzie:

R_λ - opór przewodzenia

R_{s1} i R_{s2} - opory przejmowania (wnikania)



Rozkład temperatur w przegrodzie jednorodnej dwuwarstwowej

Całkowity strumień ciepła przenikający przez przegrodę o powierzchni A oblicza się z zależności:

$$\dot{Q} = A \cdot q$$

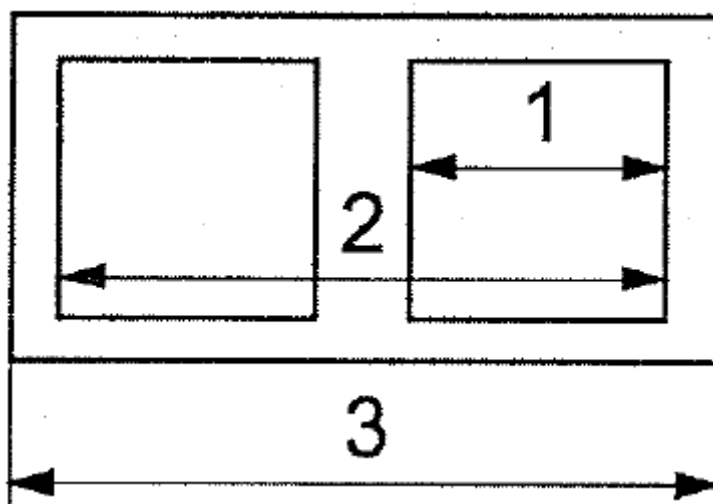
1.2. Określanie danych do obliczenia wskaźników energetycznych: cech geometrycznych i wymiarowych oraz występujących mostków cieplnych

W celu dokonania oceny charakterystyki energetycznej zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej (Dz. U. Nr 201, poz. 1240), należy wyznaczyć geometryczne wskaźniki opisujące bryłę budynku oraz wyznaczyć niezbędne wymiary liniowe dla obliczenia:

- rozpatrywanych powierzchni przegród budowlanych,
- powierzchni stref ogrzewanych,
- powierzchni stref chłodzonych,
- powierzchni przestrzeni nieogrzewanych,
- liniowych mostków cieplnych.

Powszechnie są stosowane trzy systemy wymiarowe:

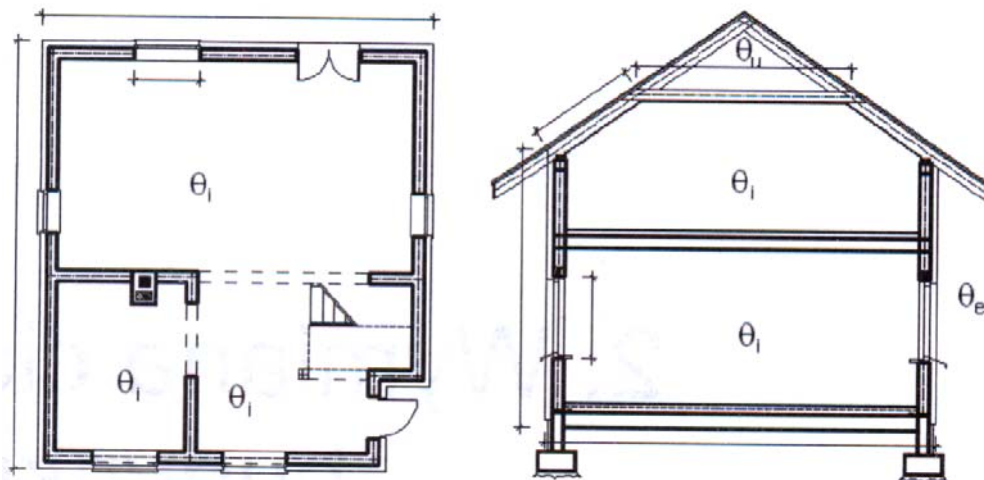
- wymiarów wewnętrznych, mierzonych między wykończonymi wewnętrznymi powierzchniami każdego pomieszczenia w budynku (co wyklucza grubość wewnętrznych ścian działowych),
- całkowitych wymiarów wewnętrznych, mierzonych między wykończonymi wewnętrznymi powierzchniami zewnętrznych elementów budynku (co zawiera grubość wewnętrznych ścian działowych),
- wymiarów zewnętrznych, mierzonych między wykończonymi zewnętrznymi powierzchniami zewnętrznych elementów budynku.



Objaśnienia:

- 1 – wymiar wewnętrzny,
- 2 - całkowity wymiar wewnętrzny,

3 - wymiar zewnętrzny.



System wymiarowania zewnętrznego

1.3. Określenie cech fizycznych materiałów i wyrobów budowlanych

Z punktu widzenia oceny charakterystyki energetycznej budynku, przegrody budowlane można podzielić na:

- ściany,
- dach,
- podłogi na gruncie,
- okna,
- drzwi.

W przegrodach, szczególnie w miejscach ich połączeń, występują t.zw. mostki cieplne, mające wpływ na całkowite przenoszenie ciepła.

Przez mostek cieplny rozumie się miejsca w strukturze przegród zewnętrznych budynku, w którym obserwuje się obniżenie temperatury na jej powierzchni wewnętrznej i wzrost gęstości strumienia cieplnego w stosunku do pozostałej części przegrody.

Należą do nich:

- liniowe mostki cieplne, charakteryzujące się jednakowym przekrojem poprzecznym w jednym z trzech kierunków osi prostopadłych,
- punktowe mostki cieplne, czyli umiejscowione mostki cieplne, których wpływ może być reprezentowany przez punktowy współczynnik przenikania ciepła.

Zastosowane materiały i wyroby budowlane charakteryzują się własnościami fizycznymi, charakterystycznymi dla każdego z użytych. Są to przede wszystkim:

- **gęstość** (*masa właściwa*), czyli stosunek masy pewnej ilości substancji do zajmowanej przez nią objętości, przy czym:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

gdzie:

m – masa materiału, kg

V - objętość, m^3

- **wilgotność względna**, czyli stosunek ciśnienia cząstkowego pary wodnej zawartej w powietrzu do ciśnienia nasycenia, określającego maksymalne ciśnienie cząstkowe pary wodnej w danej temperaturze;
- **przewodność cieplna**, inaczej **współczynnik przewodnictwa ciepła**, (oznaczany symbolem λ), określa zdolność substancji do przewodzenia ciepła,
- **pojemność cieplna**, czyli stosunek ilości ciepła (dQ) dostarczonego do układu, do odpowiadającego mu przyrostu temperatury (dT).

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

gdzie:

- C - pojemność cieplna
- Q - ciepło
- T – temperatura

Pojemność cieplna przypadająca na jednostkę masy to **ciepło właściwe**.

Pojemność cieplna C jest związana z ciepłem właściwym poprzez zależność:

$$C = m \cdot c$$

gdzie:

- c - ciepło właściwe, kJ/kgK
- m - masa substancji, kg

Tablica – wartości współczynników przewodzenia ciepła

Nazwa materiału	Gęstość w stanie suchym (średnia) kg/m ²	Współczynnik przewodzenia ciepła λ , W/(mK)		
		Warunki średnio-wilgotne	Warunki wilgotne	
Beton zwykły z kruszywa kamiennego	2400	1,70	1,80	
	2200	1,30	1,50	
	1900	1,00	1,10	
Mur z betonu komórkowego na cienkowarstwowej zaprawie klejącej lub zaprawie o przewodności cieplnej równej przewodności cieplnej betonu komórkowego	800	0,29	0,35	
	700	0,25	0,30	
	600	0,21	0,25	
	500	0,17	0,21	
	400	0,14	0,17	
Mur z betonu komórkowego na zaprawie cementowo – wapiennej, ze spoinami o grubości nie większej niż 1,5 cm	800	0,38	0,44	
	700	0,35	0,40	
	500	0,25	0,30	
Gipsobeton piaskowy	1300	0,52	0,62	
	1200	0,30	0,52	
Mur z cegły ceramicznej pełnej	1800	0,77	0,91	
Mur z cegły dziurawki	1400	0,62	0,70	
Mur z cegły kratówki	1300	0,56	0,62	
Mur z cegły silikatowej pełnej	1900	0,90	1,00	
Mur z cegły klinkierowej	1900	1,05	1,15	
Płyty korkowe ekspandowane	150	0,045	0,050	
Sosna i świerk – w poprzek włókien	550	0,16	0,20	
Sosna świerk – wzdłuż włókien	550	0,30	0,35	
Dąb – w poprzek włókien	800	0,22	0,26	
Dąb – wzdłuż włókien	800	0,40	0,46	
Sklejka	600	0,16	0,20	
Filce, maty i płyty z wełny mineralnej	od 40	0,045	0,045	
	do 80			
	od 100	0,042	0,042	
	do 160			
Styropian	10	0,045	0,045	
	12	0,043	0,043	
	od 15	0,040	0,040	
	do 40			
Pianka poliuretanowa	- w szczelnej osłonie	od 30	0,025	0,025
		do 50		
	- w pozostałych przypadkach	od 30	0,035	0,040
		do 50		
	- w pozostałych przypadkach	od 50	0,045	0,050
		do 150		
Mur z pustaków ceramicznych drażonych szczelinowych, na zaprawie cementowo - wapiennej	do 800	0,30	-	
	do 900	0,33	-	
	do 1110	0,40	-	
Tynk lub gładź szpachlowa	2000	1,00	1,10	
Tynk wapienny	1700	0,70	0,80	

Wartości obliczeniowe właściwości fizycznych wybranych materiałów budowlanych wg PN-EN 12524

Grupa materiałowa lub zastosowanie	Gęstość ρ [kg/m ³]	Obliczenio- wy współ- czynnik przewodze- nia ciepła λ [W/(m·K)]	Ciepło właściwe c_p [J/(kg·K)]	Współczynnik oporu dy- fuzyjnego μ	
				suchy	wil- gotny
Grunty					
glina lub ił	1 200–1 800	1,5	1670–2500	50	50
piasek i żwir	1 700–2 200	2,0	910–1180	50	50
Kamień					
naturalny, skała krystaliczna	2 800	3,5	1 000	10 000	10 000
naturalny, skała osadowa	2 600	2,3	1 000	250	200
naturalny, skała osadowa, lekka	1 500	0,85	1 000	30	20
naturalny, porowaty, np. lawa	1 600	0,55	1 000	20	15
bazalt	2 700–3 000	3,5	1 000	10 000	10 000
gnejs	2 400–2 700	3,5	1 000	10 000	10 000
granit	2 500–2 700	2,8	1 000	10 000	10 000
marmur	2800	3,5	1 000	10 000	10 000
łupek	2 000–2 800	2,2	1 000	1 000	800
wapień, bardzo miękki	1 600	0,85	1 000	30	20
wapień, miękki	1 800	1,1	1 000	40	25
wapień, półtwardy	2 000	1,4	1 000	50	40
wapień, twardy	2 200	1,7	1 000	200	150
wapień, bardzo twardy	2 600	2,3	1 000	250	200
piaskowiec (krzemionka)	2 600	2,3	1 000	40	300
pumeks naturalny	400	0,12	1 000	8	6
kamień sztuczny	1 750	1,3	1 000	50	40

Płytki (dachówki)					
ceramiczne	2 000	1,0	800	40	30
cementowe	2 100	1,5	1 000	100	60
Płytki (inne)					
ceramika/porcelana	2 300	1,3	840	∞	∞
tworzywa sztuczne	1 000	0,20	1 000	10 000	10 000
Tarcica^(c)					
	500	0,13	1 600	50	20
	700	0,18	1 600	200	50
Płyty drewnopochodne^(c)					
sklejka ^(d)	300	0,09	1 600	150	50
sklejka	500	0,13	1 600	200	70
sklejka	700	0,17	1 600	220	90
sklejka	1 000	0,24	1 600	250	110
plyta wiórowo-cementowa	1 200	0,23	1 500	50	30
plyta wiórowa	300	0,10	1 700	50	10
plyta wiórowa	600	0,14	1 700	50	15
plyta wiórowa	900	0,18	1 700	50	20
plyta o wiórach orientowanych (OSB)	650	0,13	1 700	50	30
plyta pilśniowa, w tym MDF ^(e)	250	0,07	1 700	5	2
plyta pilśniowa, w tym MDF ^(e)	400	0,10	1 700	10	5
plyta pilśniowa, w tym MDF ^(e)	600	0,14	1 700	20	12
plyta pilśniowa, w tym MDF ^(e)	800	0,18	1 700	30	20

Właściwości ciepno-wilgotnościowe jednorodnych materiałów i wyrobów oraz dane do obliczania i konwersji obliczeniowych wartości cieplnych na różne warunki cieplne i wilgotnościowe otoczenia zawiera Norma PN-EN

12524:2003 Materiały i wyroby budowlane – Właściwości

cieplnowilgotnościowe– Stabelaryzowane wartości obliczeniowe

Występowanie kondensacji pary wodnej na wewnętrznej powierzchni przegród budynku, które może przyczyniać się do pogorszenia ich stanu oraz pojawienia się i rozwoju zagrzybienia, zależy od izolacyjności cieplnej przegrody oraz cieplnych i wilgotnościowych warunków eksploatacji.

Wg wymagań podanych w przepisach techniczno-budowlanych w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej czy budynkach produkcyjnych **opór cieplny nieprzezroczystych przegród zewnętrznych powinien umożliwiać utrzymanie na wewnętrznych powierzchniach temperatury wyższej co najmniej o 1°C od punktu rosy powietrza w pomieszczeniu, przy obliczeniowych wartościach temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego. W pomieszczeniach klimatyzowanych, z utrzymywaną stałą wilgotnością względną powietrza, temperatura wewnętrznej powierzchni przegród powinna być wyższa od punktu rosy.**

Punkt rosy określa wartość temperatury, w której wilgotne powietrze osiąga stan nasycenia (wilgotność względną $\phi = 100\%$).

Z własności materiałów wpływających na wilgotność przegród zasadniczą rolę odgrywa sorpcyjność, napięcie powierzchniowe, dyfuzja i kondensacja pary wodnej, kapilarne podciąganie wody, zaś spośród czynników klimatycznych największy wpływ wywiera wilgotność względna otaczającego powietrza oraz opady atmosferyczne.

Wilgoć w materiałach budowlanych może występować jako woda związana:

- chemicznie,
- fizykochemicznie,
- fizykomechanicznie.

Woda związana chemicznie (woda konstytutywna) znajduje się w strukturze niektórych materiałów w ścisłych stosunkach ilościowych, np. w gipsach, zaprawach, betonach. Jest ona silnie związana ze związkami chemicznymi wchodzącymi w skład tych materiałów i oddzielić ją można tylko poprzez prażenie w odpowiednio wysokiej temperaturze.

Woda związana fizykochemicznie (wilgoć sorpcyjna) występuje w materiałach budowlanych na rozwiniętej powierzchni porów i kapilar. Zjawisko to występuje dzięki istnieniu sił van der Waalsa, oddziałujących na cząsteczki gazu (pary wodnej) w pobliżu powierzchni ciała stałego.

Woda związana fizykomechanicznie występuje w materiale na skutek bezpośredniego ich kontaktu z wodą dzięki istnieniu sił kapilarnych (siły napięcia powierzchniowego)

Sorpcja pary wodnej określa się proces pochłaniania wilgoci z powietrza przez materiał o własnościach hydrofilowych (mających tendencję do przyłączenia wody), zachodzący tylko na powierzchni materiału (adsorpcja) lub w objętości materiału (absorpcja). Rozdzielenie tych zjawisk jest trudne, dlatego analizuje się je łącznie nazywając sorpcją.

Proces odwrotny polegający na oddawaniu wilgoci z materiału do otoczenia nazywany jest desorpcją.

Wilgotność sorpcyjna ma duże znaczenie dla materiałów o silnie rozwiniętej powierzchni wewnętrznej. Zależy od struktury i powierzchni właściwej porów oraz od wilgotności względnej i temperatury powietrza. Masę zaadsorbowanej wilgoci w funkcji wilgotności względnej powietrza, przy stałej temperaturze, przedstawia się za pomocą krzywych, zwanych izotermami sorpcji. W izotermach sorpcji wyróżnia się trzy odcinki odpowiadające różnym zakresom wilgotności względnej otaczającego powietrza, którym towarzyszy odmienny charakter fizyczny zjawiska sorpcji.

Wilgotność względna – stosunek ciśnienia cząstkowego pary wodnej w powietrzu wilgotnym p_w do ciśnienia nasycenia pary wodnej p_{wn} przy tej samej temperaturze.

$$\varphi = \frac{p_w}{p_{wn}} \cdot 100[\%]$$

Ciśnienie cząstkowe jest ciśnieniem, jakie miałby gaz, gdyby zajmował całą dostępną objętość.

Zawartość wilgoci – (wilgotność bezwzględna) jest to masa pary wodnej przypadająca na jednostkę masy suchego powietrza. Zawartość wilgoci oznacza się przez x [kg/kg]. Związek między zawartością wilgoci x oraz wilgotnością względną φ wyraża wzór:

$$x = 0.622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_{wn}}{p_b - \varphi \cdot p_{wn}}$$

p_b – ciśnienie barometryczne (atmosferyczne).

Kondensacja pary wodnej – proces odwrotny do parowania, polegający na przejściu znajdującej się w powietrzu pary wodnej ze stanu gazowego w ciekły (skroplenie) lub stały (resublimacja). Prowadzi do powstania chmur, mgieł, rosy i szronu. Zjawisko kondensacji pary wodnej może występować na powierzchniach (kondensacja powierzchniowa) lub wewnątrz zewnętrznych przegród budowlanych (kondensacja wgłębna lub międzywarstwowa).

Ochłodzenie powietrza powoduje wzrost wilgotności względnej, faktyczna zawartość wilgoci w powietrzu nie zmienia się natomiast ciśnienie pary nasyconej, wskutek czego wzrasta stan nasycenia powietrza. Spadek temperatury do poziomu, przy którym osiągnięty zostaje stan nasycenia powietrza wewnętrznego powoduje rozpoczęcie procesu kondensacji pary wodnej na powierzchniach nie pochłaniających wilgoci. Temperatura ta nosi nazwę temperatury punktu rosy.

Temperatura punktu rosy – jest temperaturą powietrza wilgotnego, do której można je schłodzić bez wydzielania się z niego wilgoci, czyli do uzyskania przez to powietrze stanu nasycenia. Punkt rosy leży na przecięciu izohigry $x =$ idem z krzywą nasycenia $\varphi = 100\%$.

Temperaturę powierzchni przegrody, bez mostków cieplnych liniowych, należy obliczać ze wzoru:

$$v_i = t_i - U \cdot R_{si} \cdot (t_i - t_e)$$

t_i – temperatura powietrza wewnętrznego,

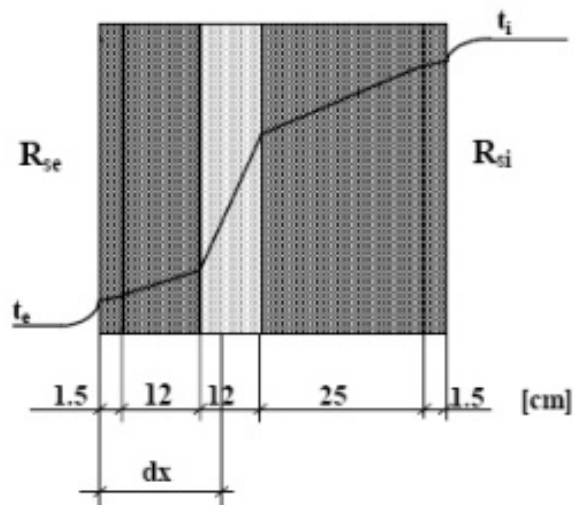
t_e – temperatura powietrza zewnętrznego,

R_{si} – opór przejmowania ciepła, jest odwrotnością współczynnika przejmowania ciepła (wg PN-EN ISO 6946)

U – współczynnik przenikania ciepła przegrody,

$$U = \frac{1}{R_T}$$

R_T – całkowity opór cieplny przegrody (określony w części „Ochrona Ciepłna Budynków”).



Rozkład temperatury w warstwach przegrody

Temperatura na styku pierwszej i drugiej warstwy wyniesie:

$$v_1 = t_i - U \cdot (R_{si} + R_1) \cdot (t_i - t_e)$$

Temperatura na styku drugiej i trzeciej warstwy wyniesie:

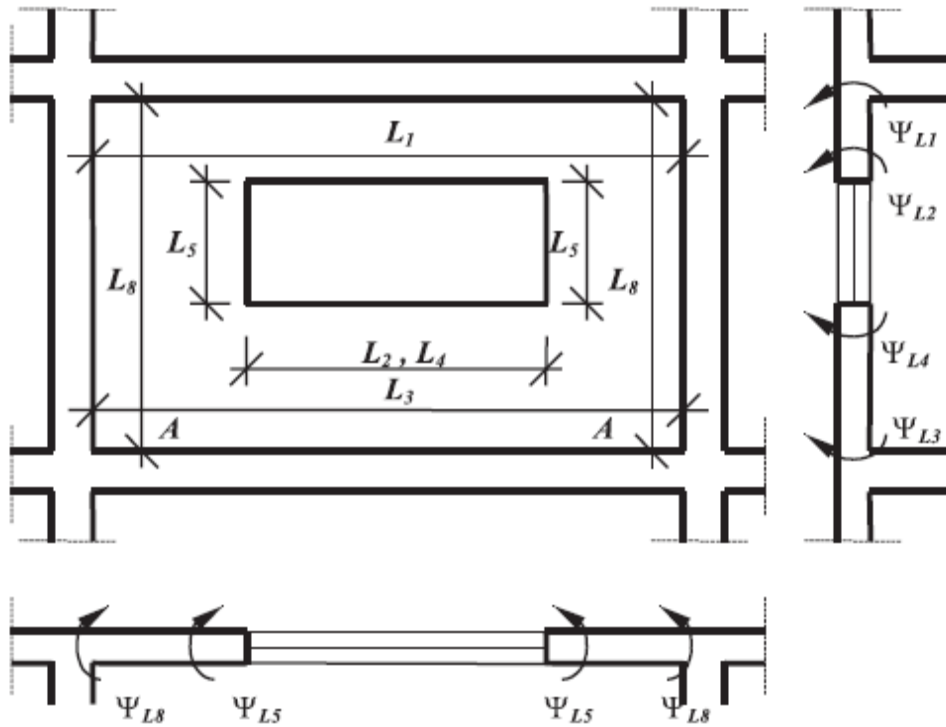
$$v_2 = t_i - U \cdot (R_{si} + R_1 + R_2) \cdot (t_i - t_e)$$

itd.

R_1, R_2, \dots, R_n – obliczeniowy opór cieplny każdej warstwy [$m^2 \cdot K/W$]

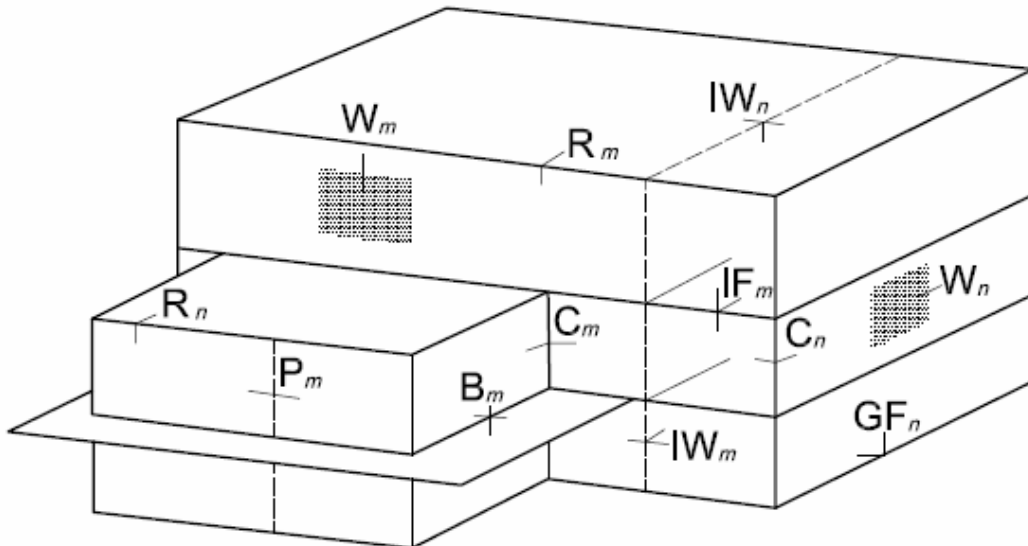
Mostki cieplne

Mostek termiczny (zwany także cieplnym) to element przegrody budowlanej o znacznie wyższym niż sąsiadujące z nim elementy współczynniki przewodzenia ciepła. Na skutek tej cechy, przy różnicy temperatur wewnątrz i na zewnątrz budynku, dochodzi do punktowego wychładzania przegrody. Poprzez mostek termiczny następuje więc wzmożona, niekontrolowana utrata ciepła. Jest ona wprost proporcjonalna do wielkości mostka termicznego. W miejscu powstawania mostka cieplnego temperatura powierzchni ściany obniża się często do tego stopnia (przede wszystkim w zimnych porach roku), że przekroczony zostaje temperatura punktu rosy - skraplania się pary wodnej. Zjawisko to niesie ze sobą duże ryzyko zawilgocenia ścian pomieszczenia oraz wielu innych negatywnych konsekwencji.

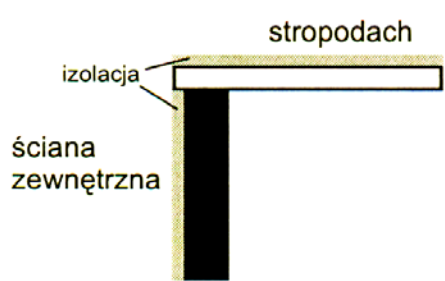
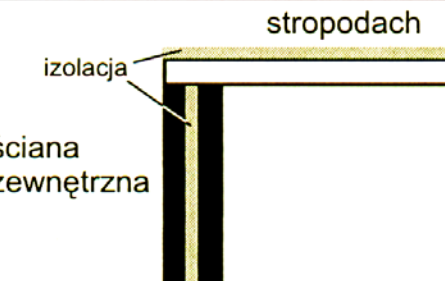
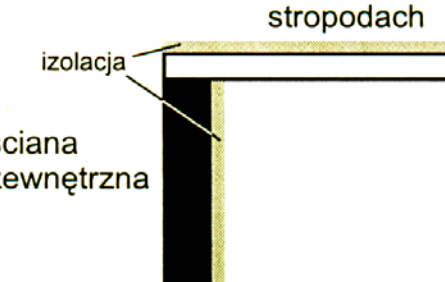
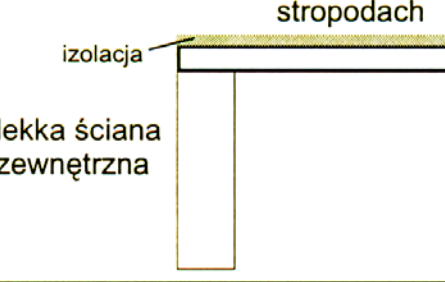
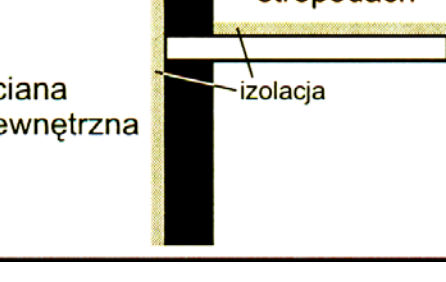


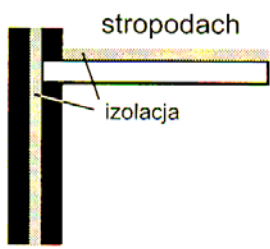
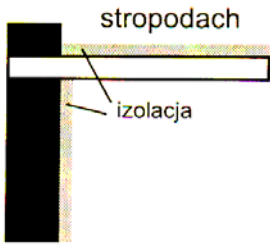
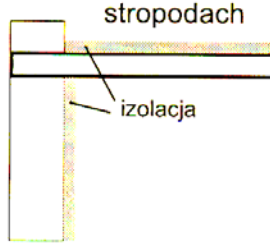
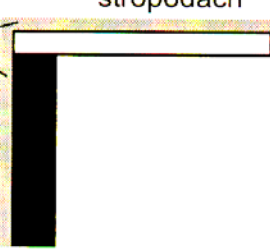

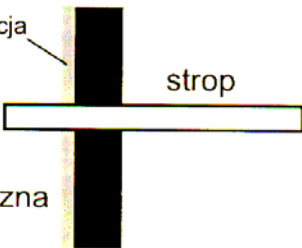
Schemat występowania liniowych mostków cieplnych w ścianie

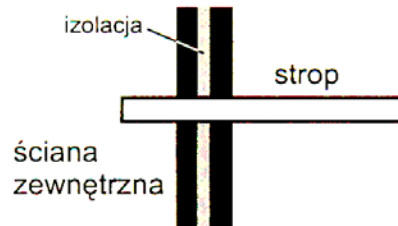
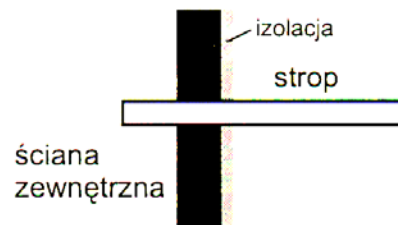
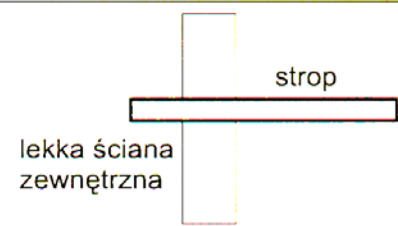
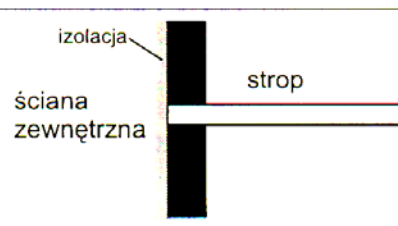
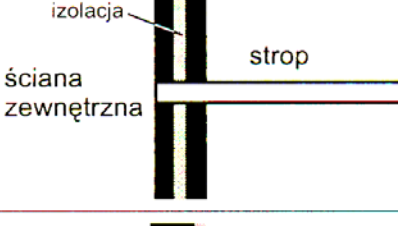
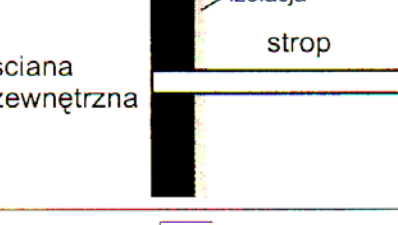
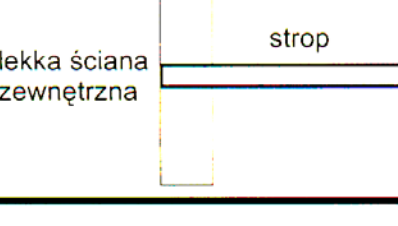
Poniżej przedstawiono wartości współczynników przewodzenia wybranych materiałów oraz liniowych mostków cieplnych.



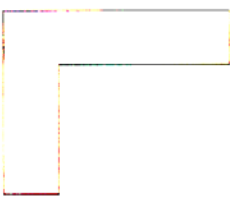
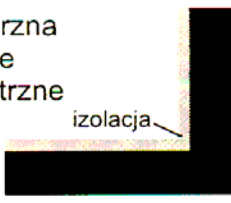
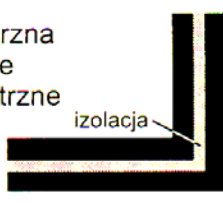
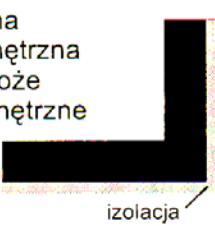
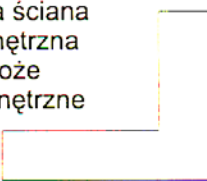
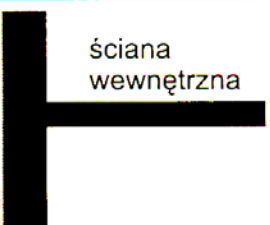

Poniżej podano wybrane wartości orientacyjne liniowych współczynników przenikania ciepła mostków cieplnych

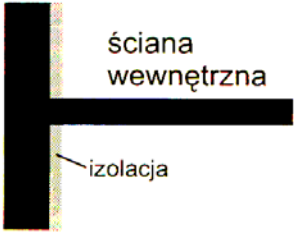
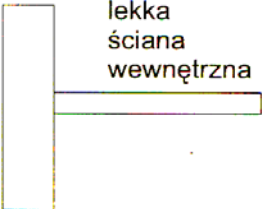
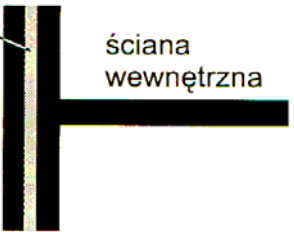
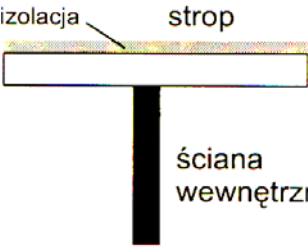
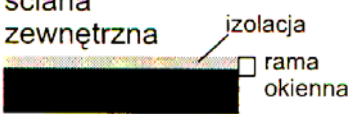
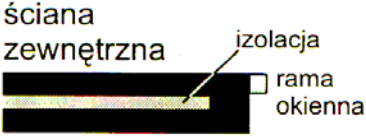
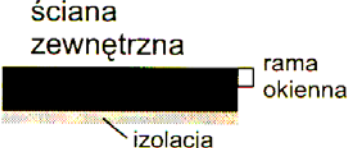
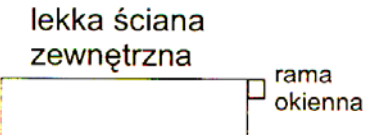
Symbol mostka	Rozwiązanie konstrukcyjne	Ψ_e [W/(mK)]	Ψ_{oi} [W/(mK)]	Ψ_i [W/(mK)]
Połączenie ściany zewnętrznej ze stropodachem				
R1	 <p>ściana zewnętrzna</p> <p>izolacja</p> <p>stropodach</p>	0,55	0,75	0,75
R2	 <p>ściana zewnętrzna</p> <p>izolacja</p> <p>stropodach</p>	0,50	0,75	0,75
R3	 <p>ściana zewnętrzna</p> <p>izolacja</p> <p>stropodach</p>	0,40	0,75	0,75
R4	 <p>lekka ściana zewnętrzna</p> <p>izolacja</p> <p>stropodach</p>	0,40	0,65	0,65
R5	 <p>ściana zewnętrzna</p> <p>izolacja</p> <p>stropodach</p>	0,60	0,80	0,80

R6	 <p>ściana zewnętrzna</p>	0,50	0,70	0,70
R7	 <p>ściana zewnętrzna</p>	0,65	0,85	0,85
R8	 <p>lekka ściana zewnętrzna</p>	0,45	0,70	0,70
R9	 <p>ściana zewnętrzna</p>	-0,05	0,15	0,15
R10	 <p>lekka ściana zewnętrzna</p>	0,00	0,20	0,20
Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową				
B1	 <p>ściana zewnętrzna</p>	0,95	0,95	1,05

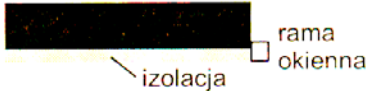

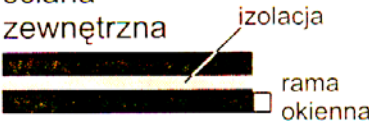
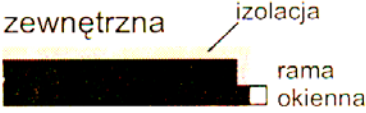
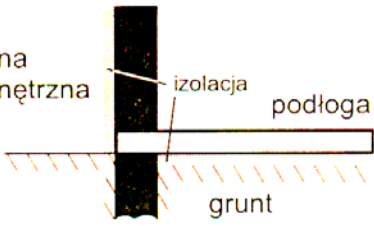
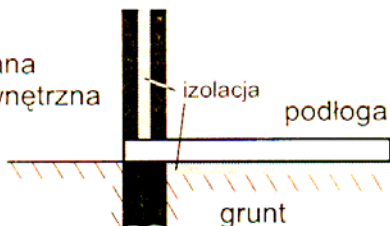
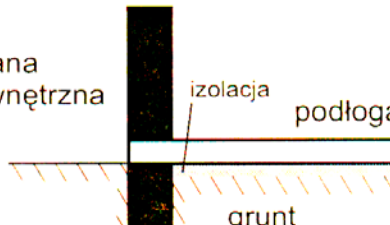
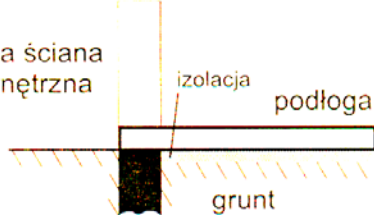
B2		0,95	0,95	1,05
B3		0,90	0,90	1,00
B4		0,70	0,70	0,80
Połączenie ściany zewnętrznej ze stropem wewnętrznym, międzykondygnacyjnym				
IF1		0,00	0,00	0,10
IF2		0,95	0,95	1,05
IF3		0,90	0,90	1,00
IF4		0,70	0,70	0,80

IF5		0,60	0,65	0,65
IF6		0,90	0,90	1,00
IF7		0,70	0,70	0,80
IF8		0,45	0,45	0,60
Naroża, połączenie ściany zewnętrznej ze ścianą zewnętrzną				
C1		- 0,05	0,15	0,15
C2		- 0,10	0,10	0,10
C3		- 0,20	0,05	0,05




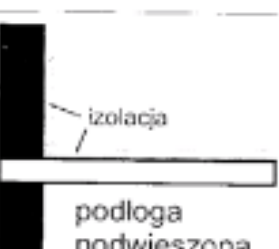
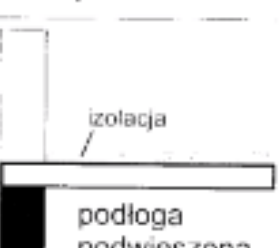


C4	lekka ściana zewnętrzna - naroże zewnętrzne 	- 0,15	0,10	0,10
C5	ściana zewnętrzna - naroże wewnętrzne izolacja 	0,05	- 0,15	- 0,15
C6	ściana zewnętrzna - naroże wewnętrzne izolacja 	0,15	- 0,10	- 0,10
C7	ściana zewnętrzna - naroże wewnętrzne izolacja 	0,15	- 0,05	- 0,05
C8	lekka ściana zewnętrzna - naroże wewnętrzne 	0,10	- 0,10	- 0,10
Połączenie ściany zewnętrznej ze ścianą wewnętrzną, działową				
IW1	izolacja ściana zewnętrzna ściana wewnętrzna 	0,00	0,00	0,10
IW2	izolacja ściana zewnętrzna ściana wewnętrzna 	0,95	0,95	1,05

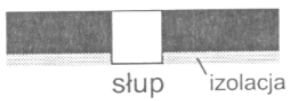

IW3	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">ściana zewnętrzna</div>  </div>	0,90	0,90	1,00
IW4	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">lekka ściana zewnętrzna</div>  </div>	0,00	0,00	0,20
IW5	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">ściana zewnętrzna</div>  </div>	0,00	0,00	0,10
Połączenie stropu zewnętrznego ze ścianą wewnętrzną, działową				
IW6	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">izolacja</div>  </div>	0,00	0,00	0,10
Otwory okienne i drzwiowe – rama po stronie zewnętrznej ściany				
W1	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">ściana zewnętrzna</div>  </div>	0,00	0,00	0,00
W2	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">ściana zewnętrzna</div>  </div>	1,00	1,00	1,00
W3	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">ściana zewnętrzna</div>  </div>	0,80	0,80	0,80
W4	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">lekka ściana zewnętrzna</div>  </div>	0,15	0,15	0,15

W5	<p>ściana zewnętrzna</p>	0,40	0,40	0,40
W6	<p>ściana zewnętrzna</p>	0,10	0,10	0,10
Otwory okienne i drzwiowe – rama w środku ściany				
W7	<p>ściana zewnętrzna</p>	0,45	0,45	0,45
W8	<p>ściana zewnętrzna</p>	1,00	1,00	1,00
W9	<p>ściana zewnętrzna</p>	0,60	0,60	0,60
W10	<p>lekka ściana zewnętrzna</p>	0,10	0,10	0,10
W11	<p>ściana zewnętrzna</p>	0,00	0,00	0,00
W12	<p>ściana zewnętrzna</p>	0,10	0,10	0,10
Otwory okienne i drzwiowe – rama po stronie wewnętrznej ściany				
W13	<p>ściana zewnętrzna</p>	0,80	0,80	0,80
W14	<p>ściana zewnętrzna</p>	1,00	1,00	1,00

W15	<p>ściana zewnętrzna</p>  <p>izolacja rama okienna</p>	0,00	0,00	0,00
W16	<p>lekka ściana zewnętrzna</p>  <p>rama okienna</p>	0,15	0,15	0,15
W17	<p>ściana zewnętrzna</p>  <p>izolacja rama okienna</p>	0,40	0,40	0,40
W18	<p>ściana zewnętrzna</p>  <p>izolacja rama okienna</p>	0,20	0,20	0,20
Połączenie ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie				
GF1	<p>ściana zewnętrzna</p>  <p>izolacja podłoga grunt</p>	0,65	0,80	0,80
GF2	<p>ściana zewnętrzna</p>  <p>izolacja podłoga grunt</p>	0,60	0,75	0,75
GF3	<p>ściana zewnętrzna</p>  <p>izolacja podłoga grunt</p>	0,55	0,70	0,70
GF4	<p>lekka ściana zewnętrzna</p>  <p>izolacja podłoga grunt</p>	0,50	0,65	0,65

GF5		0,60	0,75	0,75
GF6		0,55	0,70	0,70
GF7		- 0,05	0,10	0,10
GF8		0,05	0,20	0,20
Połączenie ściany zewnętrznej z podłogą podwieszoną				
GF9		0,75	0,95	0,95
GF10		0,65	0,85	0,85
GF11		0,55	0,75	0,75

GF12	lekka ściana zewnętrzna		0,50	0,70	0,70
GF13	ściana zewnętrzna		0,60	0,80	0,80
GF14	ściana zewnętrzna		0,45	0,65	0,65
GF15	ściana zewnętrzna		0,10	0,10	0,10
GF16	lekka ściana zewnętrzna		0,00	0,20	0,20
Słupy w ścianach zewnętrznych					
P1	ściana zewnętrzna		1,30	1,30	1,30
P2	ściana zewnętrzna		1,20	1,20	1,20

P3	<p>ściana zewnętrzna</p>  <p>słup izolacja</p>	1,15	1,15	1,15
P4	<p>lekka ściana zewnętrzna</p>  <p>słup</p>	0,90	0,90	0,90

1.4. Obliczanie wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych zgodnie z PN EN ISO 6946

Norma PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku – Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła – Metoda obliczania, podaje metodę obliczania oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła komponentów budowlanych i elementów budynku (z wyjątkiem: okien, drzwi i innych komponentów szklonych; przegród stykających się z gruntem; komponentów, przez które przewiduje się nawiew powietrza). Współczynnik przenikania ciepła określony jest dla następujących elementów budowlanych:

- przegród z warstw jednorodnych,
- przegród z warstw jednorodnych i niejednorodnych, łącznie z efektem metalowych łączników,
- komponentów z warstwami o zmiennej grubości (spadek do 5%).

Metoda obliczania oparta jest na odpowiednich wartościach obliczeniowych współczynnika przewodzenia ciepła lub wartościach obliczeniowych oporu cieplnego materiałów i wyrobów w rozpatrywanym zastosowaniu.

Obliczenia wg normy polegają na:

- określeniu oporu cieplnego dla każdej jednorodnej cieplnie części komponentu,
- zsumowaniu poszczególnych oporów tak, aby uzyskać całkowity opór cieplny komponentu, łącznie (w zależności od potrzeb) z oporami przejmowania ciepła na powierzchni.

1.4.1. Opory cieplne

Opór cieplny warstw jednorodnych

Jeżeli jest podany współczynnik przewodzenia ciepła, to opór cieplny warstwy otrzymuje się z:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

gdzie:

d – grubość warstwy, m

Opory przejmowania ciepła na powierzchni

Opory przejmowania ciepła na powierzchniach przegród budowlanych przyjmowane są w zależności od kierunku przepływu strumienia cieplnego.

Opory przejmowania ciepła, (m ² K)/W	kierunek przepływu strumienia cieplnego		
	w górę	poziomy	w dół
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Opory przejmowania ciepła na powierzchniach przegród budowlanych

Opór cieplny warstw powietrza

a. Niewentylowana warstwa powietrza

W niewentylowanej warstwie nie ma wyraźnego zapewnienia przepływu powietrza. Za niewentylowaną warstwę powietrza uważa się również warstwę powietrza bez izolacji cieplnej między nią a środowiskiem zewnętrznym, ale z małymi otworami do tego środowiska, przy czym nie są one przewidziane do stałego przepływu powietrza a ich pole powierzchni nie przekracza:

- 500 mm² na 1 m długości (w kierunku poziomym) dla pionowych warstw powietrza,
- 500 mm² na 1 m² powierzchni dla poziomych warstw powietrza.

grubość w mm	kierunek przepływu strumienia cieplnego		
	w górę	poziomy	w dół
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Opór cieplny niewentylowanych warstw powietrza

b. Słabo wentylowana warstwa powietrza

Słabo wentylowaną warstwę powietrza jest taka warstwa, w której powietrze ze środowiska zewnętrznego może przepływać przez otwory o polu powierzchni A_v zawartym w granicach 500÷1500 mm²:

- na 1 m długości (w kierunku poziomym) dla pionowych warstw powietrza,
- na 1 m² powierzchni dla poziomych warstw powietrza.

Całkowity opór cieplny komponentu o słabo wentylowanej warstwie powietrza można obliczać jako:

$$R_T = \frac{1500 - A_v}{1000} R_{T,u} + \frac{A_v - 500}{1000} R_{T,v}$$

gdzie:

$R_{T,u}$ - całkowity opór cieplny z niewentylowaną warstwą powietrza,

$R_{T,v}$ - całkowity opór cieplny z dobrze wentylowaną warstwą powietrza.

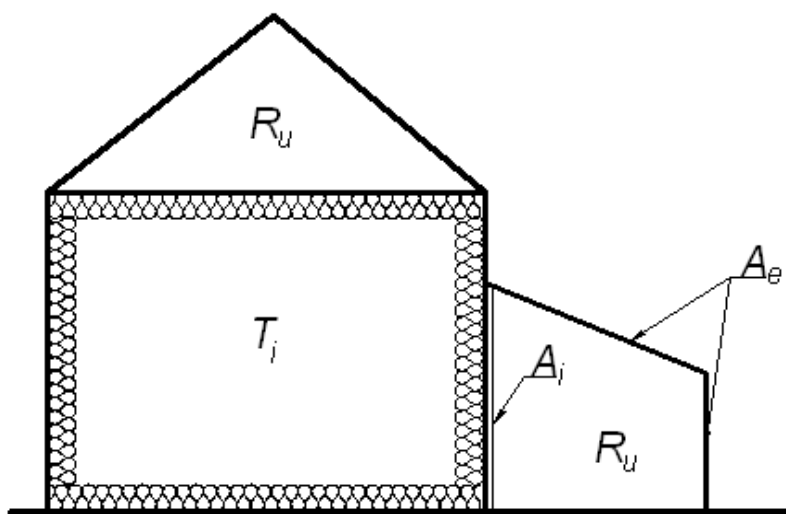
c. Dobrze wentylowana warstwa powietrza

Dobrze wentylowaną warstwą powietrza jest taka warstwa, w której pole powierzchni otworów między nią a środowiskiem zewnętrznym jest równe albo przekracza:

- 1500 mm² na 1 m długości (w kierunku poziomym) dla pionowych warstw powietrza,
- 1500 mm² na 1 m² powierzchni dla poziomych warstw powietrza.

W obliczeniach całkowitego oporu cieplnego komponentu zawierającego dobrze wentylowaną warstwę powietrza, pomija się opór cieplny warstwy powietrza i wszystkich innych warstw między warstwą powietrza a środowiskiem zewnętrznym i dodaje się zewnętrzny opór przejmowania ciepła, odpowiadający nieruchomemu powietrzu.

Opór cieplny przestrzeni nieogrzewanych



a. Przestrzenie dachowe

W odniesieniu do dachów stromych z płaskim izolowanym stropem wartość oporu cieplnego R_u odczytuje się z tablicy.

$R_{U,}$ ($m^2 \cdot K$)/W	Charakterystyka pokrycia dachu
0,06	Pokrycie dachówką bez papy (folii wstępnego krycia), poszycia itp.
0,2	Pokrycie arkuszowe lub z poszyciem i dachówką z warstwą papy (folii)
0,3	Pokrycie arkuszowe lub z poszyciem i dachówką z warstwą papy (folii) i dodatkową okładziną aluminiową lub inną niskoemisyjną powierzchnią od spodu dachu
0,3	Pokrycie – papa na poszyciu

Opór cieplny przestrzeni dachowych

b. Inne przestrzenie

W przypadku gdy do budynku przylega przestrzeń nieogrzewana, współczynnik przenikania ciepła między środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym określa się ze wzoru:

$$R_u = \frac{A_i}{\sum_k (A_{e,k} U_{e,k}) + 0,33 \times nV}$$

gdzie:

A_i całkowite pole powierzchni wszystkich elementów między środowiskiem wewnętrznym i nieogrzewaną przestrzenią, w m^2 ;

$A_{e,k}$ pole powierzchni elementu k między przestrzenią nieogrzewaną i środowiskiem zewnętrznym, w m^2 ;

$U_{e,k}$ współczynnik przenikania ciepła elementu k między przestrzenią nieogrzewaną i środowiskiem zewnętrznym, w $W/(m^2 \cdot K)$;

n krotność wentylacji przestrzeni nieogrzewanej, w liczbie wymian powietrza na godzinę;

V objętość przestrzeni nieogrzewanej, w m^3 ,

1.4.2. Całkowity opór cieplny

a. Całkowity opór cieplny komponentu budowlanego składającego się z warstw jednorodnych

Całkowity opór cieplny przegrody opisuje wyrażenie:

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} .$$

gdzie:

R_{si} – opory przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni,

R_1, R_2, \dots, R_n – obliczeniowe opory cieplne każdej warstwy,

R_{se} – opory przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni.

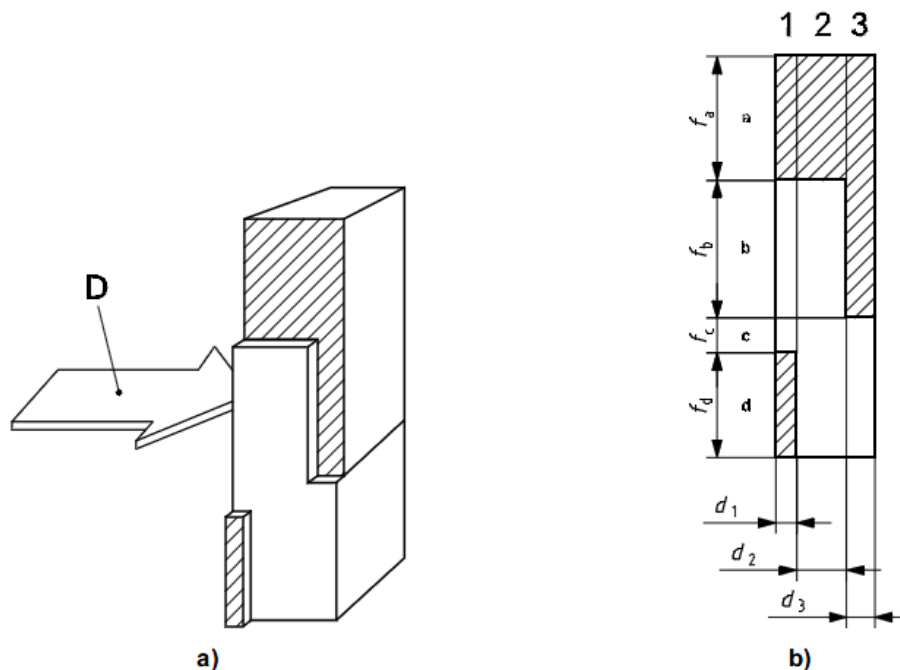
Opory przejmowania ciepła na powierzchniach przegród budowlanych przyjmowane są w zależności od kierunku przepływu strumienia ciepłego.

Opory przyjmowania ciepła, (m ² ·K)/W	kierunek przepływu strumienia ciepłego		
	w górę	poziomy	w dół
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Opory przyjmowania ciepła na powierzchniach przegród budowlanych

- b. Całkowity opór cieplny komponentu budowlanego składającego się z warstw jednorodnych i niejednorodnych

W przypadku komponentu składającego się z warstw jednorodnych i niejednorodnych cieplnie dokonuje się myślowego podziału komponentu wzajemnie prostopadłymi płaszczyznami, adiabatycznymi i izotermicznymi, na jednorodne cieplnie sekcje i warstwy.



D – kierunek strumienia
a, b, c, d – sekcje
1, 2, 3 - warstwy

Całkowity opór cieplny komponentu z warstwami jednorodnymi i niejednorodnymi wyznacza się jako średnią arytmetyczną górnego i dolnego kresu całkowitego oporu cieplnego:

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2}$$

Względne pole powierzchni sekcji jest proporcjonalne do jego udziału w całkowitym polu powierzchni komponentu. W przypadku jego podziału na trzy sekcje o polach powierzchni a , b , c , mają one wartości:

$$f_1 = \frac{a}{a+b+c}, \quad (...), \quad f_3 = \frac{c}{a+b+c}.$$

Suma względnych pól powierzchni f_k (k równe jest liczbie sekcji) dowolnego komponentu równa jest jedności:

$$f_1 + f_2 + \dots + f_k = 1.$$

Kres górny całkowitego oporu cieplnego (rozpatruje się jednorodną sekcję) wyznacza się przy założeniu jednowymiarowego przepływu ciepła, prostopadle do powierzchni komponentu, zgodnie ze wzorem:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{f_1}{R_{T,1}} + \frac{f_2}{R_{T,2}} + \dots + \frac{f_k}{R_{T,k}},$$

gdzie $R_{T,1}, R_{T,2}, \dots, R_{T,k}$ – to całkowite opory cieplne wyodrębnionych wycinków

Kres dolny całkowitego oporu cieplnego wyznacza się przy założeniu, że wszystkie powierzchnie na granicy różnych materiałów, równoległe do powierzchni komponentu, we wszystkich sekcjach, są izotermiczne.

Równoważny opór cieplny R_j każdej warstwy niejednorodnej cieplnie, oblicza się ze wzoru:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_q}{R_{qj}}$$

Kres dolny całkowitego oporu cieplnego określony jest wzorem:

$$R_T^* = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

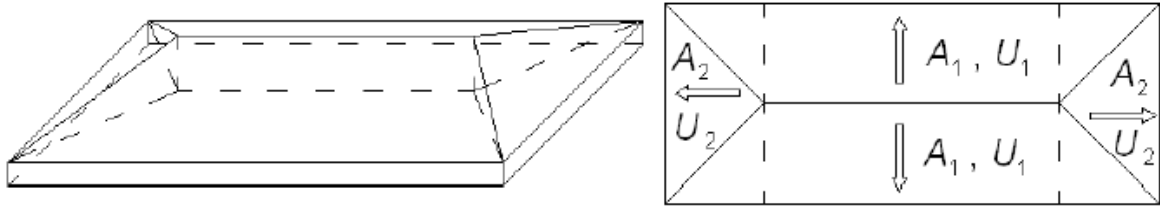
1.4.3. Współczynnik przenikania ciepła

Współczynnik przenikania ciepła wyrażony jest wzorem:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

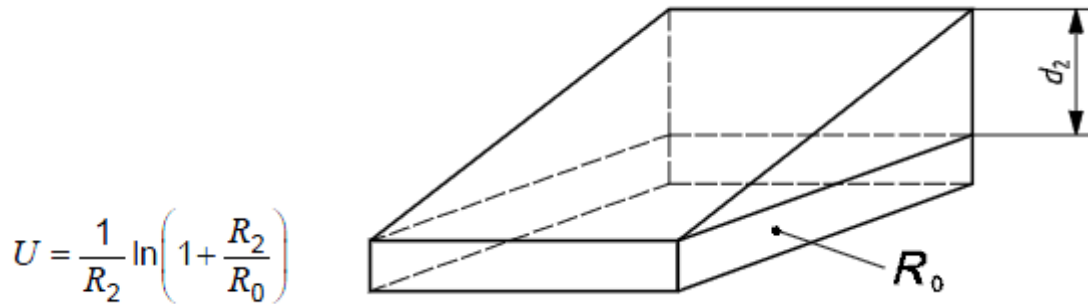
1.4.4. Współczynnik przenikania ciepła komponentów o zmiennej grubości

W przypadku komponentów z warstwami o zmiennej grubości (np. dach), obliczenia należy prowadzić oddzielnie dla każdej części z różnym pochyleniem lub/i kształtem.

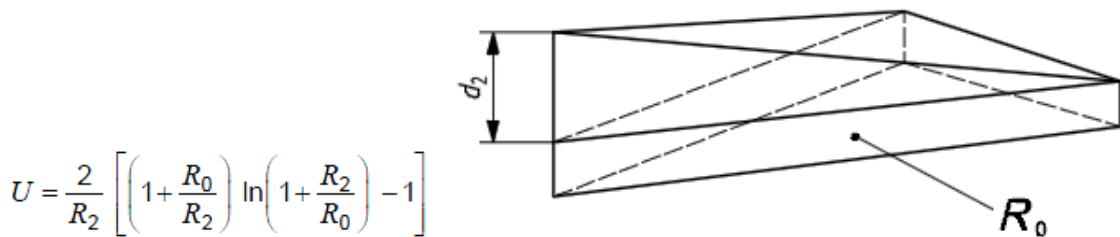


Przykład podziału na składowe komponenty o zmiennej grubości

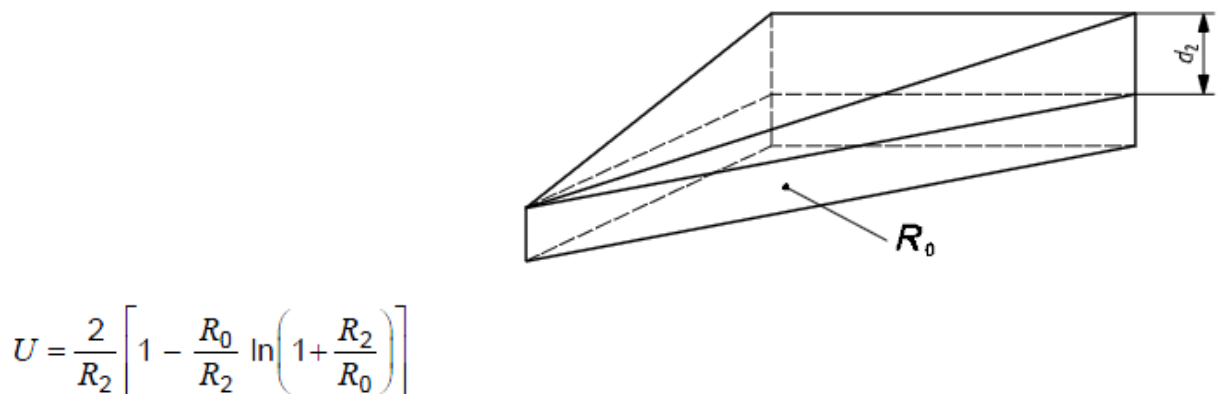
Powierzchnia prostokątna



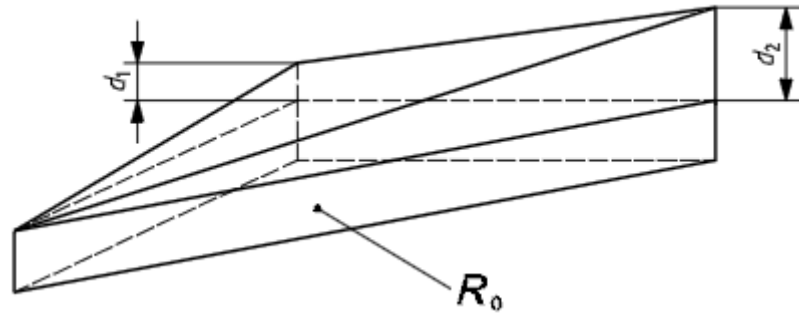
Powierzchnia trójkątna o maksymalnej grubości przy wierzchołku



Powierzchnia trójkątna o minimalnej grubości przy wierzchołku



Powierzchnia trójkątna o różnej grubości przy każdym wierzchołku



$$U = 2 \left[\frac{R_0 R_1 \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) - R_0 R_2 \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) + R_1 R_2 \ln \left(\frac{R_0 + R_2}{R_0 + R_1} \right)}{R_1 R_2 (R_2 - R_1)} \right]$$

R_0 – obliczeniowy opór cieplny pozostałej części wraz z oporami przejmowania ciepła po obu stronach komponentu

1.4.5. Skorygowany współczynnik przenikania ciepła

Do wartości współczynnika przenikania ciepła U wprowadza się człony korekcyjne Uwzględniające:

- występowanie nieszczelności w warstwie termoizolacji,
- łączniki mechaniczne kotwiące materiał izolacyjny do przegrody oraz inne łączniki technologiczne,
- wpływ opadów na izolacyjność termiczną dachu o odwróconym układzie warstw.

Skorygowany współczynnik przenikania ciepła oblicza się zgodnie ze wzorem:

$$U_c = U + \Delta U ,$$

gdzie człon korekcyjny:

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r ,$$

gdzie:

ΔU_g - człon uwzględniający nieszczelności w warstwie termoizolacji,

ΔU_f - człon uwzględniający wpływ łączników mechanicznych przebijających warstwę izolacyjną,

ΔU_r - człon uwzględniający wpływ opadów dla dachu o odwróconym układzie warstw.

1.5. Ocena szczelności przegród

Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie określa wymagania dotyczące szczelności budynków.

I tak: „w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego oraz budynkach użyteczności publicznej, a także w budynkach produkcyjnych, przegrody zewnętrzne nieprzeźroczyste, złącza między przegrodami i częściami przegród oraz połączenia okien z ościeżami należy projektować i wykonywać pod kątem osiągnięcia całkowitej szczelności na przenikanie powietrza”.

Wartości graniczne współczynnika przepuszczalności powietrznej n_{50} :

- dla budynków z wentylacją grawitacyjną $n_{50} \leq 3 \text{ h}^{-1}$
- dla budynków z wentylacją mechaniczną $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$
- W budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego i budynku użyteczności publicznej współczynnik infiltracji powietrza dla otwieranych okien i drzwi balkonowych powinien wynosić nie więcej niż $0,3 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{daPa}^{2/3})$

1.6. Określenie wielkości przepływu powietrza wentylacyjnego oraz solarnych i wewnętrznych zysków ciepła

Współczynnik strat ciepła na wentylację należy obliczać ze wzoru:

$$H_{ve} = \rho_a c_a \sum_k (b_{ve,k} \cdot V_{ve,k,mn}) \quad \text{W/K}$$

gdzie:

- $\rho_a c_a$ - pojemność cieplna powietrza, $1200 \text{ J}/(\text{m}^3\text{K})$;
- $b_{ve,k}$ - współczynnik korekcyjny dla strumienia k ;
- $V_{ve,k,mn}$ - uśredniony w czasie strumień powietrza k , m^3/s ;
- k - identyfikator strumienia powietrza

Strumienie powietrza wentylacyjnego występujące we wzorze należy wyznaczać w oparciu o:

- obowiązujące przepisy,
- dokumentację techniczną budynku i instalacji wentylacyjnej, program użytkownika budynku lub lokalu mieszkalnego,
- wiedzę techniczną oraz wizję lokalną obiektu.

Najczęściej występujące przypadki przytoczone są w rozporządzeniu dot. Metodologii obliczania

Najczęściej występujące przypadki:

- budynek z wentylacją naturalną

$$b_{ve,1} = 1; V_{ve,1,mn} = V_o \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b_{ve,2} = 1; V_{ve,2,mn} = V_{inf} \text{ m}^3/\text{s}$$

- budynek z wentylacją mechaniczną wywiewną

$$b_{ve,1} = 1; V_{ve,1,mn} = V_{ex} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b_{ve,2} = 1; V_{ve,2,mn} = V_x \text{ m}^3/\text{s}$$

- budynek z wentylacją mechaniczną nawiewną

$$b_{ve,1} = 1; V_{ve,1,mn} = V_{su} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b_{ve,2} = 1; V_{ve,2,mn} = V_x \text{ m}^3/\text{s}$$

- budynek z wentylacją mechaniczną nawiewno-wywiewną

$$b_{ve,1} = 1 - n_{oc}; V_{ve,1,mn} = V_f \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b_{ve,2} = 1; V_{ve,2,mn} = V_x \text{ m}^3/\text{s}$$

- budynek z wentylacją mechaniczną nawiewno-wywiewną działająca okresowo

$$b_{ve,1} = \beta (1 - n_{oc}); V_{ve,1,mn} = V_f \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b_{ve,2} = \beta; V_{ve,2,mn} = V_x \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b_{ve,3} = (1 - \beta) (1 - n_{oc}); V_{ve,3,mn} = V_o \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b_{ve,4} = (1 - \beta); V_{ve,4,mn} = V_x' \text{ m}^3/\text{s}$$

- dodatkowy strumień powietrza V_x przy pracy wentylatorów wywołany wpływem wiatru i waporu termicznego, wyznacza się z zależności:

$$V_x = (V \cdot n_{50} \cdot e / 3600) / \{1 + f/e [3600 \cdot (V_{su} - V_{ex}) / V \cdot n_{50}]^2\} \text{ m}^3/\text{s}$$

gdzie:

V_o, V_{su}, V_{ex} - obliczeniowy strumień powietrza wentylacyjnego, wymagany ze względów higienicznych, liczony zgodnie z PN-83/B-03430/AZ3:2000 *Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania*. Przy czym obliczeniowy strumień powietrza dla kawalerek (M1) ogranicza się do 80 m³/h (0,022 m³/s), m³/s

V_o - strumień powietrza wentylacji naturalnej kanałowej, m³/s

V_{su} - strumień powietrza nawiewanego mechanicznie, m³/s

V_{ex} - strumień powietrza wywiewanego mechanicznie, m³/s

V_f - strumień powietrza większy ze strumieni: nawiewanego V_{su} i wywiewanego V_{ex} , m³/s

V_x - dodatkowy strumień powietrza infiltrującego przez nieszczelności przy pracy wentylatorów, wywołany wpływem wiatru i wyporem termicznym, m³/s

V_{inf} - strumień powietrza infiltrującego przez nieszczelności, spowodowany działaniem wiatru i waporu termicznego, m³/s

V_x' - dodatkowy strumień powietrza infiltrującego przez nieszczelności, spowodowany działaniem wiatru i waporu termicznego – przy wyłączonych wentylatorach wentylacji mechanicznej; $V_x' = V \cdot n_{50} \cdot e / 3600$, m³/s

V - kubatura wewnętrzna wentylowana, m³

n_{oc} - skuteczność odzysku ciepła z powietrza wywiewanego; z dodatkowym gruntowym powietrznym wymiennikiem $n_{oc} = [1 - (1 - n_{oc1}) \cdot (1 - n_{GWC})]$; przy czym: n_{oc1} – skuteczność wymiennika do odzysku ciepła z powietrza

wywiewanego, n_{GWC} –

skuteczność gruntowego powietrznego wymiennika ciepła; przy braku urządzeń do

odzysku ciepła $n_{oc} = 0$

β - udział czasu włączenia wentylatorów wentylacji mechanicznej w okresie bilansowania (miesiąc lub rok)

e, f - współczynniki osłonięcia budynku,

n_{50} - krotność wymiany powietrza w budynku wywołana różnicą ciśnień 50 Pa.

Współczynniki osłonięcia e i f, stosowane do obliczeń dodatkowego strumienia powietrza

Współczynnik e dla klasy osłonięcia:	Więcej niż jedna nieosłonięta fasada	Jedna nieosłonięta fasada
Nieosłonięte: budynki na otwartej przestrzeni, wysokie budynki w centrach miast	0,10	0,03
Średnie osłonięcie: budynki wśród drzew lub innych budynków, budynki na przedmieściach	0,07	0,02
Mocno osłonięte: budynki średniej wysokości w miastach, budynki w lasach	0,04	0,01
Współczynnik f	15	20

Przy braku danych, dodatkowy strumień powietrza infiltrującego przez nieszczelności, dla budynków istniejących można przyjąć:

- dla budynku poddanego próbie szczelności n_{50} (h^{-1} przy 50 Pa)

$$V_{inf} = 0,05 \cdot n_{50} \cdot \text{Kubatura wentylowana} / 3600 \text{ m}^3/\text{s}$$
- dla budynku bez próby szczelności

$$V_{inf} = 0,2 \cdot \text{Kubatura wentylowana} / 3600 \text{ m}^3/\text{s}$$

Zyski ciepła wewnętrzne i od słońca

Zyski ciepła wewnętrzne i od słońca dla budynku lub lokalu mieszkalnego w okresie miesiąca oblicza się ze wzoru:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \text{ kWh/mies}$$

gdzie:

Q_{int} - miesięczne wewnętrzne zyski ciepła, kWh/mies

Q_{sol} - miesięczne zyski ciepła od promieniowania słonecznego przenikającego do przestrzeni ogrzewanej budynku przez przegrody przezroczyste, kWh/mies

Wartość zysków ciepła od promieniowania słonecznego występującą we wzorze należy obliczać ze wzoru:

$$Q_{sol} = Q_{s1} + Q_{s2} \text{ kWh/mies}$$

w którym:

Q_{s1} - zyski ciepła od promieniowania słonecznego przez okna zamontowane w przegrodach pionowych, kWh/m-c

Q_{s2} - zyski ciepła od promieniowania słonecznego przez okna zamontowane w połaciach dachowych, kWh/m-c

Wartości miesięcznych zysków ciepła od nasłonecznienia przez okna w przegrodach pionowych budynku należy obliczać ze wzoru:

$$Q_{s1,s2} = \sum_i C_i \cdot A_i \cdot I_i \cdot g \cdot k_{\alpha} \cdot Z \text{ kWh/mies (1.25)}$$

w którym:

C_i - udział pola powierzchni płaszczyzny szklonej do całkowitego pola powierzchni okna, jest zależny od wielkości i konstrukcji okna; wartość średnia wynosi 0,7

A_i - pole powierzchni okna lub drzwi balkonowych w świetle otworu w przegrodzie, m^2

I_i - wartość energii promieniowania słonecznego w rozpatrywanym miesiącu na płaszczyznę pionową, w której usytuowane jest okno o powierzchni A_i , według danych dotyczących najbliższego punktu pomiarów promieniowania słonecznego, $kWh/(m^2m-c)$

g - współczynnik przepuszczalności energii promieniowania słonecznego przez oszklenie, według tabeli

k_α - współczynnik korekcyjny wartości I_i ze względu na nachylenie płaszczyzny połaci dachowej do poziomu, według tabeli; dla ściany pionowej $k_\alpha = 1,0$

Z - współczynnik zacienienia budynku ze względu na jego usytuowanie oraz przesłony na elewacji budynku, według tabeli

Wartości współczynnika przepuszczalności energii promieniowania słonecznego przez oszklenie g

Lp.	Rodzaj oszklenia	g
1	Oszklenie pojedynczą szybą	0,85
2	Oszklenie podwójną szybą	0,75
3	Oszklenie podwójną szybą z powłoką selektywną	0,67
4	Oszklenie potrójną szybą	0,7
5	Oszklenie potrójną szybą z dwiema powłokami selektywnymi	0,5
6	Okna podwójne	0,75

Wartości współczynnika korekcyjnego nachylenia k_α

Lp.	Orientacja płaszczyzny względem strony świata	Nachylenie do poziomu ^o		
		30	45	60
1	Południowa (S)	1,1	1,1	1,1
2	Południowo-zachodnia (S-W)	1,1	1,1	1,1
3	Zachodnia (W)	1,1	1,1	1,2
4	Północno-zachodnia (N-W)	1,4	1,2	1,1
5	Północna (N)	1,4	1,2	1,1
6	Północno-wschodnia (N-E)	1,4	1,2	1,1
7	Wschodnia (E)	1,3	1,2	1,2
8	Południowo-wschodnia (S-E)	1,1	1,1	1,1

Wartości współczynnika zacienienia budynku Z

Lp.	Usytuowanie lokalu mieszkalnego lub przesłony występujące na elewacji budynku	Z
1	Budynki na otwartej przestrzeni, lub wysokie i wysokościowe w centrach miast	1,0
2	Lokale mieszkalne jw. w których co najmniej połowa okien zaciemniona jest przez elementy loggii lub balkonu sąsiedniego mieszkania	0,96
3	Budynki w miastach w otoczeniu budynków o zbliżonej wysokości	0,95
4	Budynki niskie i średniowysokie w centrach miast	0,90

Wartość miesięcznych wewnętrznych zysków ciepła Q_{int} w budynku lub lokalu

mieszkalnym należy obliczać ze wzoru:

$$Q_{\text{int}} = q_{\text{int}} \cdot A_f \cdot t_M \cdot 10^{-3} \text{ kWh/mies}$$

gdzie:

q_{int} - obciążenie cieplne pomieszczenia zyskami wewnętrznymi, W/m^2

A_f - jest powierzchnią pomieszczeń o regulowanej temperaturze w budynku lub lokalu mieszkalnym, m^2

Wielkość zysków wewnętrznych występujących we wzorze należy wyznaczać w oparciu o:

- a) dokumentację techniczną budynku i instalacji oraz program użytkowania budynku lub lokalu mieszkalnego,
- b) wiedzę techniczną oraz wizję lokalną obiektu,

Przy braku danych, dla budynków istniejących można przyjąć wartości z tabeli.

Średnia moc jednostkowa wewnętrznych zysków ciepła (bez zysków od instalacji grzewczych i ciepłej wody) – odniesiona do powierzchni A_f

Lp.	Rodzaj budynku (lokalu mieszkalnego)	q_{int} W/m^2
1	Dom jednorodzinny	2,5-3,5
2	Dom wielorodzinny (lokal mieszkalny)	3,2-6,0
3	Szkoły	1,5-4,7
4	Urzędy	3,5-6,4

1.7. Interpretacja wyników badań przenikania ciepła przez przegrody budowlane metodą termowizji i badań szczelności

Badania termograficzne

Coraz bardziej popularną metodą sprawdzania izolacyjności cieplnej budynku jest badanie termowizyjne. Przeprowadza się je za pomocą kamery termowizyjnej, która umożliwi wykrycie miejsc ucieczki ciepła z domu. Zdjęcia wykonane taką kamerą nazywa się termogramami.

W budownictwie mieszkaniowym badaniom termograficznym ocenie poddaje się wszystkie elementy ścian osłonowych budynku, od piwnic (pasy przyziemia) do dachów. Pozwala to na uzyskanie wielu informacji dotyczących ewentualnych nieszczelności (okna, drzwi, wrota, ściany), błędów wykonawczych związanych z budową, montażem, termomodernizacją.

Badania termograficzne komponentów pozwalają ocenić wpływ mostków termicznych w ścianach, stan izolacyjności termicznej przegród nieprzezroczystych i przezroczystych.

Dzięki termogramom można skontrolować między innymi:

- izolacyjność termiczną okien, drzwi, bram garażowych,

- poprawność montażu okien, drzwi, bram garażowych,
- poprawność ułożenia izolacji termicznej,
- ciągłość i izolacyjność termiczną wieńców,
- szczelność zewnętrznej warstwy izolacyjnej,
- poprawność wykonania izolacji poddasza,
- izolacyjność termiczną fundamentów domu.

Zdjęcia termograficzne najlepiej wykonywać jest w okresie zimowym, gdy temperatura na zewnątrz wynosi poniżej -5 stopni C, natomiast wewnątrz budynku – około +20 stopni.

Badania szczelności

Badania szczelności pozwalają na osiągnięcie dwóch celów:

- zmierzenie rzeczywistego stopnia przepuszczalności powietrznej budynku n_{50} dla różnicy ciśnień 50 Pa
- wskazanie miejsc nieszczelności powietrznych budynku.

Rozróżnia się dwa rodzaje pomiarów:

- metoda A – badanie użytkowanego budynku. Zaleca się aby stan obudowy budynku odpowiadał jego stanowi podczas okresu, w którym są eksploatowane instalacje ogrzewania i klimatyzacji.
- metoda B – badanie obudowy budynku. Wszystkie celowo wykonane otwory w obudowie budynku powinny być zamknięte lub zaślepione.

W celu przeprowadzenia badań należy badany obiekt odpowiednio przygotować. Przygotowanie budynku polega na zaślepieniu bądź zamknięciu (w zależności od metody pomiaru) wszystkich otworów technologicznych łączących budynek ze środowiskiem zewnętrznym, mający wpływ na wymianę powietrza między tymi środowiskami (otwory kominowe, wentylacyjne, przewody wodno-kanalizacyjne itp.). Wszystkie drzwi zewnętrzne oraz okna powinny być zamknięte. Wszystkie drzwi wewnętrzne powinny być otwarte. Czas przygotowania obiektu do badania zależy od jego kubatury, skomplikowania instalacji i skomplikowania bryły budynku.

W trakcie badania pomiędzy wnętrzem a środowiskiem zewnętrznym wytwarzana jest różnica ciśnienia przez wentylator wyposażony w zestaw czujników, które umożliwiają wyznaczenie ilości powietrza przepływającego przez budynek w jednostce czasu. Wyniki pomiaru poddawane są później dalszej obróbce w specjalnym programie, gdzie odczytywana jest wartość współczynnika przepuszczalności powietrznej n_{50} .

Potencjalne miejsca nieszczelności powietrznej budynków:

- wkładki, zamki, klamki,
- gniazdka, kontakty, skrzynki rozdzielcze,
- wbudowywane oprawy oświetleniowe,
- przepusty instalacji sanitarnych przez przegrody budowlane,

- przepusty przewodów kominowych i wentylacyjnych przez przegrody budowlane,
- miejsca styku ram okiennych z ościeżami,
- miejsca styku futryn drzwi zewnętrznych z ościeżami
- parapety,
- miejsca styku stropów ze ścianami zewnętrznymi,
- miejsca styku folii paroszczelnej ze ścianami,
- miejsca styku ścian zewnętrznych z dachami,
- włazy i klapy wejściowe,
- itp.

2. Ocena systemu ogrzewania i zaopatrzenia w ciepłą wodę

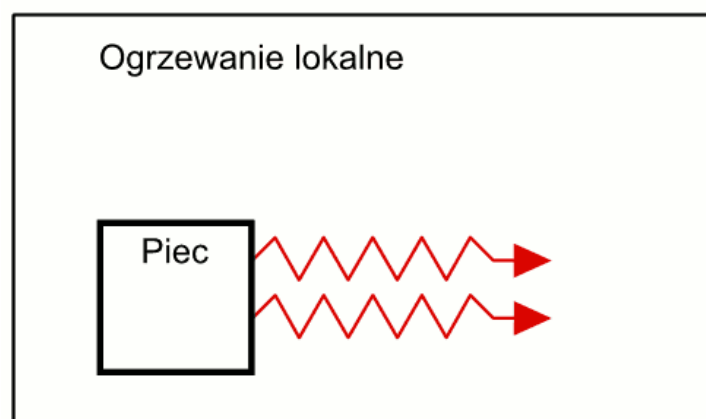
2.1. Ocena stanu i sprawności elementów systemu grzewczego (wytwarzania, przesyłu, regulacji, wykorzystania)

Zadaniem systemu ogrzewania jest zapewnienie komfortu cieplnego użytkownikom w sezonie grzewczym. Dostarczona energia musi pokryć straty ciepła przez wszystkie przegrody zewnętrzne budynku oraz straty ciepła związane z wentylacją, pomniejszone o wykorzystane zyski ciepła słoneczne i wewnętrzne. Musi przy tym być utrzymana pożądana temperatura wewnątrz ogrzewanych przestrzeni.

Podstawowymi rodzajami systemów grzewczych są:

- ogrzewanie miejscowe,
- ogrzewanie centralne,
- ogrzewanie zdalaczynne.

Ogrzewanie miejscowe



Do ogrzewania pomieszczeń w budynku można stosować indywidualne źródła ciepła, takie jak:

- piece kaflowe,



- kominki



- piece żeliwne,



- piece stalowe



- elektryczne ogrzewacze akumulacyjne



- elektryczne ogrzewacze konwekcyjne



- elektryczne maty grzejne



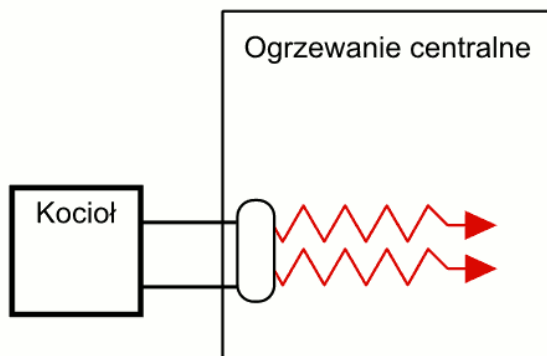
- grzejniki gazowe



Ogrzewanie centralne

Obecnie najbardziej rozpowszechnionym sposobem ogrzewania budynków są instalacje centralnego ogrzewania.

Zasadniczą cechą ogrzewania centralnego jest to, że źródło ciepła umieszczone jest poza obiektami ogrzewanymi, a wytwarzane w nim ciepło doprowadzane jest do pomieszczeń za pomocą nośnika ciepła.

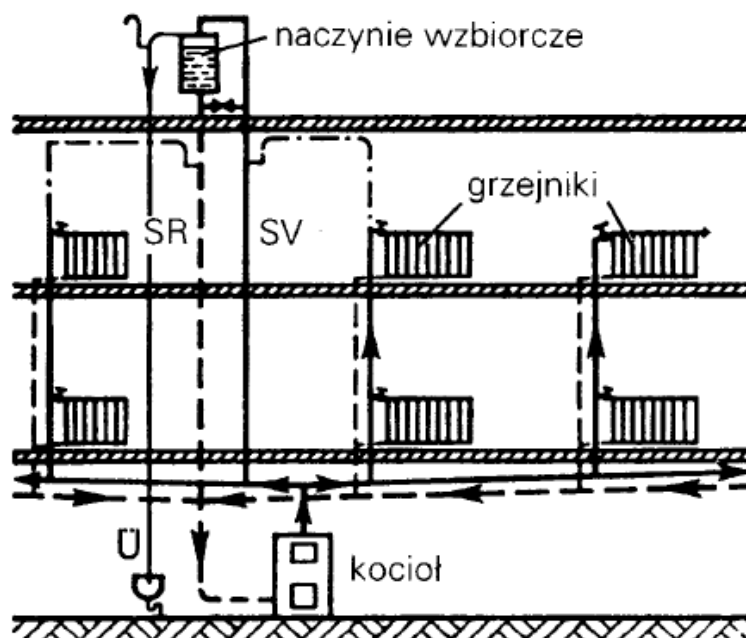


Instalacje centralnego ogrzewania, to zespół urządzeń służących do:

- utrzymania odpowiedniej temperatury powietrza w pomieszczeniu za pośrednictwem elementów grzewczych,
- przygotowania czynnika grzewczego (temperatura, ciśnienie),
- transportu czynnika do elementów grzewczych,
- dostosowania mocy cieplnej elementów grzewczych do bieżących potrzeb (poprzez regulację).

W skład instalacji centralnego ogrzewania wchodzi:

- źródło ciepła,
- sieć przewodów instalacji wewnątrz budynku,
- elementy zabezpieczenia instalacji przed wzrostem ciśnienia i objętości,
- grzejniki przekazujące energię od czynnika grzewczego do pomieszczenia,
- regulatory centralne lub/i miejscowe.



Przykładowy schemat instalacji centralnego ogrzewania

Podział systemów centralnego ogrzewania

W zależności od rodzaju nośnika ciepła można wyróżnić centralne ogrzewanie:

- wodne,
- parowe,
- powietrzne.

W zależności od siły napędowej obiegu wody wyróżnia się :

- ogrzewanie grawitacyjne,
- ogrzewanie pompowe.

W zależności od rodzaju stosowanej energii wyróżnia się:

- ogrzewanie paliwami stałymi,
- ogrzewanie olejem opałowym,
- ogrzewanie paliwami gazowymi,
- ogrzewanie energią elektryczną.

W zależności od sposobu rozprowadzenia wody wyróżnia się:

- ogrzewanie wodne jednorurowe,
- ogrzewanie wodne dwururowe.

W zależności od sposobu rozdziału wody w systemach dwururowych wyróżnia się:

- układ z rozdziałem dolnym,
- układ z rozdziałem górnym.

W zależności od sposobu połączenia układu rur z atmosferą wyróżnić można:

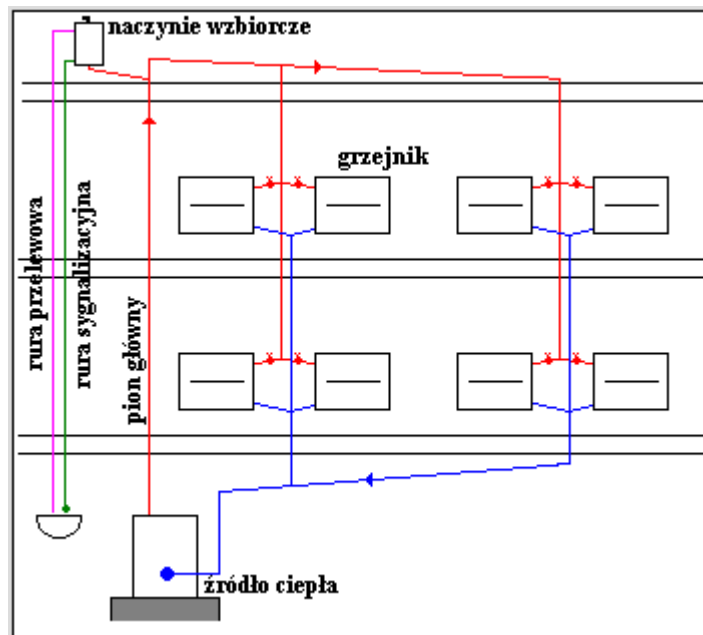
- ogrzewanie systemu otwartego,
- ogrzewanie systemu zamkniętego.

Instalacje c.o. systemu otwartego

W ogrzewaniach systemu otwartego zabezpieczeniem instalacji przed wzrostem ciśnienia jest t.zw. otwarte naczynie wzbiornicze, mające połączenie z atmosferą, umiejscowione w najwyższym punkcie instalacji.

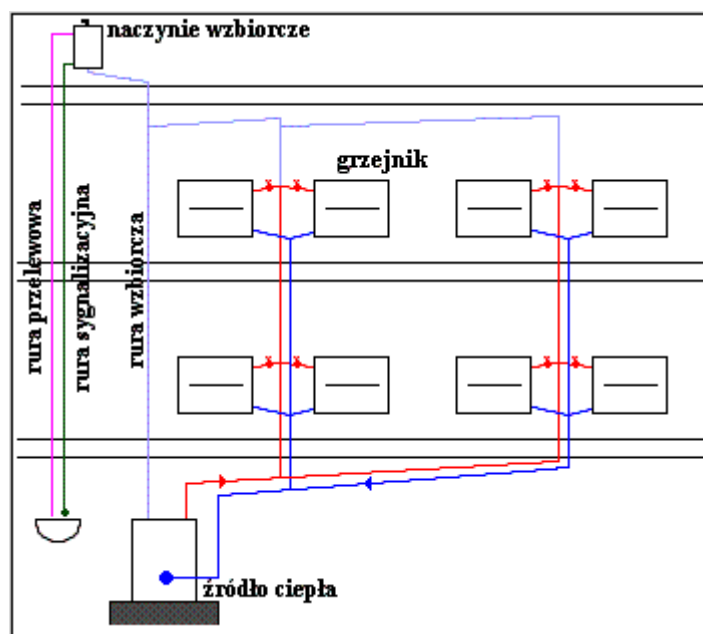
Ogrzewanie dwururowe z rozdziałem górnym

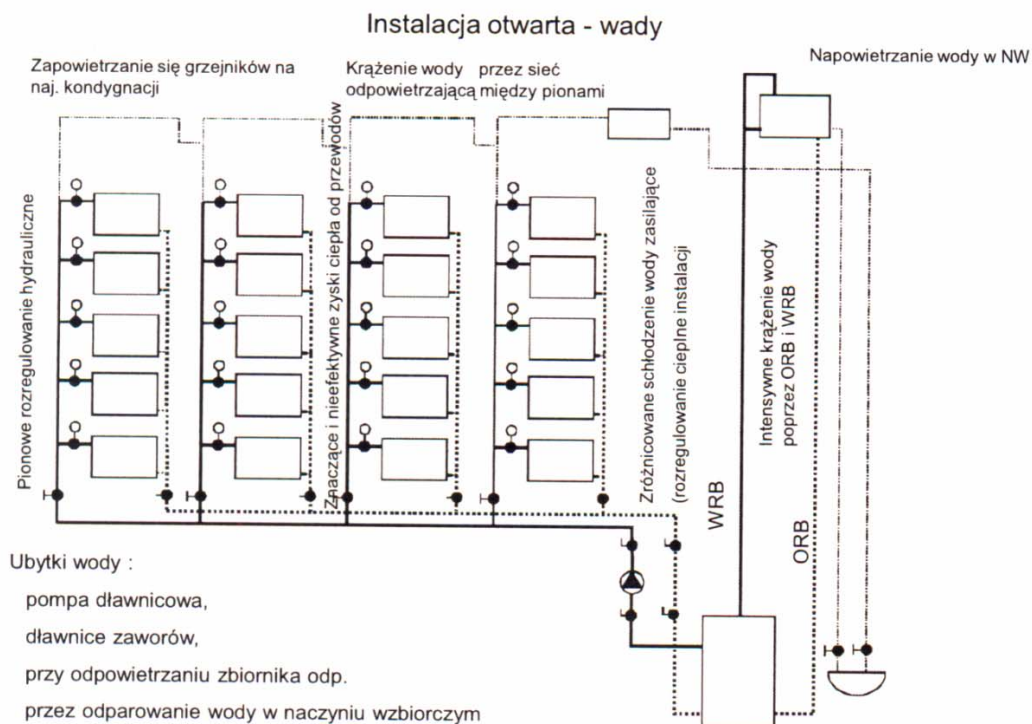
Ogrzaną wodę doprowadza się najpierw pionem głównym do góry, a następnie rozprowadza do poszczególnych pionów zasilających za pomocą przewodu grzejnego leżącego ponad najwyższym grzejnikiem. Następnie ochłodzona woda powraca do kotła dzięki przewodom powrotnym. System ten stosuje się np. w domach bez piwnic. Szczególnym rodzajem ogrzewania grawitacyjnego z rozdziałem górnym jest ogrzewanie etażowe. Kocioł i grzejniki ułożone są w przybliżeniu na równej wysokości. Siły wywołujące ruch wody w układzie powstają na skutek ochłodzenia wody w przewodach zasilających, dlatego przewodów tych nie należy izolować. Główną zaletą jest szybki rozruch.



Ogrzewanie dwururowe z rozdziałem dolnym

Ogrzaną wodę doprowadza się do poszczególnych pionów za pomocą przewodów poziomych ułożonych poniżej grzejników. Ochłodzona woda powraca do kotła dzięki przewodom powrotnym. Powyżej najwyższego grzejnika w układzie jest tylko rura zbiorcza, która odbiera zwiększoną objętość cieczy i doprowadza ją do naczynia zbiorczego. Centralne odpowietrzenie układu uzyskuje się poprzez przedłużenie poszczególnych pionów i połączenie ich z pionem głównym. Obecnie centralne odpowietrzenie zastępuje się stosując odpowietrzniki automatyczne, instalowane na zakończeniach poszczególnych pionów.





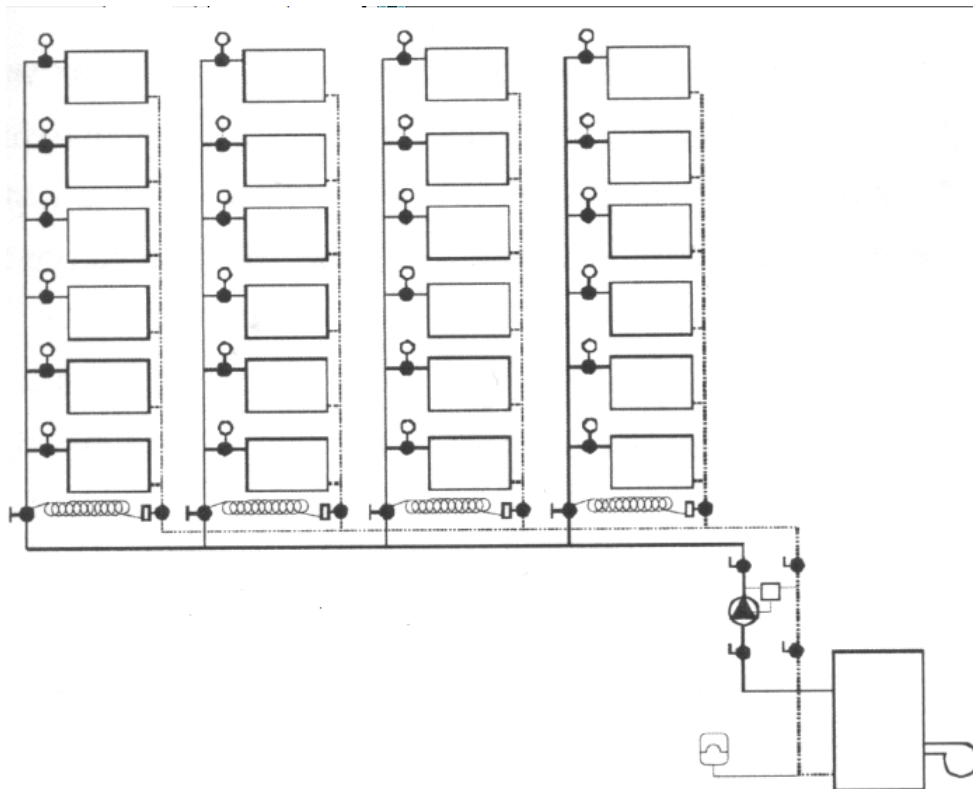
Schemat instalacji c.o. systemu otwartego

Do wad instalacji systemu otwartego można zaliczyć:

- pionowe rozregulowanie hydrauliczne i ciepłne,
- nieefektywne zyski ciepła od pionów i gałęzek,
- krążenie wody przez sieć odpowietrzającą między pionami,
- ubytki wody w instalacji c.o.,
- napowietrzanie wody w naczyniu wzbiornym,
- brak możliwości rozliczania za rzeczywiście zużyta energię.

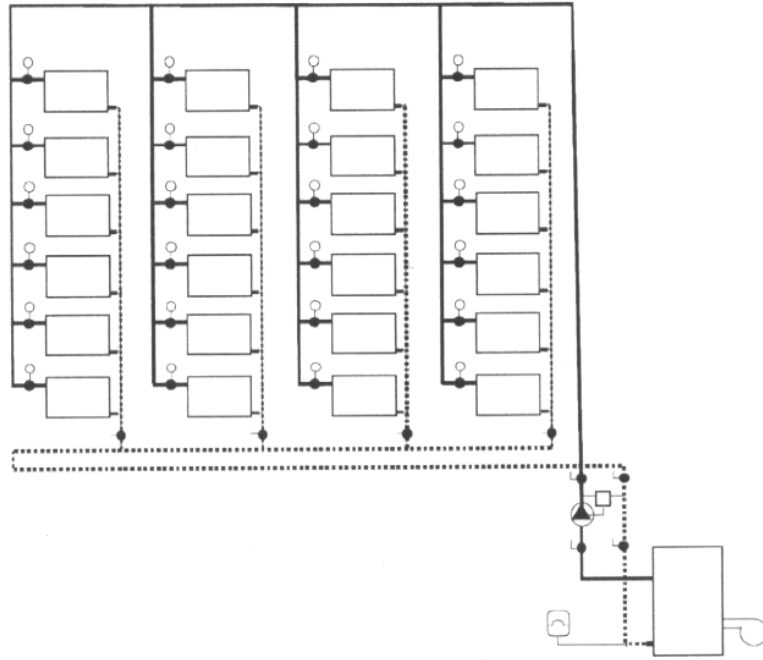
Instalacje c.o. systemu zamkniętego

Ogrzewanie wodne ciśnieniowe (zwane też zamkniętym) nie wymaga stosowania rury przelewowej, sygnalizacyjnej ani wzbiornej. Naczynie wzbiorne ciśnieniowe, przeponowe umieszczone jest w pobliżu kotła a nie jak w instalacjach grawitacyjnych w najwyższym miejscu instalacji. Do instalacji wnika mniej powietrza – co zmniejsza niebezpieczeństwo korozji. Instalacja ta musi być zaopatrzona w przeponowy zawór bezpieczeństwa z przewodem wyrzutowym, odpowietrzenie na przewodzie prowadzącym do naczynia wzbiornego oraz manometr. Na zakończeniach pionów umieszcza się odpowietrzniki automatyczne.

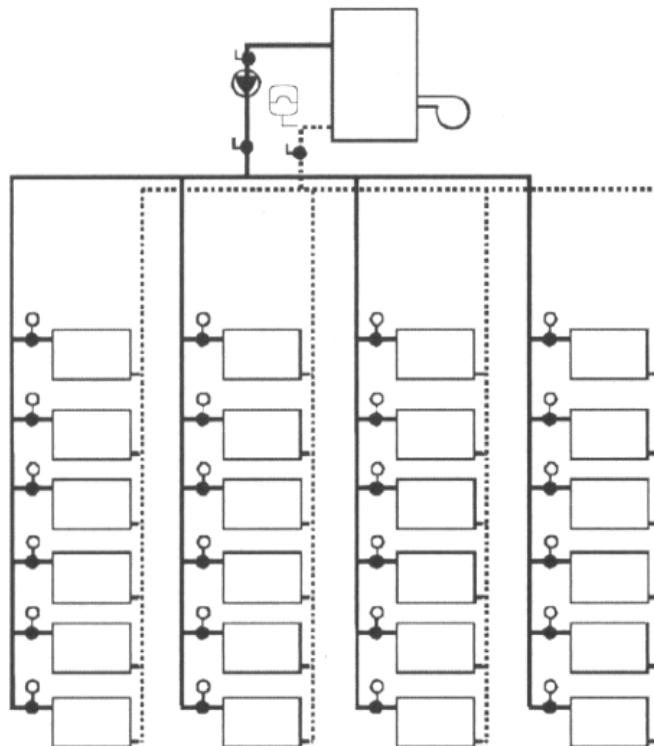


Schemat instalacji c.o. pompowej zamkniętej z rozdziałem dolnym wyposażonym w podpionowe zawory różnicy ciśnień

Schemat instalacji c.o. pompowej zamkniętej z rozdziałem górnym



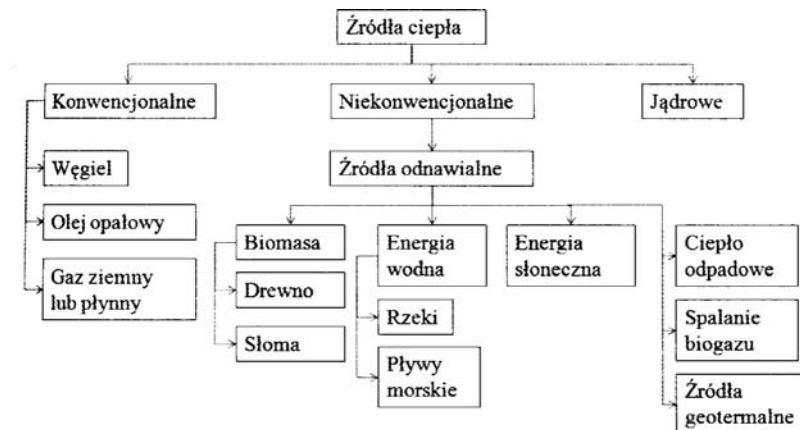
Schemat instalacji c.o. pompowej zamkniętej z rozdziałem górnym w układzie Tichelmana



Schemat instalacji c.o. pompowej zamkniętej z rozdziałem górnym z kotłownią zlokalizowaną na poddaszu

Źródła ciepła w instalacjach centralnego ogrzewania

Obecnie wykorzystywanych jest wiele sposobów uzyskiwania energii do celów grzewczych, jak i przygotowania ciepłej wody użytkowej.



Podział źródeł ciepła

Podstawowe znaczenie w produkcji energii cieplnej odgrywa spalanie paliw.

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi te paliwa są:

- **Ciepło spalania (Q_c)** – ilość ciepła, jaka powstaje przy spalaniu całkowitym i zupełnym jednostki masy lub jednostki objętości analizowanej substancji w stałej objętości, przy czym produkty spalania oziębia się do temperatury początkowej, a para wodna zawarta w spalinach skrapla się zupełnie.
Jednostką ciepła spalania jest J/kg.
- **Wartość opałowa** jest to ilość ciepła wydzielana przy spalaniu jednostki masy lub jednostki objętości paliwa przy jego całkowitym i zupełnym spalaniu, przy założeniu, że para wodna zawarta w spalinach nie ulega skropleniu, pomimo że spaliny osiągną temperaturę początkową paliwa.
Wzór (przybliżony) na wartość opałową paliwa:

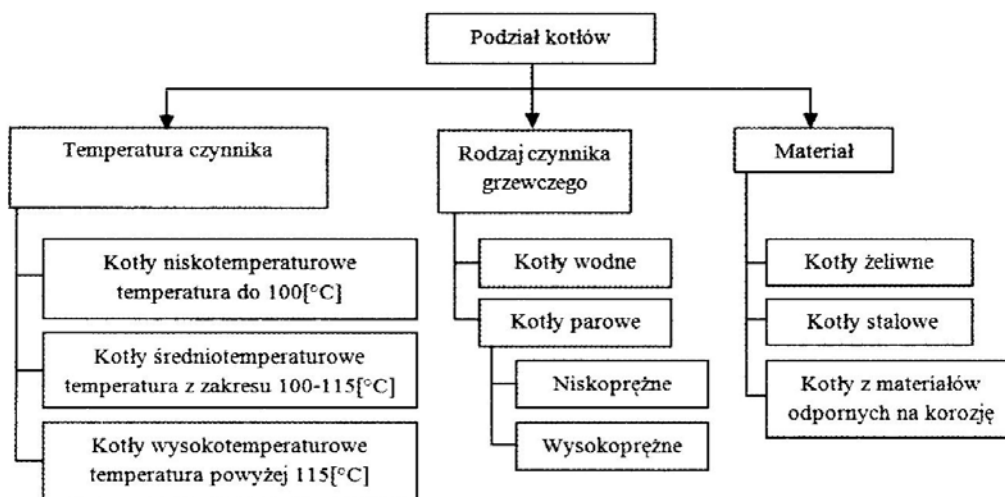
$$W_u = 33900C + 121000 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 10500S - 2500 \left(w + \frac{9}{8}O_2 \right) \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

gdzie:

W_u – wartość opałowa

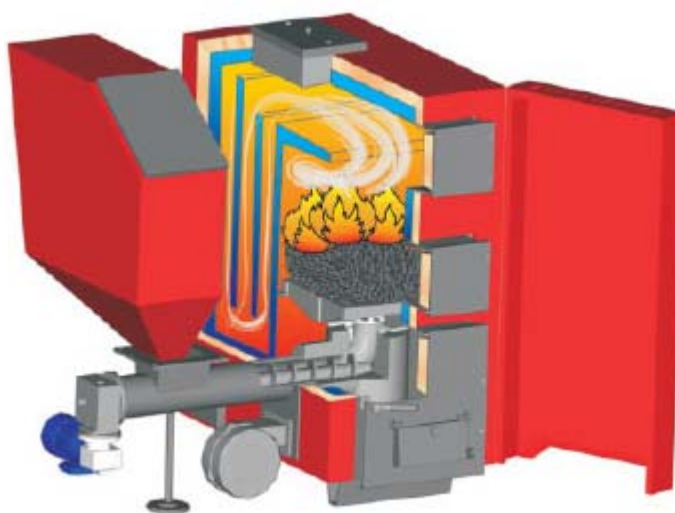
C, H, O, S – udziały masowe poszczególnych pierwiastków w paliwie

w – udział masowy wilgoci w paliwie



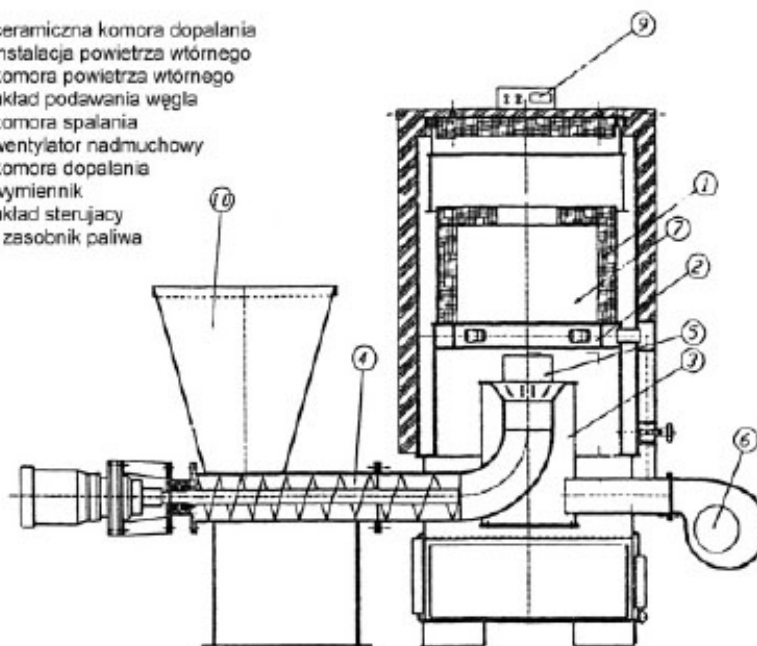
Podstawowy podział kotłów grzewczych

Przykłady kotłów grzewczych, stosowanych w instalacjach c.o. i c.w.u.

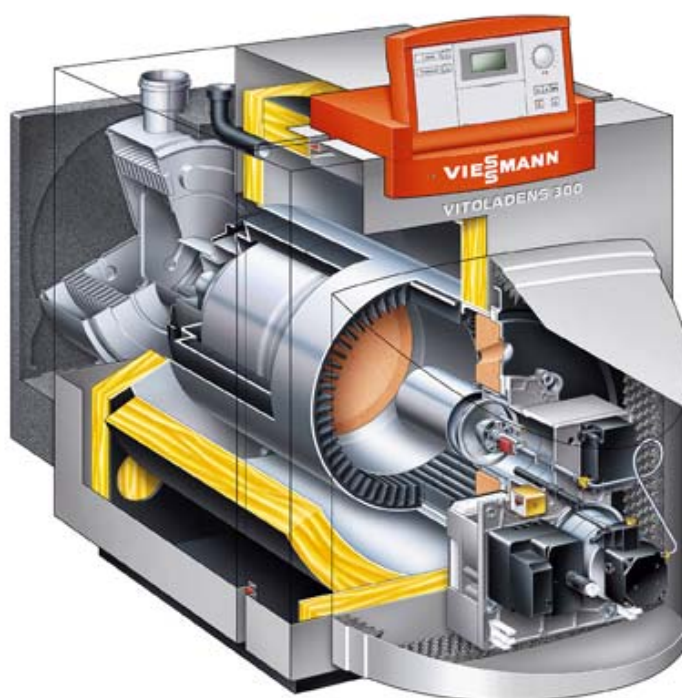


Nowoczesny kocioł węglowy retortowy

- 1 - ceramiczna komora dopalania
- 2 - instalacja powietrza wtórnego
- 3 - komora powietrza wtórnego
- 4 - układ podawania węgla
- 5 - komora spalania
- 6 - wentylator nadmuchowy
- 7 - komora dopalania
- 8 - wymiennik
- 9 - układ sterujący
- 10 - zasobnik paliwa



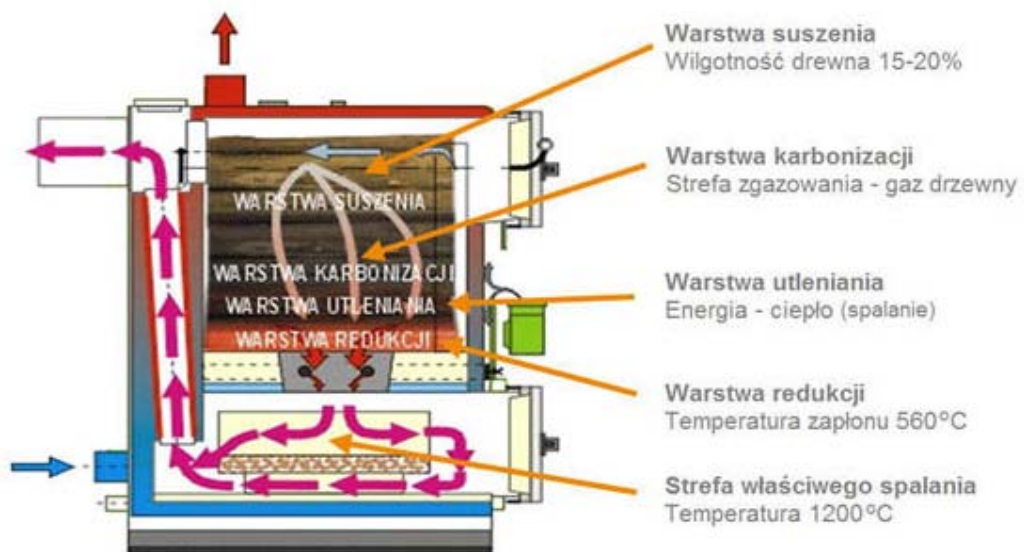
Zasada działania kotła retortowego



Kocioł olejowy



Kocioł zgazowujący drewno



Zasada działania kotła zgazowującego drewno



Kocioł gazowy wiszący



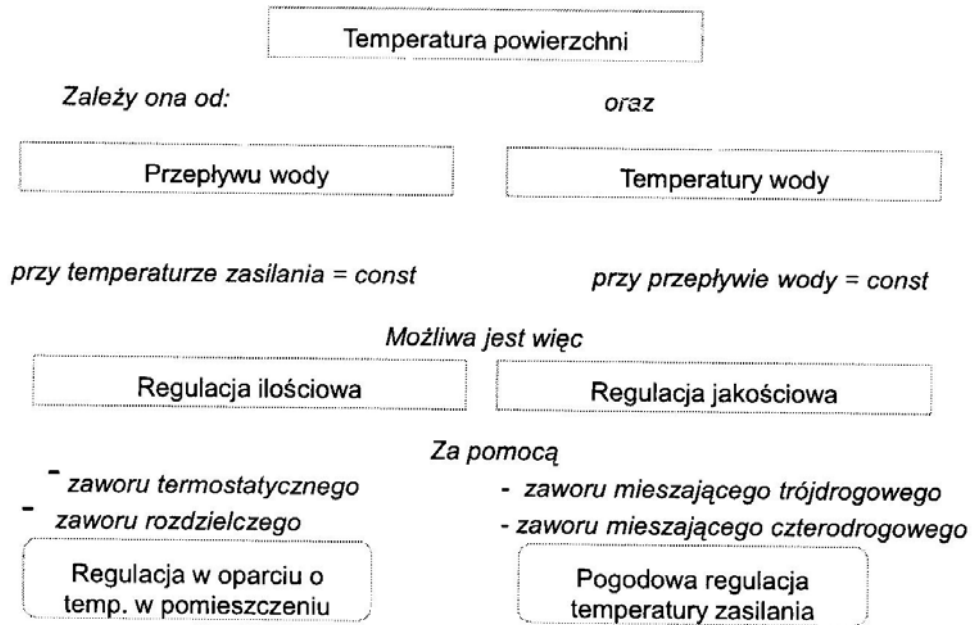
Kocioł gazowy

Regulacja w systemach grzewczych

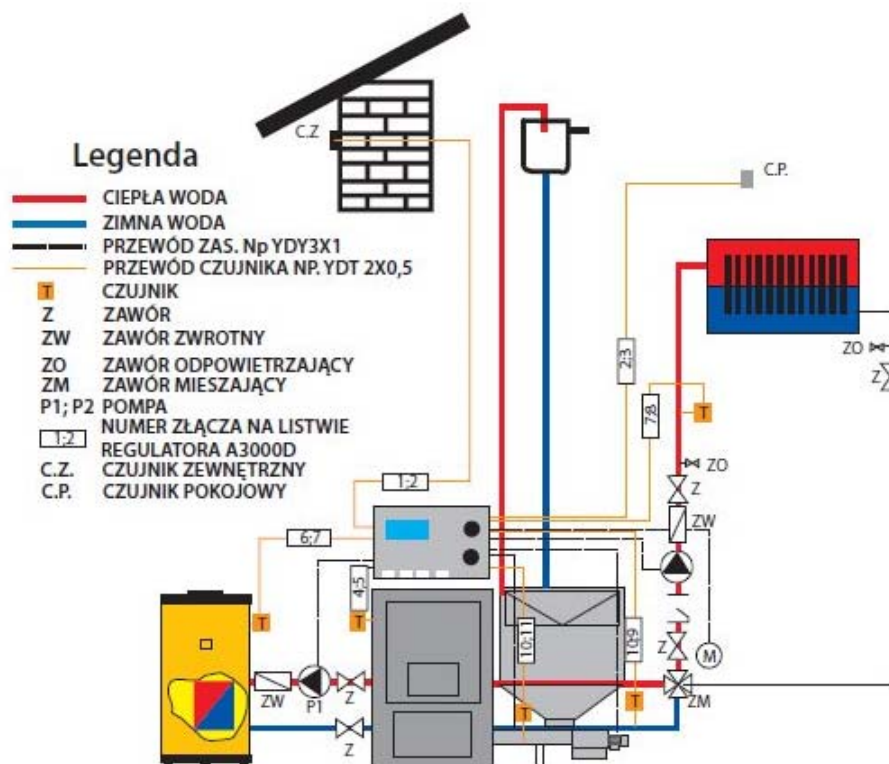
Regulacją nazywa się proces, podczas którego wielkość regulowana jest mierzona w sposób ciągły a następnie jest porównywana z wielkością wiodącą i poddawana oddziaływaniu mającemu na celu zbliżenie jej do wielkości wiodącej.

Cechą charakterystyczną regulacji jest zamknięty układ oddziaływania, w którym wielkość regulowana wskutek działania obwodu regulacji nieprzerwanie oddziałuje na samą siebie.

Regulacja przyczynia się do zmniejszenia zużycia energii, z jednoczesnym zachowaniem założonych parametrów komfortu cieplnego.



Zasady regulacji jakościowej i ilościowej



Przykładowy schemat instalacji z regulacją

Ogrzewanie zdalaczynne

Źródłem ciepła dla ogrzewania zdalaczynnego w budynku jest węzeł cieplny, w którym następuje podgrzanie czynnika grzewczego w instalacji wewnętrznej budynku, wodą krążącą w sieci zewnętrznej, dostarczanej np. z elektrociepłowni lub ciepłowni, posiadającej znacznie wyższe parametry temperatury i ciśnienia, przy czym w węzłach bezpośrednich woda dopływająca z sieci jest również czynnikiem wewnętrznym instalacji.

System ogrzewania zdalaczynnego składa się z następujących głównych elementów:

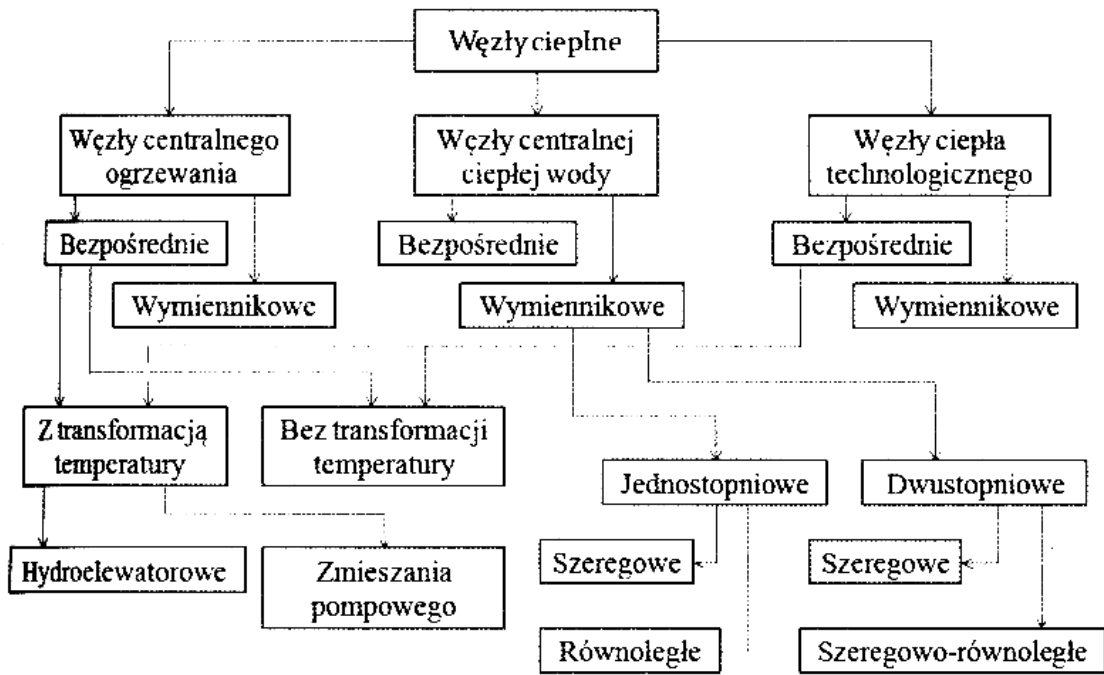
- źródło ciepła – kotłownia, elektrociepłownia, pompa ciepła, ciepłownia geotermalna, etc., wyposażona w pompownię, stację uzdatniania wody obiegowej, urządzenia regulacyjne, pomiarowe i zabezpieczające.
- sieć cieplna przesyłowa – układ rurociągów rozprowadzających nośniki ciepła (gorąca woda, para wodna) do różnych obiektów.
- węzły cieplne – układy połączeń odbiorców wewnętrznych z zewnętrzną siecią przesyłową, wyposażone w urządzenia regulacyjne, pomiarowe i zabezpieczające.
- wewnętrzna sieć cieplna – układ rurociągów zlokalizowanych za węzłem cieplnym, rozprowadzający nośnik ciepła do poszczególnych odbiorców wewnętrznych.

Podziały ogrzewania zdalaczynnego:

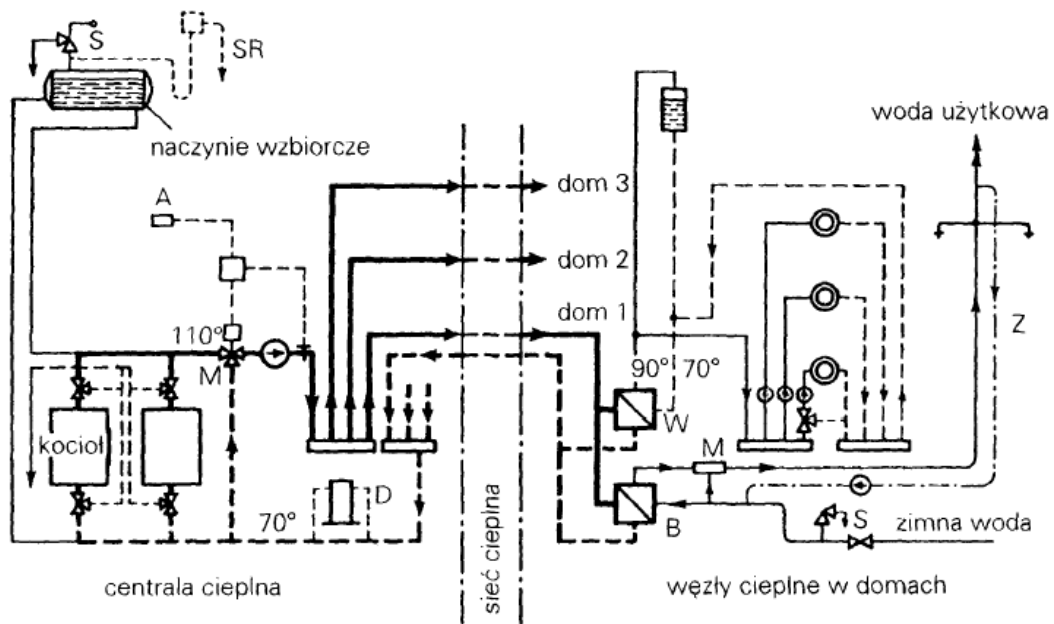
- nośnik ciepła: ogrzewanie gorącą wodą i parą,
- sposób przyłączenia:
 - bezpośrednie (odbiorniki połączone z siecią przesyłową),
 - pośrednie (odbiorniki współpracujące z siecią poprzez stacje przeponowych wymienników ciepła),
- poziom temperatury czynnika grzewczego:
 - ogrzewanie niskotemperaturowe (do 100 °C),
 - ogrzewanie średnotemperaturowe (pomiędzy 100-120 °C),
 - ogrzewanie wysokotemperaturowe (powyżej 120 °C).
- mocy cieplnej,
- rodzaju ogrzewanych budynków:
 - ogrzewanie osiedlowe (temperatura do 120 °C),
 - ogrzewanie przemysłowe,
 - ogrzewanie miejskie.

Zalety:

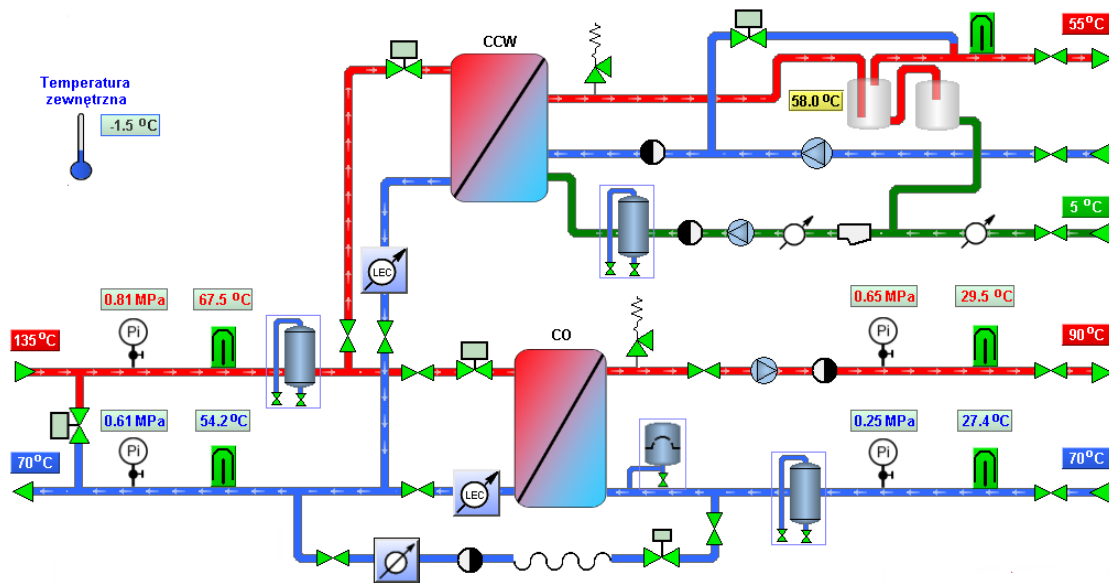
- wyeliminowanie konieczności transportu paliwa i popiołu do pojedynczych budynków – odciążenie ruchu;
- możliwość zastosowania tańszych paliw – odpadów komunalnych, węgla brunatnego czy biomasy;
- bardziej ekonomiczne i ekologiczne wykorzystanie paliw;
- oszczędność miejsca u poszczególnych odbiorców;
- zminimalizowanie obsługi;
- podwyższona ochrona przeciwpożarowa.



Podział węzłów ciepłych



Schemat połączeń zamkniętego wodnego ogrzewania zdalczego w systemie dwuprzewodowym z wymiennikowymi węzłami ciepłymi w budynkach i podgrzewaczami wody użytkowej.



Przykładowy schemat węzła cieplnego

Grzejniki

Grzejniki są wymiennikami ciepła typu woda-powietrze i służą do przekazywania energii czynnika grzewczego do ogrzewanej przestrzeni.

Podziałów grzejników dokonuje się wg różnych kryteriów, a to:

- rodzaju nośnika energii cieplnej,
- sposobu przekazywania ciepła.

Podział ze względu na rodzaj nośnika energii cieplnej:

- wodne, parowe,
- elektryczne,
- gazowe.

Podział ze względu na sposób przekazywania ciepła:

- konwekcyjne:
 - grzejniki z ogniw żeliwnych i stalowych,
 - grzejniki członowe z aluminium,
 - grzejniki stalowe płytowe płaskie i płytowo-konwektorowe,
 - grzejniki z rur ożebrowanych i gładkich,
 - grzejniki konwektorowe (lamelowe).
- promieniujące:
 - grzejniki płaszczyznowe podłogowe, ściennie, sufitowe,
 - grzejniki taśmy promieniujące,
 - promienniki podczerwieni gazowe i elektryczne.

Ocena sprawności systemu ogrzewania

Miarą efektywności energetycznej systemu ogrzewania jest sprawność ogólna, inaczej nazywana średnią sezonową sprawnością całkowitą systemu ogrzewania budynku – od wytworzenia (konwersji) ciepła do przekazania w pomieszczeniu.

$$\eta_{H,tot} = \eta_{H,g} \cdot \eta_{H,s} \cdot \eta_{H,d} \cdot \eta_{H,e}$$

gdzie:

$\eta_{H,tot}$ – średnia sezonowa sprawność całkowita systemu grzewczego budynku – od

wytwarzania (konwersji) ciepła do przekazania w pomieszczeniu,

$\eta_{H,g}$ - średnia sezonowa sprawność wytworzenia nośnika ciepła z energii dostarczanej do granicy bilansowej budynku (energii końcowej),

$\eta_{H,s}$ - średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepła w elementach pojemnościowych systemu grzewczego budynku (w obrębie osłony bilansowej lub poza nią),

$\eta_{H,d}$ - średnia sezonowa sprawność transportu (dystrybucji) nośnika ciepła w obrębie budynku (osłony bilansowej lub poza nią),

$\eta_{H,e}$ - średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania ciepła w budynku (w obrębie osłony bilansowej).

Sprawności regulacji i wykorzystania ciepła $\eta_{H,e}$

Lp.	Rodzaj instalacji	$\eta_{H,e}$
1	Elektryczne grzejniki bezpośrednie: konwektorowe, płaszczyznowe i promiennikowe	0,98
2	Podłogowe: kablowe, elektryczno-wodne	0,95
3	Elektryczne grzejniki akumulacyjne: konwektorowe i podłogowe kablowe	0,90
4	Elektryczne ogrzewanie akumulacyjne bezpośrednie	0,91-0,97
5	Ogrzewanie wodne z grzejnikami członowymi lub płytowymi w przypadku regulacji centralnej, bez regulacji miejscowej	0,75-0,85
6	Ogrzewanie wodne z grzejnikami członowymi lub płytowymi w przypadku regulacji miejscowej	0,86-0,91
7	Ogrzewanie wodne z grzejnikami członowymi lub płytowymi w przypadku regulacji centralnej adaptacyjnej i miejscowej	0,98-0,99
8	Ogrzewanie wodne z grzejnikami członowymi lub płytowymi w przypadku regulacji centralnej i miejscowej (zakres P – 1K)	0,97
9	Centralne ogrzewanie z grzejnikami członowymi lub płytowymi w przypadku regulacji centralnej i miejscowej (zakres P – 2K)	0,93
10	Ogrzewanie podłogowe w przypadku regulacji centralnej, bez miejscowej	0,94-0,96
11	Ogrzewanie podłogowe lub ściennie w przypadku regulacji centralnej i miejscowej	0,97-0,98
12	Ogrzewanie miejscowe przy braku regulacji automatycznej w pomieszczeniu	0,80-0,85

Wyznaczenie sprawności elementów instalacji:

$$\Delta Q_{H,e} = Q_{H,nd} \cdot (1/ \eta_{H,e} - 1)$$

$$\eta_{H,d} = (Q_{H,nd} + \Delta Q_{H,e}) / (Q_{H,nd} + \Delta Q_{H,e} + \Delta Q_{H,d})$$

$$\eta_{H,s} = (Q_{H,nd} + \Delta Q_{H,e} + \Delta Q_{H,d}) / (Q_{H,nd} + \Delta Q_{H,e} + \Delta Q_{H,d} + \Delta Q_{H,s})$$

gdzie:

$\Delta Q_{H,e}$ - uśrednione sezonowe straty ciepła w wyniku niedoskonałej regulacji i przekazania ciepła w budynku, kWh/rok

$\Delta Q_{H,d}$ - uśrednione sezonowe straty ciepła instalacji transportu (dystrybucji) nośnika ciepła w budynku (w osłony bilansowej lub poza nią), kWh/rok,

$\Delta Q_{H,s}$ - uśrednione sezonowe straty ciepła w elementach pojemnościowych systemu

grzewczego budynku (w obrębie osłony bilansowej lub poza nią), kWh/rok.

Straty ciepła sieci transportu nośnika ciepła oraz zbiornika buforowego

$$Q_{H,d} = \sum (l_i \cdot q_{li} \cdot t_{SG}) \cdot 10^{-3} \text{ kWh/rok}$$

$$Q_{H,s} = \sum (V_s \cdot q_s \cdot t_{SG}) \cdot 10^{-3} \text{ kWh/rok}$$

gdzie:

l_i - długość i-tego odcinka sieci dystrybucji nośnika ciepła, m

q_{li} - jednostkowe straty ciepła przewodów ogrzewań wodnych, wg Tabeli, W/m

t_{SG} - czas trwania sezonu grzewczego, h

V_s - pojemność zbiornika buforowego, dm³

q_s - jednostkowe straty ciepła zbiornika buforowego, wg Tabeli, W/ dm³

Jednostkowe straty ciepła przez przewody centralnego ogrzewania q_l [W/m]

Parametry °C	Izolacja termiczna przewodów	Na zewnątrz osłony izolacyjnej budynku				Wewnątrz osłony izolacyjnej budynku			
		DN 10-15	DN 20-32	DN 40-65	DN 80-100	DN 10-15	DN 20-32	DN 40-65	DN 80-100
90/70°C stałe	nieizolowane	39,3	65,0	106,8	163,2	34,7	57,3	94,2	144,0
	½ grubości wg WT ¹⁾	20,1	27,7	38,8	52,4	17,8	24,4	34,2	46,2
	grubość wg WT	10,1	12,6	12,1	12,1	8,9	11,1	10,7	10,7
	2x grubość wg WT	7,6	8,1	8,1	8,1	6,7	7,1	7,1	7,1
90/70°C regulowane	nieizolowane	24,3	40,1	66,0	100,8	19,6	32,5	53,4	81,6
	½ grubości wg WT ¹⁾	12,4	17,1	24,0	32,4	10,1	13,9	19,4	26,2
	grubość wg WT	6,2	7,8	7,5	7,5	5,0	6,3	6,0	6,0
	2x grubość wg WT	4,7	5,0	5,0	5,0	3,8	4,0	4,0	4,0
70/55°C regulowane	nieizolowane	18,5	30,6	50,3	76,8	13,9	22,9	37,7	57,6
	½ grubości wg WT ¹⁾	9,5	13,0	18,3	24,7	7,1	9,8	13,7	18,5
	grubość wg WT	4,7	5,9	5,7	5,7	3,6	4,4	4,3	4,3
	2x grubość wg WT	3,6	3,8	3,8	3,8	2,7	2,8	2,8	2,8
55/45°C regulowane	nieizolowane	14,4	23,9	39,3	60,0	9,8	16,2	26,7	40,8
	½ grubości wg WT ¹⁾	7,4	10,2	14,3	19,3	5,0	6,9	9,7	13,1
	grubość wg WT	3,7	4,6	4,4	4,4	2,5	3,1	3,0	3,0
	2x grubość wg WT	2,8	3,0	3,0	3,0	1,9	2,0	2,0	2,0
35/28°C regulowane	nieizolowane	8,1	13,4	22,0	33,6	3,5	5,7	9,4	14,4
	½ grubości wg WT ¹⁾	4,1	5,7	8,0	10,8	1,8	2,4	3,4	4,6
	grubość wg WT	2,1	2,6	2,5	2,5	0,9	1,1	1,1	1,1
	2x grubość wg WT	1,6	1,7	1,7	1,7	0,7	0,7	0,7	0,7

¹⁾ grubości izolacji podane w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, poz. 690, z późn. zm.), dalej oznaczone „WT”

Jednostkowe straty ciepła przez zbiornik buforowy (zasobnik) w układzie centralnego ogrzewania q_s [W/dm³]

Lokalizacja bufora	Pojemność [dm ³]	Parametry termiczne 70/55°C i wyżej			Parametry termiczne 55/45°C i niżej		
		Izolacja 10 cm	Izolacja 5 cm	Izolacja 2 cm	Izolacja 10 cm	Izolacja 5 cm	Izolacja 2 cm
Na	100	0,7 – 0,9	1,1 – 1,4	2,0 – 2,7	0,3 – 0,5	0,5 – 0,8	0,9 – 1,6
zewnątrz osłony izolacyjnej budynku	200	0,5 – 0,7	0,8 – 1,1	1,6 – 2,1	0,2 – 0,4	0,4 – 0,7	0,7 – 1,3
	500	0,4 – 0,5	0,6 – 0,8	1,2 – 1,6	0,2 – 0,3	0,3 – 0,5	0,5 – 1,0
	1000	0,3 – 0,4	0,5 – 0,6	1,0 – 1,3	0,1 – 0,2	0,2 – 0,4	0,4 – 0,8
	2000	0,2 – 0,3	0,4 – 0,5	0,8 – 1,0	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,6
Wewnątrz osłony izolacyjnej budynku	100	0,5 – 0,7	0,8 – 1,1	1,5 – 2,2	0,1 – 0,4	0,2 – 0,6	0,4 – 1,1
	200	0,4 – 0,6	0,6 – 0,9	1,2 – 1,7	0,1 – 0,3	0,2 – 0,4	0,3 – 0,9
	500	0,3 – 0,4	0,5 – 0,7	0,9 – 1,3	0,1 – 0,2	0,1 – 0,3	0,2 – 0,6
	1000	0,2 – 0,3	0,4 – 0,5	0,7 – 1,0	0,1 – 0,2	0,1 – 0,3	0,2 – 0,5
	2000	0,2	0,3 – 0,4	0,6 – 0,8	0,0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,1 – 0,4

Przy braku danych dla zastosowanych urządzeń, dla budynków istniejących można korzystać odpowiednio z wartości zryczałtowanych podanych w Tabelach (patrz niżej).

Sprawności przesyłu (dystrybucji) ciepła $\eta_{H,d}$ (wartości średnie)

Lp.	Rodzaj instalacji ogrzewczej	$\eta_{H,d}$
1	Źródło ciepła w pomieszczeniu (ogrzewanie elektryczne, piec kaflowy)	1,0
2	Ogrzewanie mieszkaniowe (kocioł gazowy lub miniwęzeł)	1,0
3	Ogrzewanie centralne wodne z lokalnego źródła ciepła ¹⁾ usytuowanego w ogrzewanym budynku, z zaizolowanymi przewodami, armaturą i urządzeniami, które są zainstalowane w pomieszczeniach ogrzewanych	0,96-0,98
4	Ogrzewanie centralne wodne z lokalnego źródła ciepła usytuowanego w ogrzewanym budynku, z zaizolowanymi przewodami, armaturą i urządzeniami, które są zainstalowane w pomieszczeniach nieogrzewanych	0,92-0,95
5	Ogrzewanie centralne wodne z lokalnego źródła ciepła usytuowanego w ogrzewanym budynku, bez izolacji cieplnej na przewodach, armaturze i urządzeniach, które są zainstalowane w pomieszczeniach nieogrzewanych	0,87-0,90
6	Ogrzewanie powietrzne	0,95

¹⁾ węzeł cieplny, kotłownia gazowa, olejowa, węglowa, biopaliwa

Sprawności układu akumulacji ciepła w systemie ogrzewczym $\eta_{H,s}$

Lp.	Parametry zasobnika buforowego i jego usytuowanie	$\eta_{H,s}$
1	Bufor w systemie grzewczym o parametrach 70/55°C wewnątrz osłony termicznej budynku	0,93-0,97
2	Bufor w systemie grzewczym o parametrach 70/55°C na zewnątrz osłony termicznej budynku	0,91-0,95
3.	Bufor w systemie grzewczym o parametrach 55/45°C wewnątrz osłony termicznej budynku	0,95-0,99
4.	Bufor w systemie grzewczym o parametrach 55/45°C na zewnątrz osłony termicznej budynku	0,93-0,97
5.	Brak zasobnika buforowego	1,00

Sprawności wytwarzania ciepła (dla ogrzewania) w źródłach $\eta_{H,g}$

Lp.	Rodzaj źródła ciepła	$\eta_{H,g}$ ($\epsilon_{H,g}$)
1	Kotły węglowe wyprodukowane po 2000 r.	0,82
2	Kotły węglowe wyprodukowane w latach 1980-2000	0,65 - 0,75
3	Kotły węglowe wyprodukowane przed 1980 r.	0,50 - 0,65
4	Kotły na biomasę (słoma) wrzutowe z obsługą ręczną o mocy do 100 kW	0,63
5	Kotły na biomasę (drewno: polana, brykiety, palety, zrębki) wrzutowe z obsługą ręczną o mocy do 100 kW	0,72
6	Kotły na biomasę (słoma) wrzutowe z obsługą ręczną o mocy powyżej 100 kW	0,70

7	Kotły na biomasę (słoma) automatyczne o mocy powyżej 100 kW do 600 kW	0,75
8	Kotły na biomasę (drewno: polana, brykiety, palety, zrębki) automatyczne o mocy powyżej 100 kW do 600 kW	0,85
9	Kotły na biomasę (słoma, drewno) automatyczne z mechanicznym podawaniem paliwa o mocy powyżej 500 kW	0,85
10	Podgrzewacze elektryczne - przepływowe	0,94
11	Podgrzewacze elektrotermiczne	1,00
12	Elektryczne grzejniki bezpośrednie: konwektorowe, płaszczyznowe, promiennikowe i podłogowe kablowe	0,99
13	Ogrzewanie podłogowe elektryczno-wodne	0,95
14	Piece kaflowe	0,60-0,70
15	Piece olejowe pomieszczeniowe	0,84
16	Piece gazowe pomieszczeniowe	0,75
17	Kotły na paliwo gazowe lub płynne z otwartą komorą spalania (palnikami atmosferycznymi) i dwustawną regulacją procesu spalania	0,86
18	Kotły niskotemperaturowe na paliwo gazowe lub płynne z zamkniętą komorą spalania i palnikiem modulowanym - do 50 kW - 50-120 kW - 120-1200 kW	0,87-0,91 0,91-0,97 0,94-0,98
19	Kotły gazowe kondensacyjne ¹⁾ - do 50 kW (70/55°C) - do 50 kW (55/45°C) - 50-120 kW (70/55°C) - 50-120 kW (55/45°C) - 120-1200 kW (70/55°C) - 120-1200 kW (55/45°C)	0,91-0,97 0,94-1,00 0,91-0,98 0,95-1,01 0,92-0,99 0,96-1,02
20	Pompy ciepła woda/woda w nowych/istniejących budynkach	3,8/ 3,5 ²⁾
21	Pompy ciepła glikol/woda w nowych/istniejących budynkach	3,5/ 3,3
22	Pompy ciepła powietrze/woda w nowych/istniejących budynkach	2,7/ 2,5
23	Węzeł cieplny kompaktowy z obudową - do 100 kW - powyżej 100 kW	0,98 0,99
24	Węzeł cieplny kompaktowy bez obudowy - do 100 kW - 100-300 kW - powyżej 300 kW	0,91 0,93 0,95

¹⁾ sprawność odniesiona do wartości opałowej paliwa,

²⁾ sezonowy współczynnik wydajności grzejnej pompy ciepła (SPF)

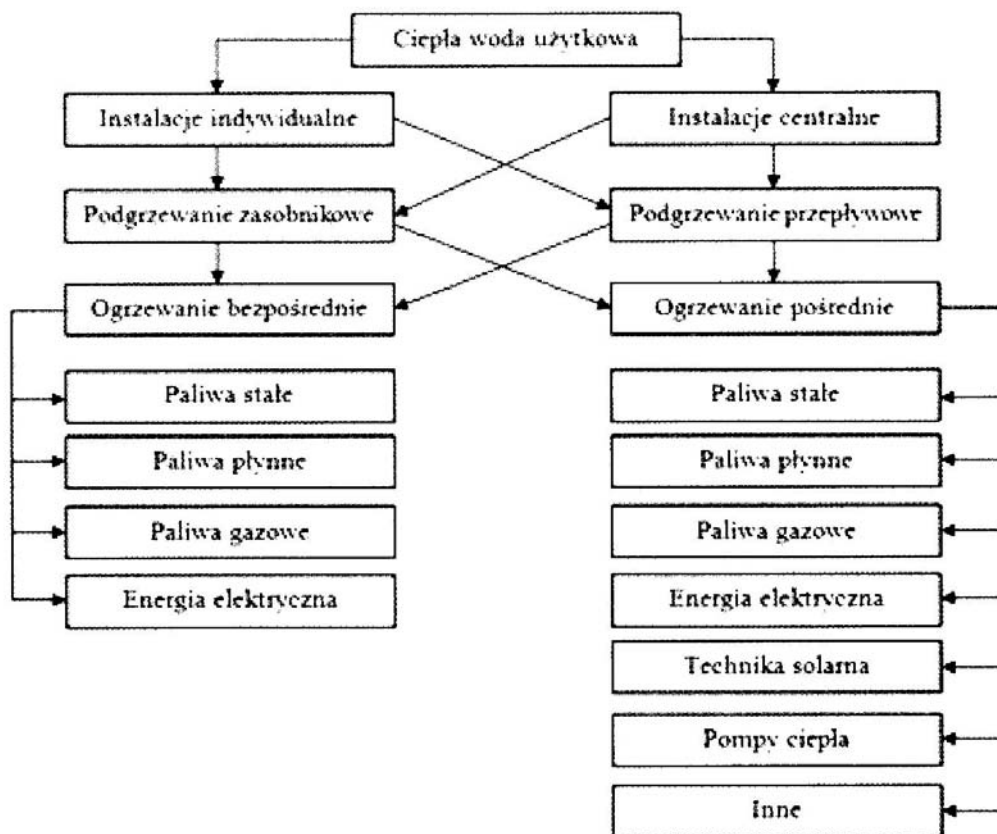
Uwaga:

- 1) przyjęta sprawność dla rozpatrywanego przypadku powinna uwzględniać stan kotła i jego średniosezonowe obciążenie cieplne;
- 2) w przypadku trudności oceny stanu faktycznego należy przyjmować wartość średnią z podanego zakresu sprawności.

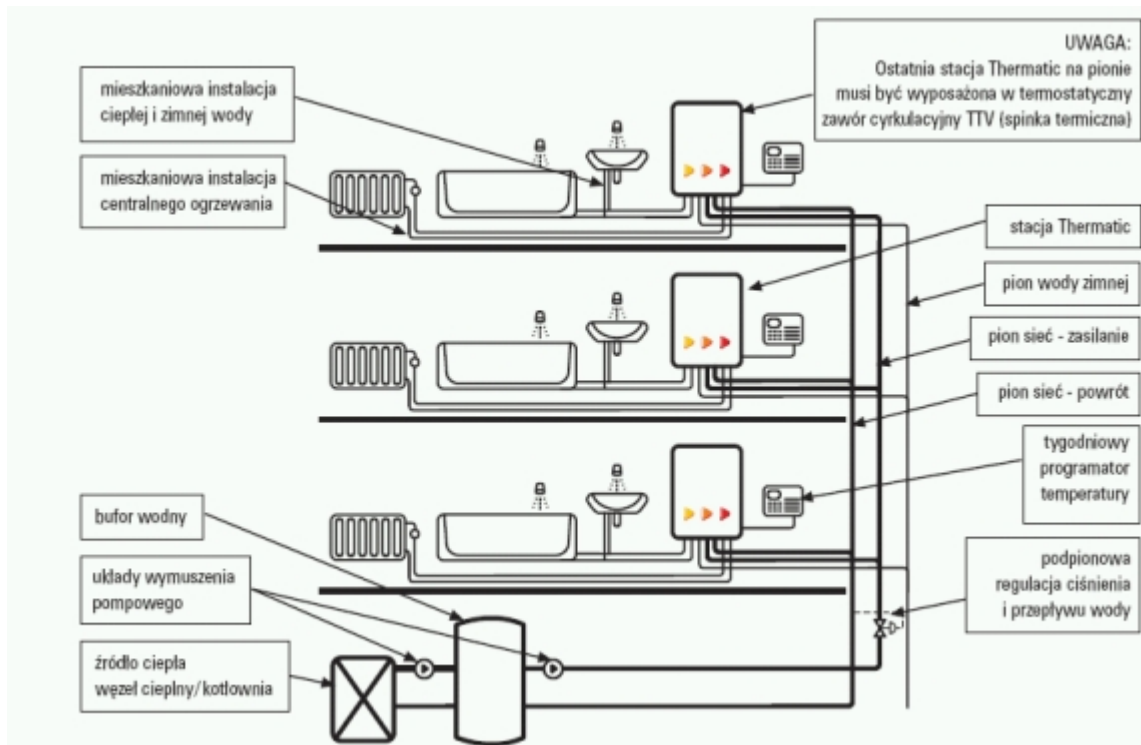
2.2. Ocena stanu i sprawności elementów systemu zaopatrzenia w ciepłą wodę użytkową

Określenie ciepła woda użytkowa (c.w.u.), oznacza wodę o właściwościach wody pitnej, podgrzaną do określonej, wymaganej temperatury.

Zadaniem systemu zaopatrzenia w c.w.u. jest dostarczenie do punktu czerpalnej wody o temperaturze zawartej zwykle w granicach 55 do 70 °C. Instalacja c.w.u. zaczyna się pomiędzy zaworem odcinającym wody zimnej źródłem ciepła. Istnieje wiele rodzajów instalacji c.w.u.



Podział instalacji c.w.u.



Przykładowy schemat instalacji c.w.u.

Wyznaczenie rocznego zapotrzebowania ciepła użytkowego

$$Q_{W,nd} = V_{CW_i} \cdot L_i \cdot c_W \cdot \rho_W \cdot (\Theta_{CW} - \Theta_O) \cdot k_t \cdot t_{UZ} / (1000 \cdot 3600) \text{ kWh/rok}$$

gdzie:

V_{CW_i} - jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody użytkowej należy przyjmować na

podstawie dokumentacji projektowej, pomiarów zużycia w obiekcie istniejącym lub w przypadku braku danych na podstawie tabeli, $\text{dm}^3/(\text{j.o.}) \times \text{doba}$

L_i - liczba jednostek odniesienia, osoby

t_{UZ} - czas użytkowania (miesiąc, rok - przeważnie 365 dni), czas użytkowania należy

zmniejszyć o przerwy urlopowe i wyjazdy i inne uzasadnione sytuacje, średnio w ciągu roku o 10% - dla budynków mieszkalnych, doby

k_t - mnożnik korekcyjny dla temperatury ciepłej wody innej niż 55°C , wg dokumentacji projektowej lub tabeli

c_W - ciepło właściwe wody, przyjmowane jako $4,19 \text{ kJ}/(\text{kgK})$, $\text{kJ}/(\text{kgK})$

ρ_W - gęstość wody, przyjmowana jako $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$, kg/m^3

Θ_{CW} - temperatura ciepłej wody w zaworze czerpalcym, 55°C , $^\circ\text{C}$

Θ_O - temperatura wody zimnej, przyjmowana jako 10°C , $^\circ\text{C}$

Współczynnik korekcyjny temperatury ciepłej wody k_t

Lp.	Temperatura wody na wypływie z zaworu czerpalnego, °C	Współczynnik korekcyjny k_t ¹⁾
1	55	1,00
2	50	1,12
3	45	1,28

¹⁾ dla pośrednich wartości temperatury wartości k_t należy interpolować liniowo.

Jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody dla budynków mieszkalnych różnych typów V_{cw}

Lp.	Rodzaje budynków	Jednostka odniesienia	Jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody V_{cw} o temperaturze 55°C
		[j.o.]	[dm ³ /(j.o.)·doba]
1	Budynki jednorodzinne	[osoba] ²⁾	35
2	Budynki wielorodzinne ¹⁾	[osoba] ²⁾	48

Objaśnienia:

¹⁾ W przypadku zastosowania w budynkach wielorodzinnych wodomierzy mieszkaniowych do rozliczania opłat za ciepłą wodę, podane wskaźniki jednostkowego zużycia ciepłej wody użytkowej należy zmniejszyć o 20%.

²⁾ Liczbę mieszkańców w zależności od rodzaju budynku lub lokalu mieszkalnego należy przyjmować zgodnie z projektem budynku, a dla budynków istniejących na podstawie stanu rzeczywistego.

Uwaga: dla innych budynków według załącznika nr 6

Ocena systemu zaopatrzenia w ciepłą wodę użytkową

Miarą efektywności energetycznej systemu zaopatrzenia w ciepłą wodę użytkową jest sprawność ogólna, inaczej nazywana średnią sezonową sprawnością całkowitą systemu ciepłej wody użytkowej.

$$n_{W,tot} = n_{W,g} \cdot n_{W,d} \cdot n_{W,s} \cdot n_{W,e}$$

gdzie:

$Q_{W,nd}$ - zapotrzebowanie ciepła użytkowego do podgrzania ciepłej wody, kWh/rok

$n_{W,g}$ - średnia sezonowa sprawność wytworzenia nośnika ciepła z energii dostarczanej do granicy bilansowej budynku (energii końcowej),

$n_{W,d}$ - średnia sezonowa sprawność transportu (dystrybucji) ciepłej wody w obrębie budynku (osłony bilansowej lub poza nią),

$n_{W,s}$ - średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepłej wody w elementach pojemnościowych systemu ciepłej wody (w obrębie osłony bilansowej lub poza nią),

$n_{W,e}$ - średnia sezonowa sprawność wykorzystania (przyjmuje się 1,0).

Sprawności cząstkowe uwzględnione we wzorze oraz dane do wzoru należy wyznaczać w oparciu o:

a) obowiązujące przepisy,

- b) dokumentację techniczną budynku i instalacji oraz urządzeń,
- c) wiedzę techniczną oraz wizję lokalną obiektu,
- d) dostępne dane katalogowe urządzeń, elementów instalacji ogrzewczej i ciepłej wody użytkowej obiektu.

Wyznaczenie sprawności elementów instalacji:

$$n_{W,d} = Q_{W,nd} / (Q_{W,nd} + \Delta Q_{W,d})$$

$$n_{W,s} = (Q_{W,nd} + \Delta Q_{W,d}) / (Q_{W,nd} + \Delta Q_{W,d} + \Delta Q_{W,s})$$

gdzie:

$\Delta Q_{W,d}$ - uśrednione roczne straty ciepła instalacji transportu (dystrybucji) ciepłej wody użytkowej w budynku (w osłonie bilansowej lub poza nią), kWh/rok

$\Delta Q_{W,s}$ - uśrednione sezonowe straty ciepła w elementach pojemnościowych systemu grzewczego budynku (w obrębie osłony bilansowej lub poza nią), kWh/rok

Straty ciepła sieci transportu ciepłej wody użytkowej oraz zasobnika ciepłej wody:

$$\Delta Q_{W,d} = \sum (l_i \cdot q_{li} \cdot t_{CW}) \cdot 10^{-3} \text{ kWh/rok}$$

$$\Delta Q_{W,s} = \sum (V_s \cdot q_s \cdot t_{CW}) \cdot 10^{-3} \text{ kWh/rok}$$

gdzie:

l_i - długość i-tego odcinka sieci ciepłej wody użytkowej, m

q_{li} - jednostkowe straty ciepła przewodów ciepłej wody, wg tabeli, W/m

t_{CW} - czas działania układu ciepłej wody w ciągu roku, h

V_s - pojemność zasobnika ciepłej wody, dm³

q_s - jednostkowe straty ciepła zasobnika ciepłej wody, wg tabeli, W/dm³

Jednostkowe straty ciepła przez przewody ciepłej wody użytkowej q_l , [W/m]

Przewody o temperaturze °C	Izolacja termiczna przewodów	Na zewnątrz osłony izolacyjnej budynku				Wewnątrz osłony izolacyjnej budynku			
		DN 10-15	DN 20-32	DN 40-65	DN 80-100	DN 10-15	DN 20-32	DN 40-65	DN 80-100
Przewody ciepłej wody użytkowej – przepływ zmienny 55°C	nieizolowane	24,9	33,2	47,7	68,4	14,9	19,9	28,6	41,0
	½ grubości wg WT	5,7	8,8	13,5	20,7	3,4	5,3	8,1	12,4
	grubość wg WT	4,1	4,6	4,6	4,6	2,5	2,7	2,7	2,7
	2x grubość wg WT	3,0	3,4	3,2	3,2	1,8	2,0	1,9	1,9
Przewody cyrkulacyjne – stały przepływ 55°C	nieizolowane	53,5	71,3	102,5	147,1	37,3	49,8	71,5	102,6
	½ grubości wg WT	12,3	18,9	29,0	44,6	8,6	13,2	20,2	31,1
	grubość wg WT	8,8	9,8	9,8	9,8	6,1	6,8	6,8	6,8
	2x grubość wg WT	6,5	7,2	6,9	6,9	4,5	5,1	4,8	4,8

Jednostkowe straty ciepła przez zasobniki ciepłej wody użytkowej q_s , [W/dm³]

Lokalizacja zasobnika	Pojemność [dm ³]	Pośrednio podgrzewane, biwalentne zasobniki solarne, zasobniki elektryczne całodobowe			Małe zasobniki elektryczne	Zasobniki gazowe
		Izolacja 10 cm	Izolacja 5 cm	Izolacja 2 cm		
Na zewnątrz osłony izolacyjnej budynku	25	0,68	1,13	2,04	2,80	3,13
	50	0,54	0,86	1,58	2,80	3,07
	100	0,43	0,65	1,23	2,80	3,02
	200	0,34	0,49	0,95		2,96
	500	0,25	0,34	0,68		2,89
	1000	0,20	0,26	0,53		2,84
	1500	0,18	0,22	0,46		2,81
	2000	0,16	0,20	0,41		2,78
Wewnątrz osłony izolacyjnej budynku	25	0,55	0,92	1,66	2,28	2,55
	50	0,44	0,70	1,29	2,28	2,50
	100	0,35	0,53	1,00	2,28	2,46
	200	0,28	0,40	0,78		2,41
	500	0,21	0,28	0,56		2,35
	1000	0,17	0,21	0,43		2,31
	1500	0,14	0,18	0,37		2,28
	2000	0,13	0,16	0,33		2,27

Przy braku danych, dla budynków istniejących można korzystać odpowiednio z wartości zryczałtowanych z poniższych tabel:

Sprawności wytwarzania ciepła (dla przygotowania ciepłej wody) w źródłach

$\eta_{H,g}$

Lp.	Rodzaj źródła ciepła	$\eta_{H,g}$ ($\epsilon_{H,g}$)
1	Przepływowy podgrzewacz gazowy z zapłonem elektrycznym	0,84-0,99
2	Przepływowy podgrzewacz gazowy z zapłonem płomieniem dyżurnym	0,16-0,74
3	Kotły stałotemperaturowe (tylko ciepła woda)	0,40-0,72
4	Kotły stałotemperaturowe dwufunkcyjne (ogrzewanie i ciepła woda)	0,65-0,77
5	Kotły niskotemperaturowe o mocy do 50 kW	0,83-0,90
6	Kotły niskotemperaturowe o mocy ponad 50 kW	0,88-0,92
7	Kotły gazowe kondensacyjne o mocy do 50 kW ¹⁾	0,85-0,91
8	Kotły gazowe kondensacyjne o mocy ponad 50 kW	0,88-0,93
17	Elektryczny podgrzewacz akumulacyjny (z zasobnikiem bez strat)	0,96-0,99
17	Elektryczny podgrzewacz przepływowy	0,99-1,00
24	Pompy ciepła woda/woda	3,0-4,5 ²⁾
25	Pompy ciepła glikol/woda	2,6-3,8
26	Pompy ciepła powietrze/woda	2,2-3,1
27	Węzeł cieplny kompaktowy z obudową	0,88-0,90
28	Węzeł cieplny kompaktowy bez obudowy	0,80-0,85
27	Węzeł cieplny kompaktowy z obudową (ogrzewanie i ciepła woda)	0,94-0,97
28	Węzeł cieplny kompaktowy bez obudowy (ogrzewanie i ciepła woda)	0,88-0,96

¹⁾ sprawność odniesiona do wartości opałowej paliwa,

²⁾ sezonowy współczynnik wydajności grzejnej pompy ciepła (SPF)

Uwaga:

1) przyjęta sprawność dla rozpatrywanego przypadku powinna uwzględniać stan kotła i jego średniosezonowe obciążenie cieplne,

2) całoroczny tryb pracy w układzie centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej; w przypadku trudności oceny stanu faktycznego należy przyjmować wartość średnią z podanego zakresu sprawności.

Sprawność przesyłu wody ciepłej użytkowej $\eta_{w,d}$

Rodzaje instalacji ciepłej wody	Sprawność przesyłu wody ciepłej $\eta_{w,d}$
1. Miejscowe przygotowanie ciepłej wody, instalacje ciepłej wody bez obiegów cyrkulacyjnych	
Miejscowe przygotowanie ciepłej wody bezpośrednio przy punktach poboru wody ciepłej	1,0
Miejscowe przygotowanie ciepłej wody dla grupy punktów poboru wody ciepłej w jednym pomieszczeniu sanitarnym, bez obiegu cyrkulacyjnego	0,8
2. Mieszkaniowe węzły cieplne	
Kompaktowy węzeł cieplny dla pojedynczego lokalu mieszkalnego, bez obiegu cyrkulacyjnego	0,85
3. Centralne przygotowanie ciepłej wody, instalacja ciepłej wody bez obiegów cyrkulacyjnych	
Instalacje ciepłej wody w budynkach jednorodzinnych	0,6
4. Centralne przygotowanie ciepłej wody, instalacje z obiegami cyrkulacyjnymi, piony instalacyjne nie izolowane, przewody rozprowadzające izolowane	
Instalacje małe, do 30 punktów poboru ciepłej wody	0,6
Instalacje średnie, 30-100 punktów poboru ciepłej wody	0,5
Instalacje duże, powyżej 100 punktów poboru ciepłej wody	0,4
5. Centralne przygotowanie ciepłej wody, instalacje z obiegami cyrkulacyjnymi, piony instalacyjne i przewody rozprowadzające izolowane¹⁾	
Instalacje małe, do 30 punktów poboru ciepłej wody	0,7
Instalacje średnie, 30-100 punktów poboru ciepłej wody	0,6
Instalacje duże, powyżej 100 punktów poboru ciepłej wody	0,5
6. Centralne przygotowanie ciepłej wody, instalacje z obiegami cyrkulacyjnymi z ograniczeniem czasu pracy²⁾, piony instalacyjne i przewody rozprowadzające izolowane	
Instalacje małe, do 30 punktów poboru ciepłej wody	0,8
Instalacje średnie, 30-100 punktów poboru ciepłej wody	0,7
Instalacje duże, powyżej 100 punktów poboru ciepłej wody	0,6
Objaśnienia:	
¹⁾ Przewody izolowane wykonane z rur stalowych lub miedzianych, lub przewody nieizolowane wykonane z rur z tworzyw sztucznych.	
²⁾ Ograniczenie czasu pracy pompy cyrkulacyjnej do ciepłej wody w godzinach nocnych lub zastosowanie pomp obiegowych ze sterowaniem za pomocą układów termostatycznych.	

Sprawności akumulacji ciepła w systemie ciepłej wody $\eta_{w,s}$

Lp.	Parametry zasobnika ciepłej wody i jego usytuowanie	$\eta_{w,s}$
1	Zasobnik w systemie wg standardu z lat 1970-tych	0,30-0,59
2	Zasobnik w systemie wg standardu z lat 1977-1995	0,55-0,69
3	Zasobnik w systemie wg standardu z lat 1995-2000	0,60-0,74
4	Zasobnik w systemie wg standardu budynku niskoenergetycznego	0,83-0,86

2.3. Odnawialne źródła energii

Odnawialnym źródłem energii nazywamy źródło wykorzystujące w procesie przetwarzania energię:

wiatru,

promieniowania słonecznego,

geotermalną, fal,

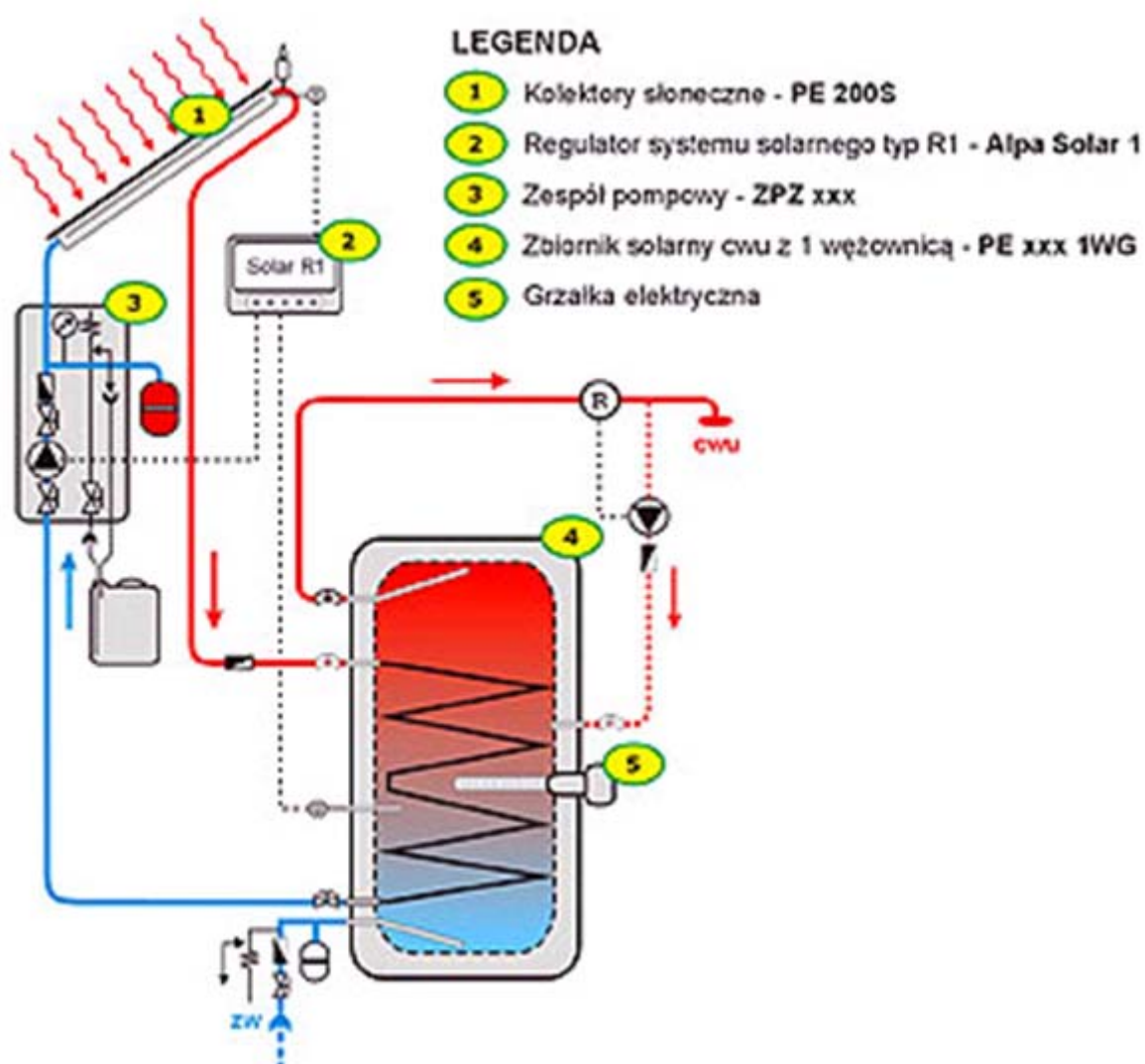
prądów i pływów morskich,

spadku rzek,

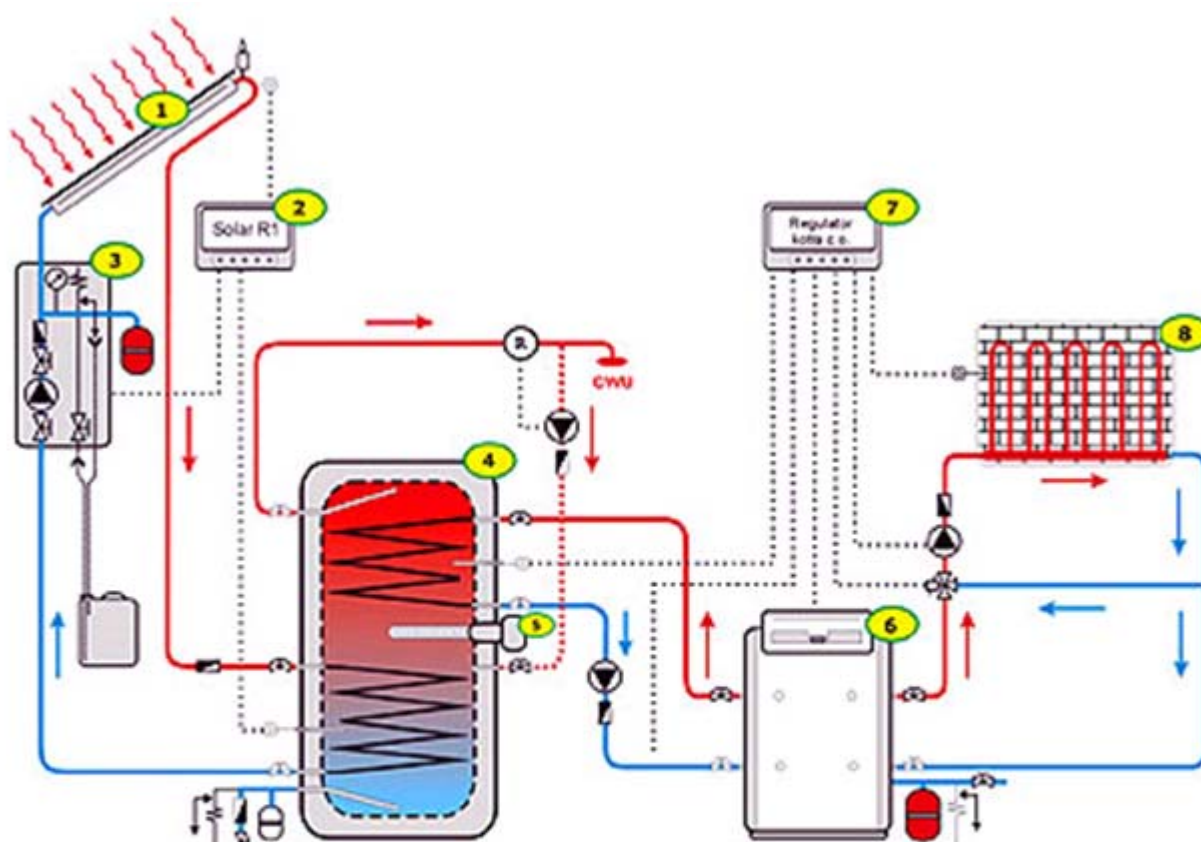
oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu wysypiskowego, a także biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych i zwierzęcych.

Wybrane warianty stosowania instalacji solarnych

Solarna instalacja grzewcza do c.w.u.



System solarny ze zbiornikiem c.w.u. wyposażonym w 1 wężownicę spiralną i grzałkę elektryczną.

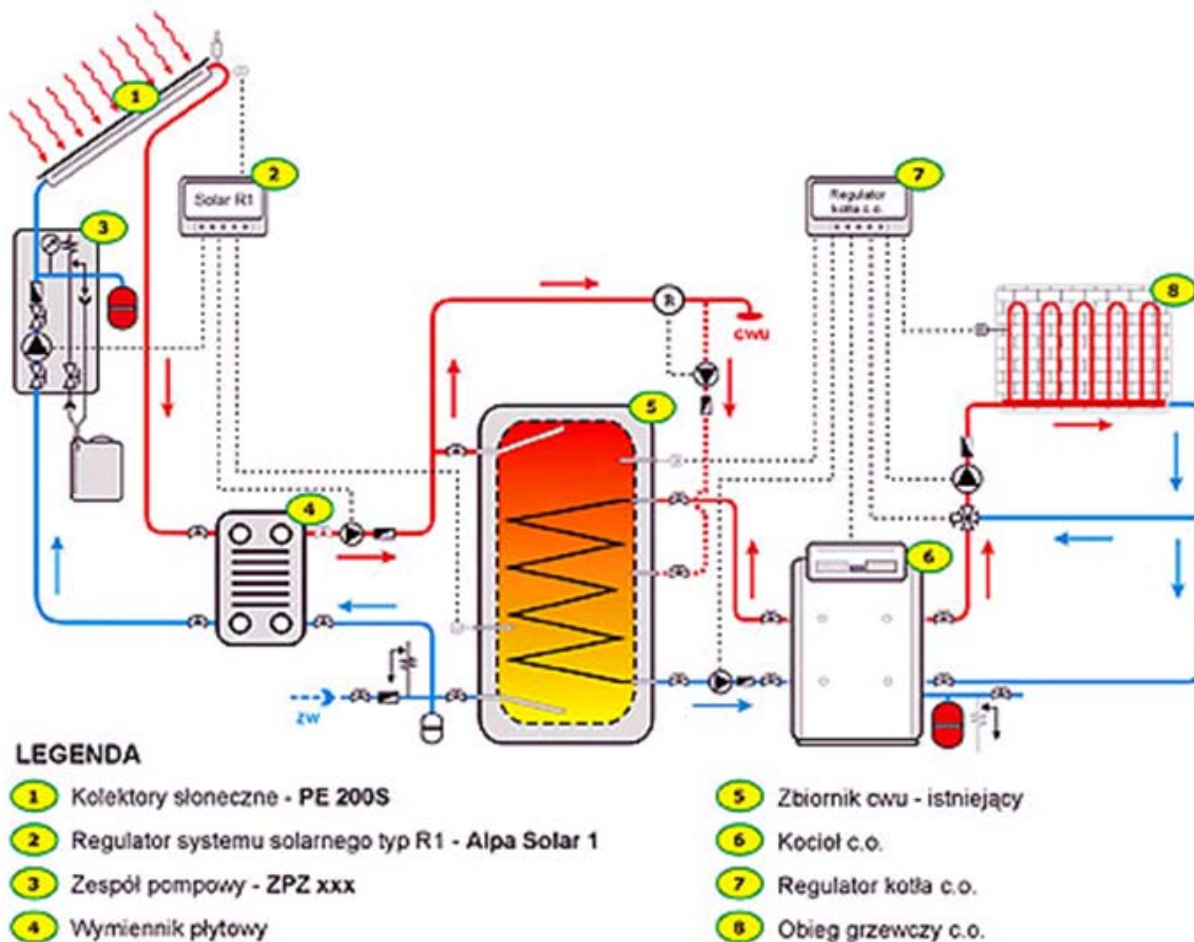


LEGENDA

- | | |
|---|------------------------|
| 1 Kolektory słoneczne - PE 200S | 5 Grzałka elektryczna |
| 2 Regulator systemu solarnego typ R1 - Alpa Solar 1 | 6 Kocioł c.o. |
| 3 Zespół pompowy - ZPZ xxx | 7 Regulator kotła c.o. |
| 4 Zbiornik solarny cwu z 2 wężownicami - PE xxx 2WG | 8 Obieg grzewczy c.o. |

Solarna instalacja grzewcza do cwu współpracująca z kotłem c.o. System solarny ze zbiornikiem cwu wyposażonym w 2 wężownice spiralne i grzałkę elektryczną.

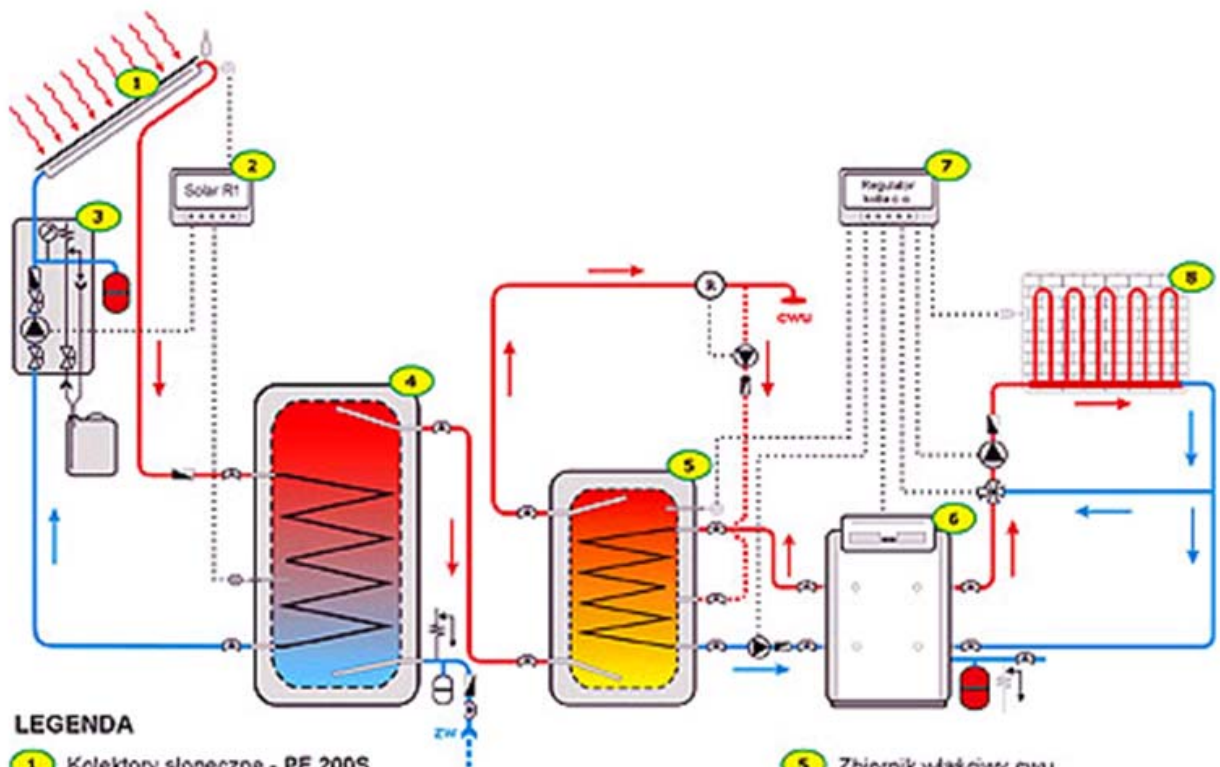
Współpraca instalacji solarnej za pośrednictwem wymiennika płytowego z istniejącym zbiornikiem cwu podłączonym do kotła c.o.



Istniejący zbiornik pojemnościowy cwu zasilany jest z instalacji solarnej poprzez zewnętrzny wymiennik płytowy. Dogrzewanie wody zapewnia kocioł c.o. poprzez wężownicę w zbiorniku.

Współpraca instalacji solarnej z istniejącym zbiornikiem cwu o małej pojemności podłączonym do kotła

c.o.

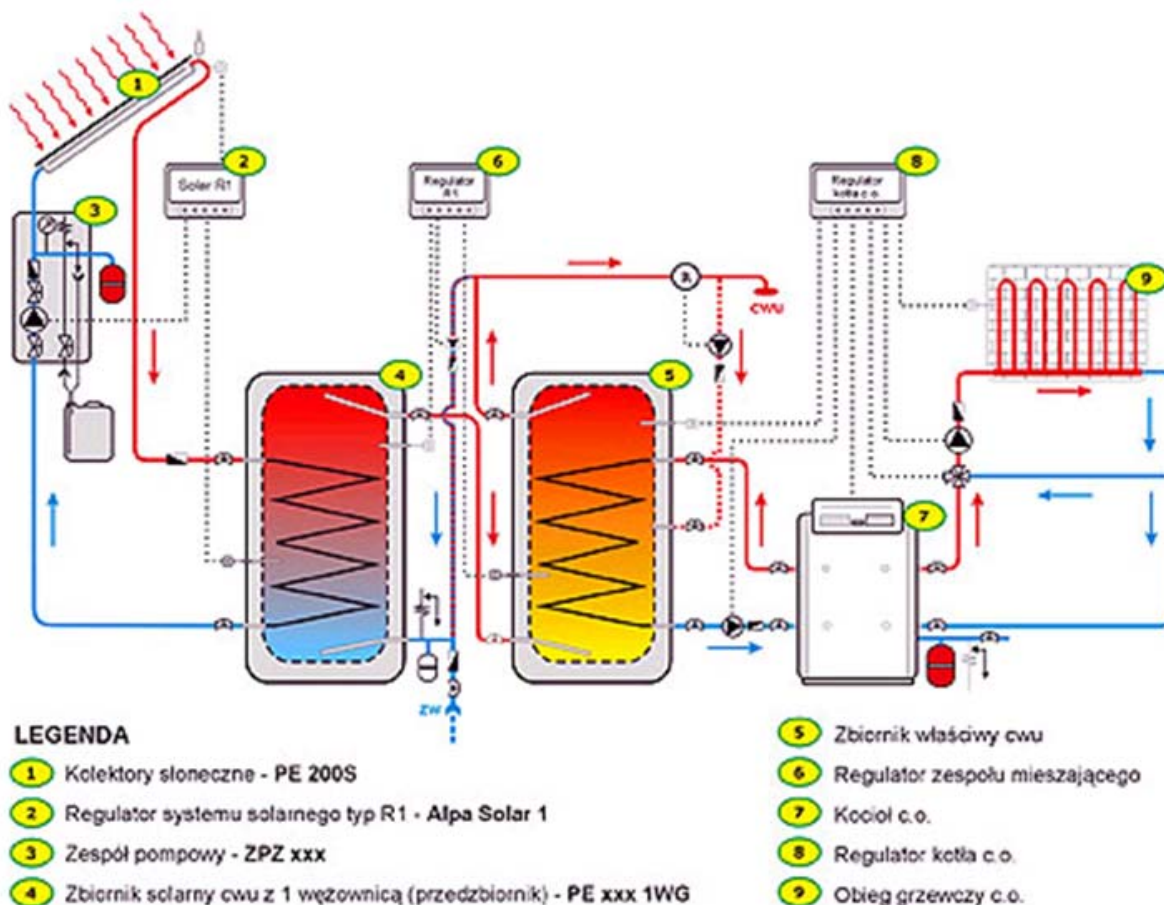


LEGENDA

- | | |
|---|-------------------------|
| 1 Kolektory słoneczne - PE 200S | 5 Zbiornik właściwy cwu |
| 2 Regulator systemu solarnego typ R1 - Alpa Solar 1 | 6 Kocioł c.o. |
| 3 Zespół pompowy - ZPZ xxx | 7 Regulator kotła c.o. |
| 4 Zbiornik solarny cwu z 1 węzownicą (przedzbiornik) - PE xxx 1WG | 8 Obieg grzewczy c.o. |

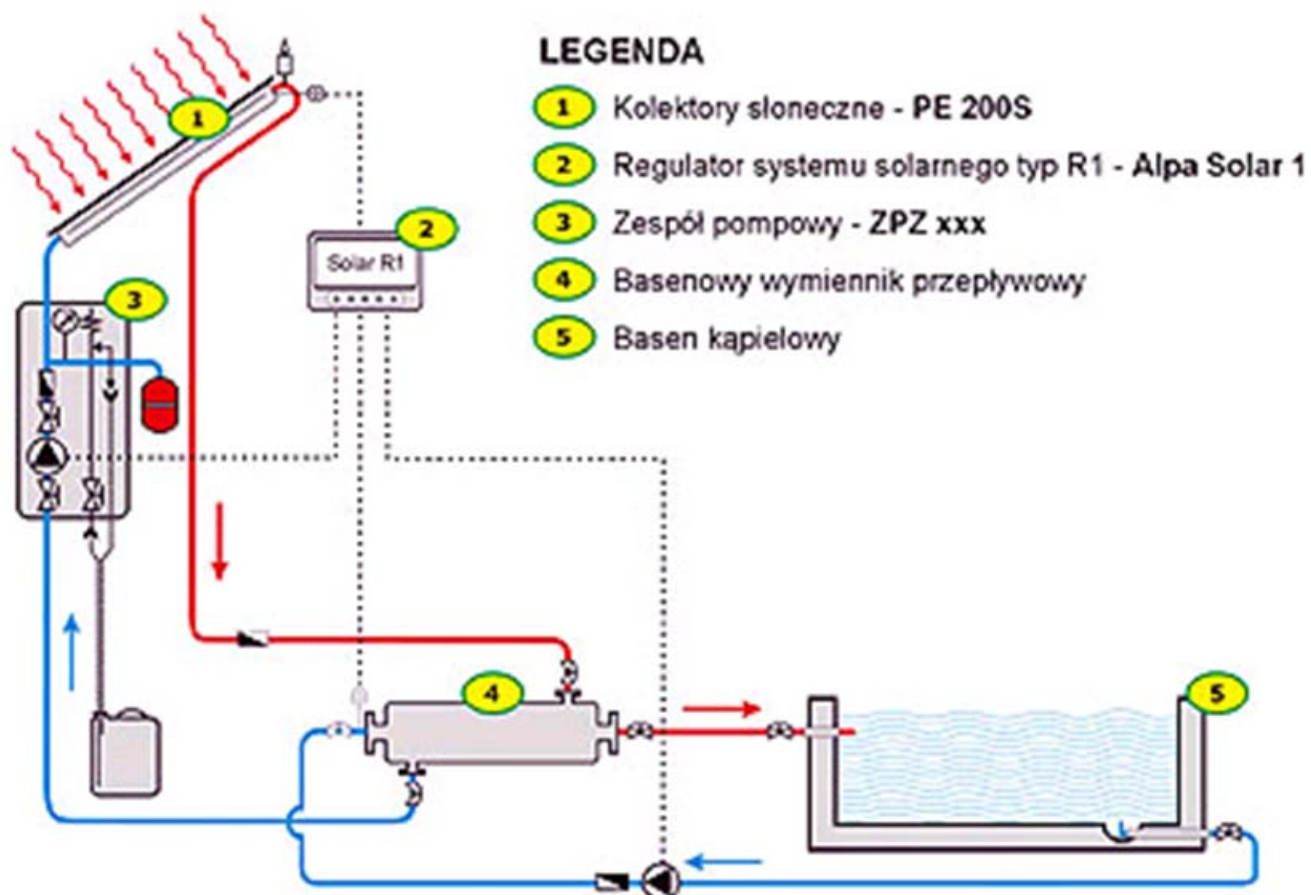
Zbiornik solarny jest przedzbiornikiem dla istniejącego zbiornika cwu (o małej pojemności) zasilanego kotłem c.o.

Współpraca instalacji solarnej z istniejącym zbiornikiem cwu podłączonym do kotła c.o.



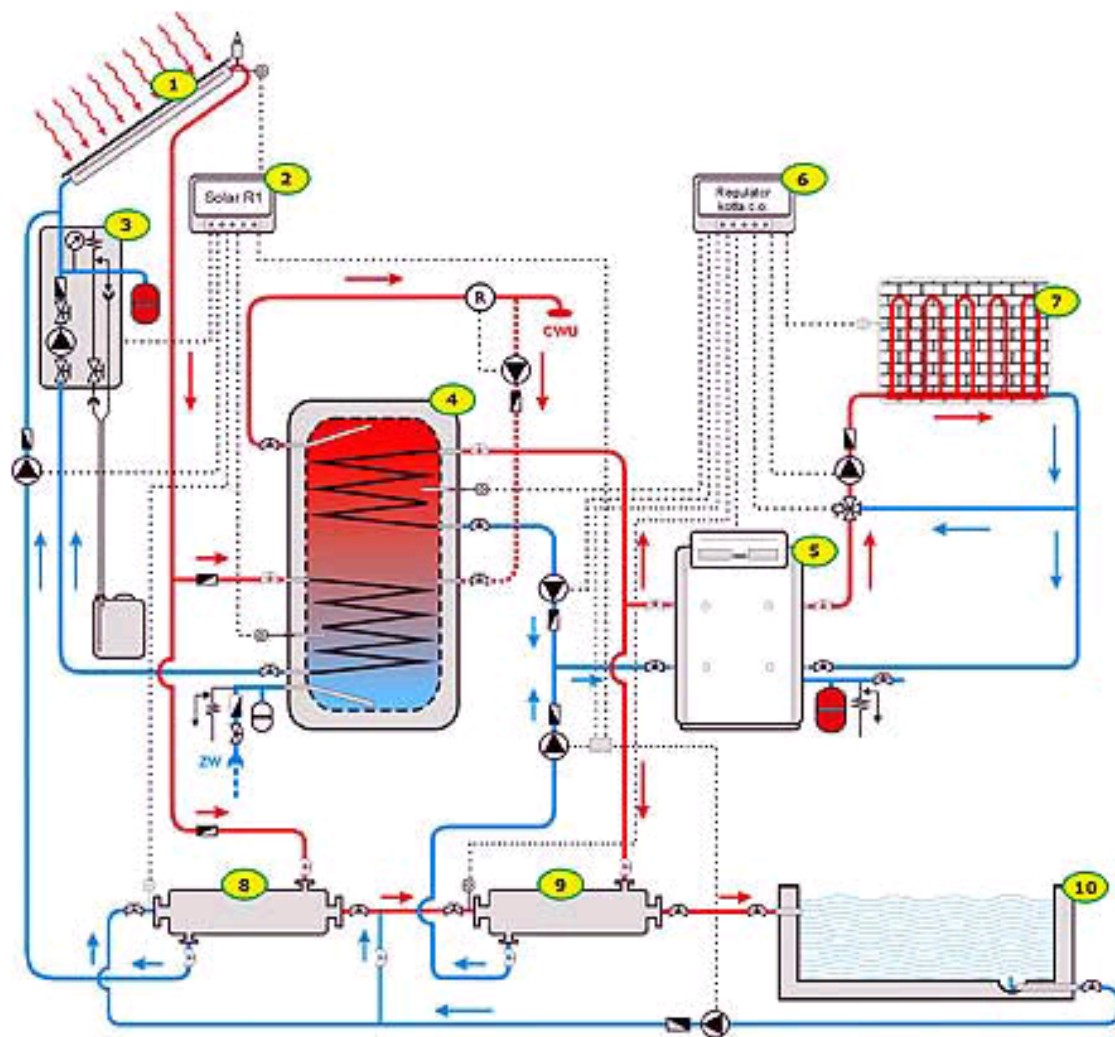
Zbiornik solarny jest przedzbiornikiem dla istniejącego zbiornika pojemnościowego cwu zasilanego kotłem c.o. W systemie zastosowano układ mieszający wodę między zbiornikami z uwagi na podobne pojemności zbiorników.

System solarny do ogrzewania wody basenowej.



Kolektory słoneczne ogrzewają wodę basenową wykorzystując do tego celu basenowy wymiennik przepływowy.

Solarna instalacja grzewcza do ogrzewania cwu i wody basenowej współpracująca z kotłem c.o.

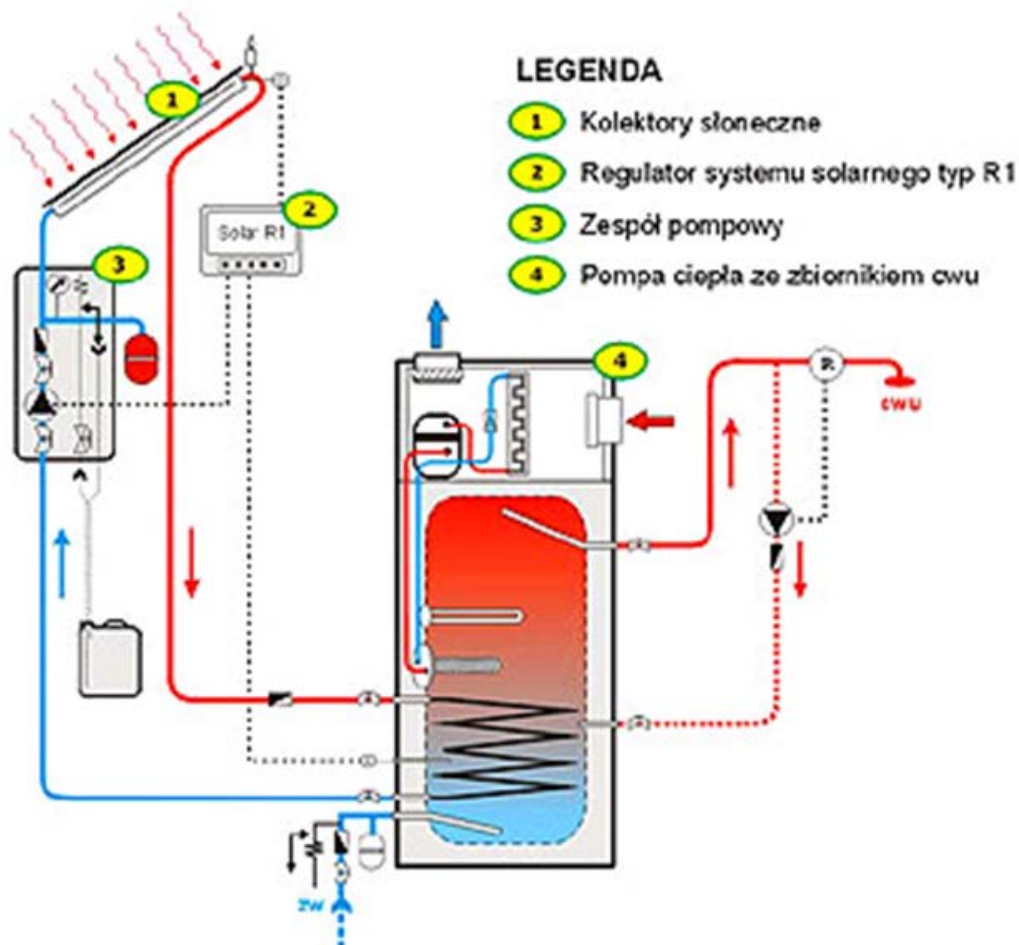


LEGENDA

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1 Kolektory słoneczne - PE 200S | 6 Regulator kotła c.o. |
| 2 Regulator systemu solarnego - typ R2 | 7 Obieg grzewczy c.o. |
| 3 Zespół pompowy - ZPZ xxx | 8 Wymiennik basenowy - solarny |
| 4 Zbiornik solarny cwu z 2 wężownicami - PE xxx 2WG | 9 Wymiennik basenowy - kotłowy |
| 5 Kocioł c.o. | 10 Basen kąpielowy |

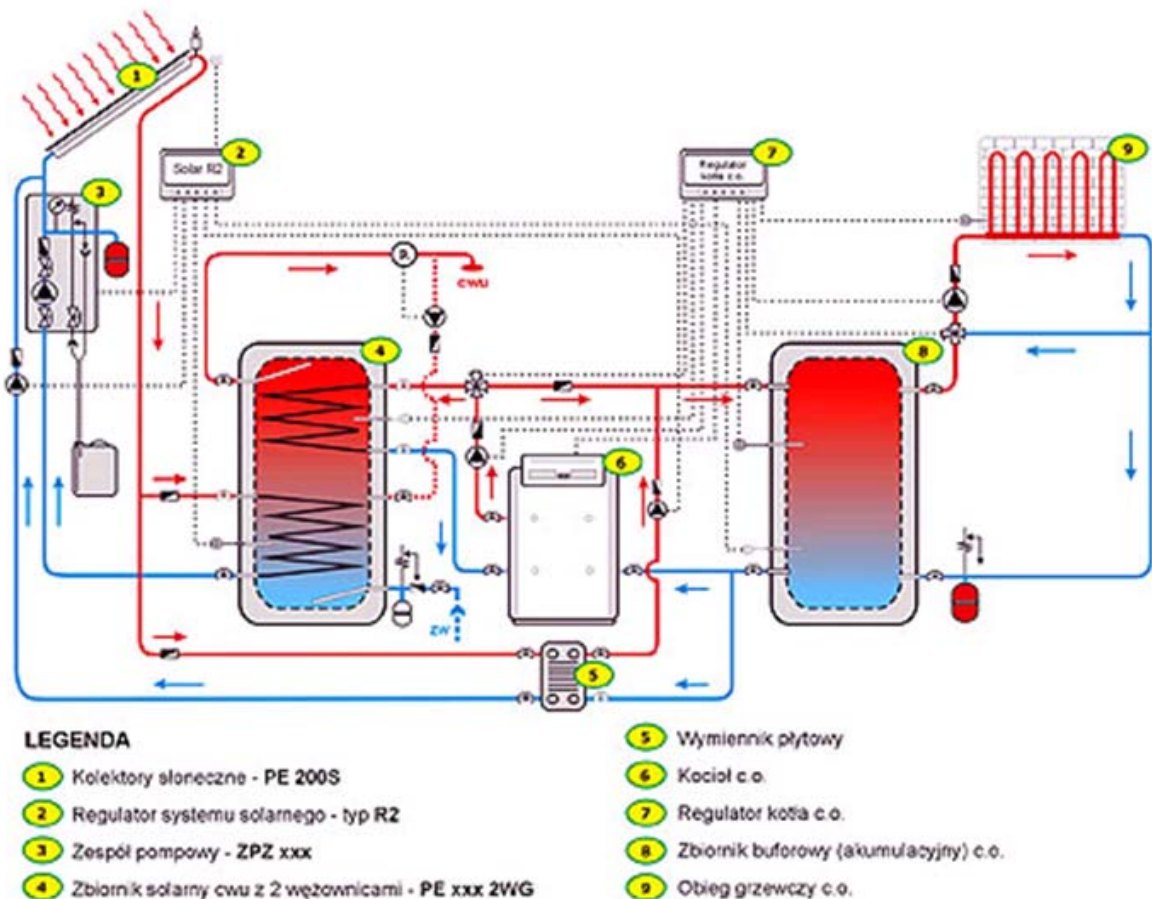
Kolektory słoneczne ogrzewają priorytetowo wodę użytkową, a następnie poprzez basenowy wymiennik przepływowy, ogrzewają wodę w basenie kąpielowym. Zadaniem kotła c.o. jest dogrzanie cwu lub wody basenowej.

Solarna instalacja grzewcza z pompą ciepła do cwu.



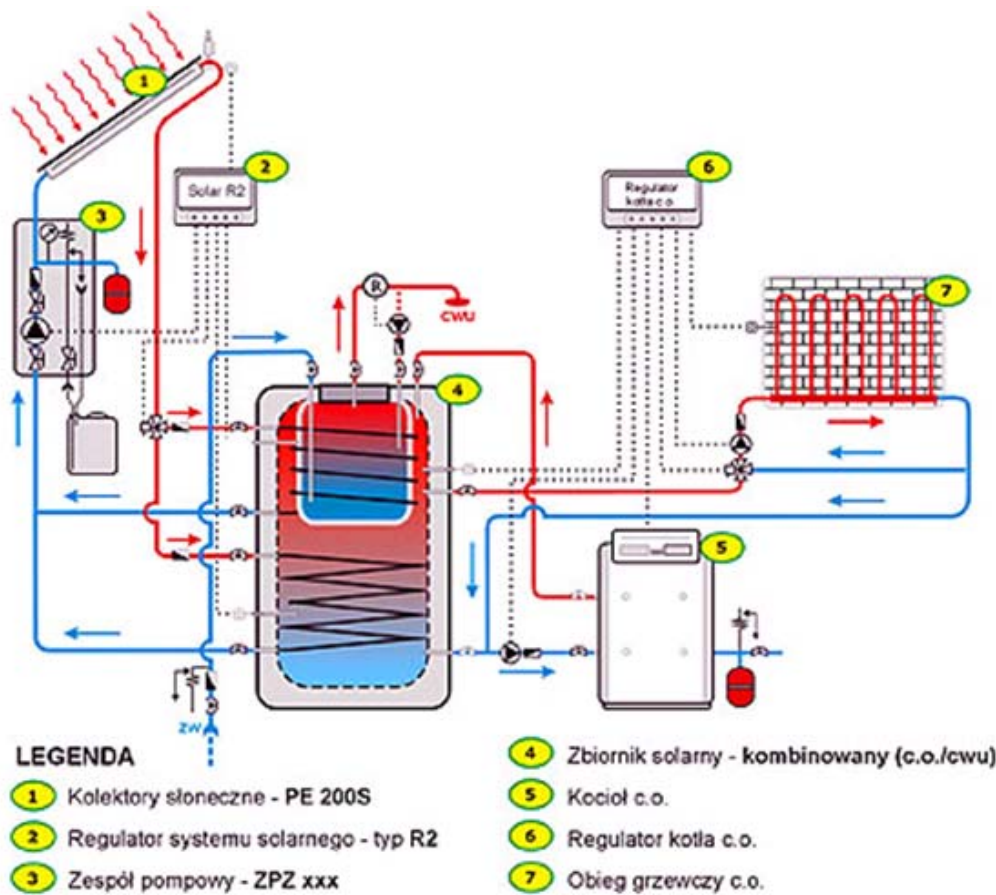
System solarny z pompą ciepła (typ powietrze/woda) posiadającą zabudowany zbiornik do cwu. Kolektory słoneczne ogrzewają cwu poprzez znajdującą się w zbiorniku wężownicę spiralną. Pompa ciepła zintegrowana ze zbiornikiem zapewnia dogrzewanie cwu odzyskując energię odpadową z wentylacji pomieszczeń.

Solarna instalacja grzewcza do cwu i wspomaganie c.o.



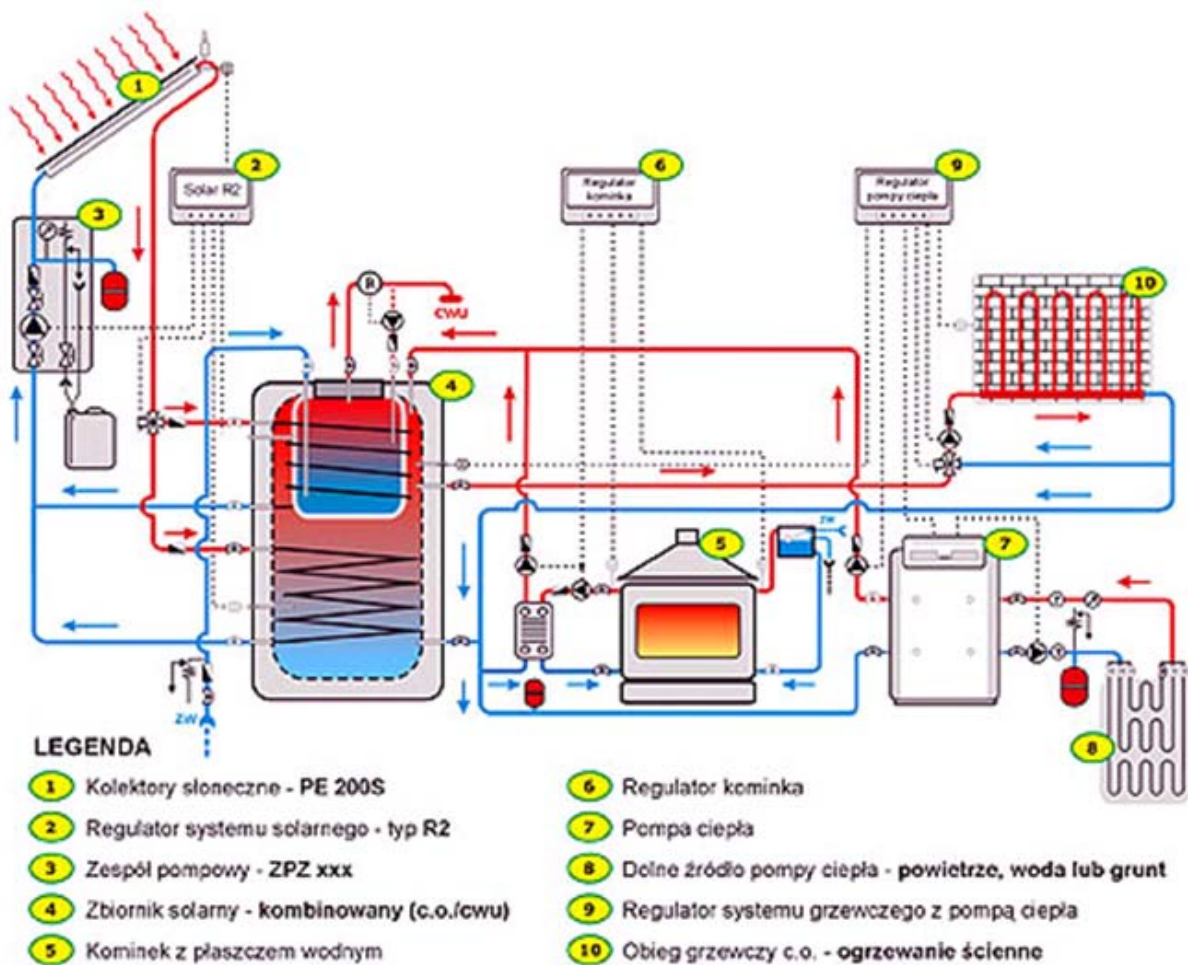
Kolektory słoneczne ogrzewają priorytetowo wodę użytkową w zbiorniku 2 wężownicowym cwu. Po nagrzaniu cwu kolektory wspomagają ogrzewanie zbiornika akumulacyjnego c.o. poprzez wymiennik płytowy. Dystrybucja ciepła na c.o. odbywa się ze zbiornika akumulacyjnego zasilanego z kolektorów i kotła c.o.

Biwalentny, niskotemperaturowy system grzewczy dla budynku jednorodzinnego.



System wykorzystuje kolektory słoneczne do ogrzewania cwu i wspomaganie centralnego ogrzewania. Kolektory słoneczne przekazują energię do zbiornika kombinowanego (c.o./cwu), z którego odbywa się dystrybucja ciepła na cwu i c.o. Zbiornik dogrzewany jest przez kocioł c.o.

Biwalentny, niskotemperaturowy system grzewczy dla budynku jednorodzinnego.



System wykorzystuje kolektory słoneczne, pompę ciepła, kominek z płaszczem wodnym do ogrzewania wody użytkowej oraz zasilania centralnego ogrzewania ściennego. Dystrybucja ciepła odbywa się ze zbiornika kombinowanego (c.o./cwu).

2.4. Kogeneracja

Ważniejsze określenia:

kogeneracja - równoczesne wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej lub mechanicznej w trakcie tego samego procesu technologicznego;

ciepło użytkowe w kogeneracji - ciepło wytwarzane w kogeneracji, służące zaspokojeniu niezbędnego zapotrzebowania na ciepło lub chłód, które gdyby nie było wytworzone w kogeneracji, zostałyby pozyskane z innych źródeł;

jednostka kogeneracji - wyodrębniony zespół urządzeń, który może wytwarzać energię elektryczną w energia elektryczna z kogeneracji - energia elektryczna wytwarzana w kogeneracji i obliczona jako:

a) całkowita roczna produkcja energii elektrycznej w jednostce kogeneracji w roku kalendarzowym, wytworzona ze średnioroczną sprawnością przemiany energii chemicznej paliwa w energię elektryczną lub mechaniczną i ciepło użytkowe w kogeneracji, co najmniej równą sprawności granicznej:

- 75% dla jednostki kogeneracji z urządzeniami typu: turbina parowa przeciwprężna, turbina gazowa z odzyskiem ciepła, silnik spalinowy, mikroturbina, silnik Stirlinga, ogniwo paliwowe, albo kogeneracji, opisany poprzez dane techniczne; - 80% dla jednostki kogeneracji z urządzeniami typu: układ gazowo-parowy z odzyskiem ciepła, turbina parowa upustowo-kondensacyjna, albo

b) iloczyn współczynnika i rocznej ilości ciepła użytkowego w kogeneracji wytworzonego ze średnioroczną sprawnością przemiany energii chemicznej paliwa w energię elektryczną lub mechaniczną i ciepło użytkowe w kogeneracji niższą niż sprawności graniczne, o których mowa w lit. a; współczynnik ten jest obliczany na podstawie pomiarów parametrów technologicznych jednostki kogeneracji, dla danego przedziału czasowego, i określa stosunek energii elektrycznej z kogeneracji do ciepła użytkowego w kogeneracji;

wysokosprawna kogeneracja - wytwarzanie energii elektrycznej lub mechanicznej i ciepła użytkowego w kogeneracji, które zapewnia oszczędność energii pierwotnej zużywanej w:

a) jednostce kogeneracji w wysokości nie mniejszej niż 10% w porównaniu z wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła w układach rozdzielonych o referencyjnych wartościach sprawności dla wytwarzania rozdzielonego lub

b) jednostce kogeneracji o mocy zainstalowanej elektrycznej poniżej 1 MW w porównaniu z wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła w układach rozdzielonych o referencyjnych wartościach sprawności dla wytwarzania rozdzielonego.

Porównanie przepływu energii produkowanej w tradycyjny sposób z systemami skojarzonego wytwarzania

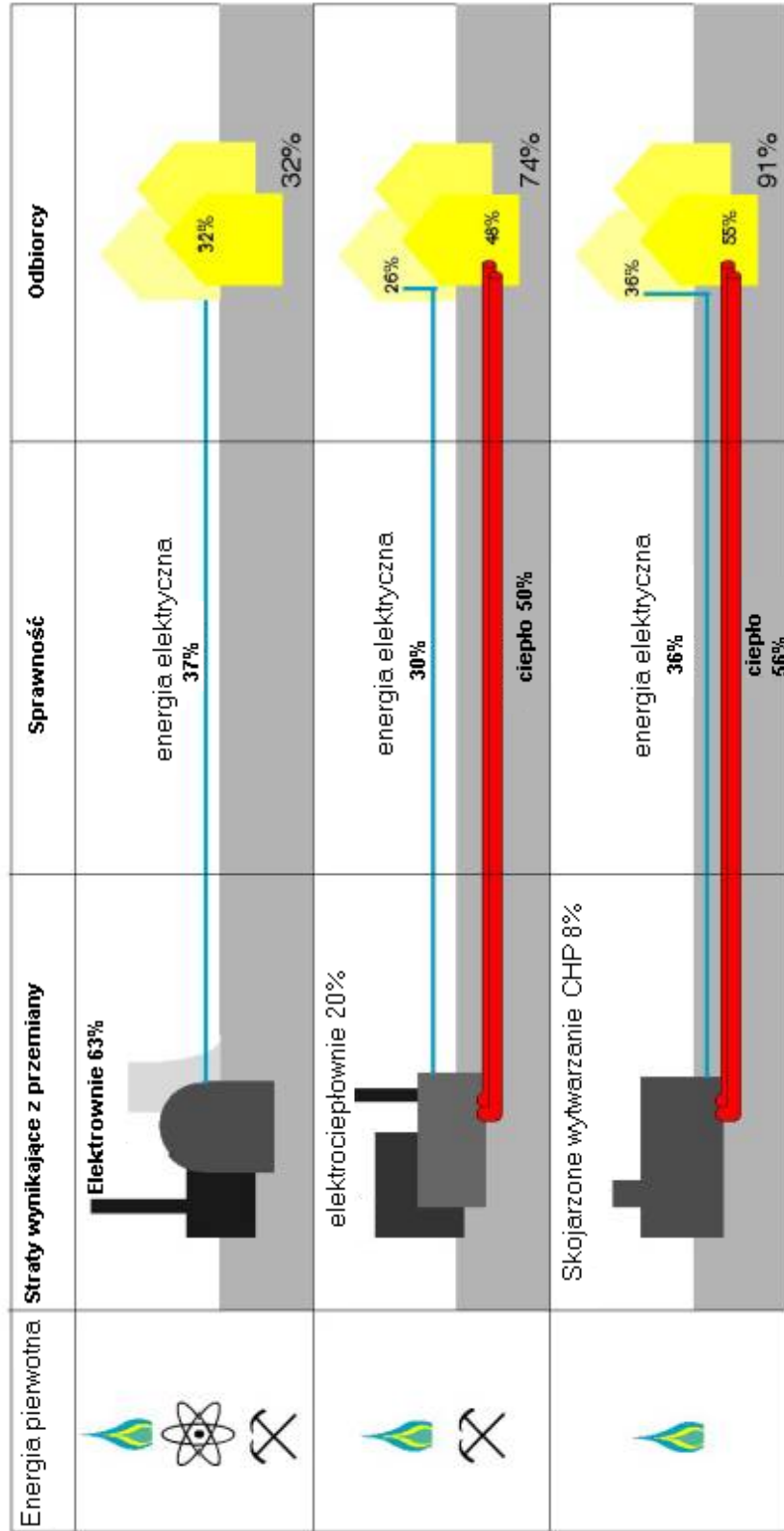
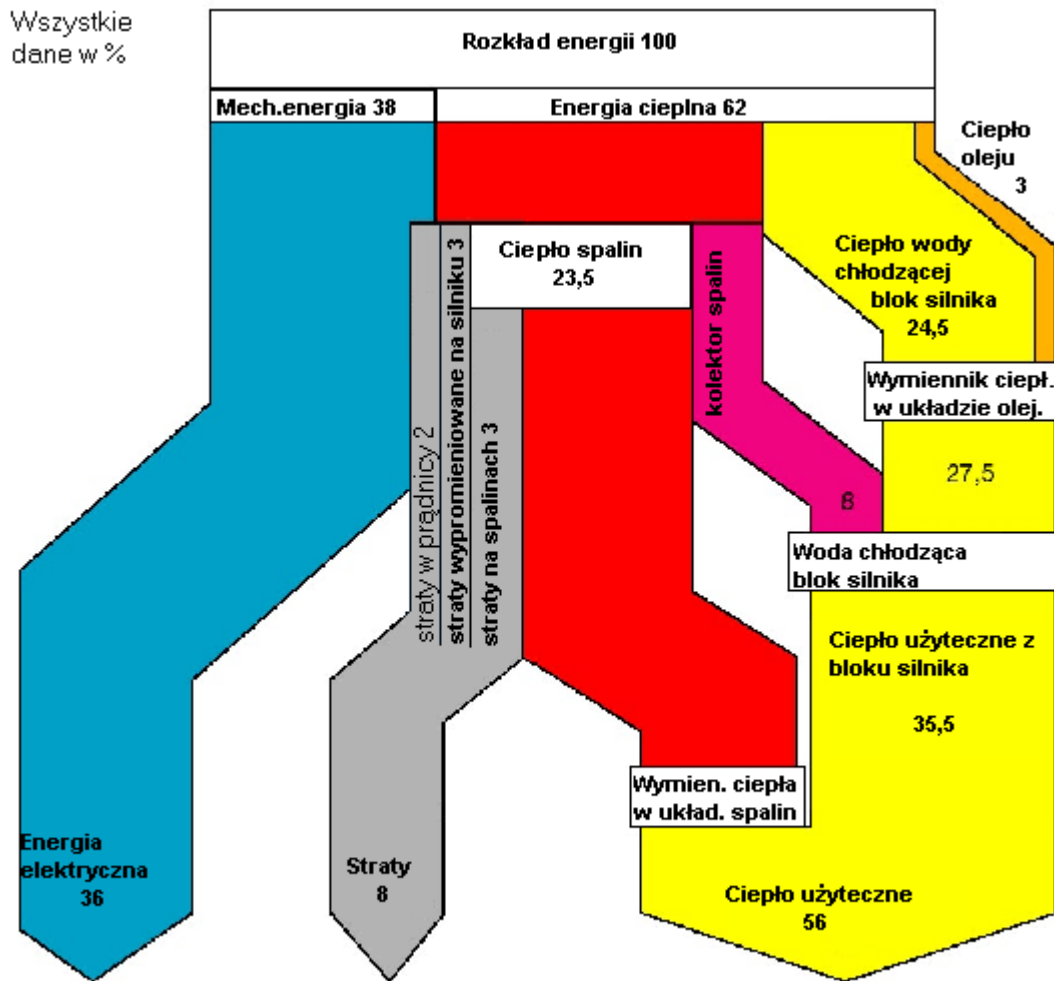
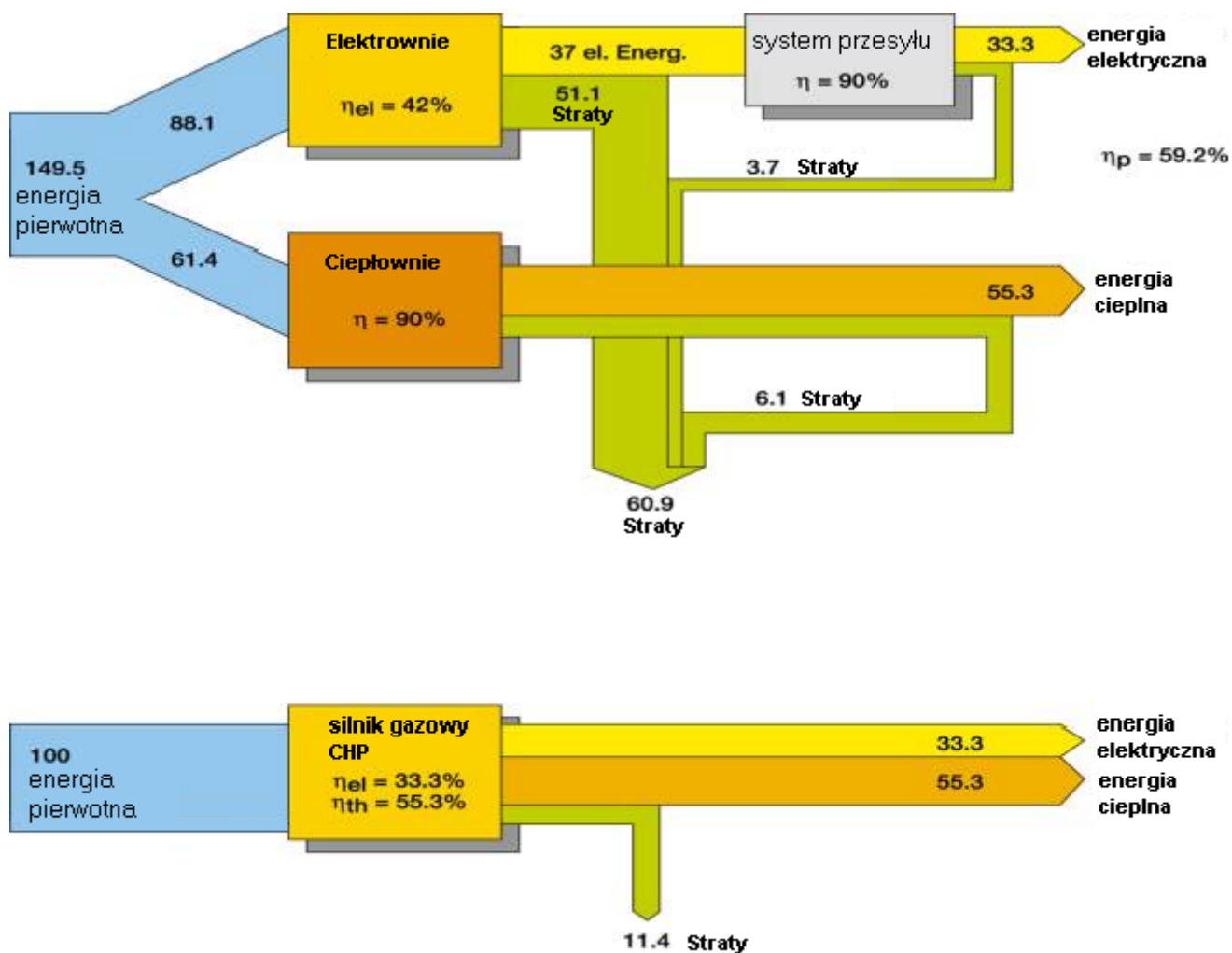


Diagram przepływu energii w silnikach gazowych modułów CHP



Bilans energetyczny konwencjonalnych systemów zasilania w porównaniu z systemami CHP



2.5. Ocena możliwości wykorzystania źródeł odnawialnych lub wysokosprawnej kogeneracji

Zasady finansowania ze środków Funduszu Termomodernizacji i Remontów części kosztów przedsięwzięć termomodernizacyjnych i remontowych określa Ustawa z dnia 21 listopada 2008 r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów.

Metodę wyboru optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego lokalnego źródła ciepła określa się na podstawie Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego.

Metoda sporządzania bilansu ciepła i wyznaczania efektów energetycznych dla lokalnego źródła ciepła

Bilans ciepła dla lokalnego źródła ciepła sporządza się, uwzględniając:

1) prognozę zapotrzebowania na moc cieplną i ciepło opracowaną na podstawie:

a) zapotrzebowania na ciepło przez odbiorców wynikającego z analizy zapotrzebowania wszystkich budynków zasilanych z lokalnego źródła, wykonanej dla każdego budynku oddzielnie na podstawie audytu energetycznego, pomiarów rzeczywistego zużycia z ubiegłych sezonów grzewczych lub obliczeń zgodnych z Polską Normą dotyczącą obliczania zapotrzebowania na ciepło lub zgodnie z rozporządzeniem dotyczącym sporządzania świadectw przy uwzględnieniu podjętych lub planowanych działań mających na celu zmniejszenie zużycia ciepła dostarczanego do budynków; analiza uwzględniać powinna planowane podłączenia nowych budynków i likwidację lub odłączenia istniejących budynków,

b) straty przesyłania ciepła w lokalnej sieci ciepłowniczej określone na podstawie audytu energetycznego,

c) potrzeby własne lokalnego źródła na cele grzewcze i przygotowania ciepłej wody użytkowej określone na podstawie audytu energetycznego lokalnego źródła ciepła;

2) sprawność eksploatacyjną lokalnego źródła ciepła wyznaczaną jako stosunek ilości wyprodukowanego (pozyskanego) ciepła do energii pierwotnej, rozumianej jako energia chemiczna spalonego paliwa.

Efekt energetyczny E_i (zmniejszenie strat energii pierwotnej) oblicza się ze wzoru:

$$E_i = \frac{\eta_i - \eta_w}{\eta_i \cdot (1 - \eta_w)} \cdot 100\%$$

gdzie:

η_w - sprawność eksploatacyjna źródła dla stanu przed termomodernizacją,

η_i - sprawność eksploatacyjna źródła dla rozpatrywanego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego.

Metoda obliczania kosztów wytwarzania ciepła i wyznaczania efektów ekonomicznych dla lokalnego źródła ciepła

1. Koszt wytwarzania ciepła składa się z kosztów stałych i kosztów zmiennych.

1) W kosztach stałych należy uwzględnić następujące pozycje: koszt stały zakupu ciepła, amortyzację, wynagrodzenia, koszty funduszu płac, koszty finansowe, koszty ogólne, remonty i konserwacje, oraz inne czynniki mające wpływ na wytworzenie kosztów stałych;

2) W kosztach zmiennych należy uwzględnić następujące pozycje: koszt zmienny zakupu ciepła, energię elektryczną, koszty zakupu paliwa, transport, opłaty za gospodarcze korzystanie ze środowiska.

2. Koszty zmienne wytwarzania ciepła w lokalnym źródle ciepła

Koszty zmienne wytwarzania ciepła w lokalnym źródle ciepła określone dla ostatniego roku rachunkowego poprzedzającego podjęcie przedsięwzięcia termomodernizacyjnego należy przeliczyć na warunki roku standardowego według wzoru:

$$K_s = K_r \cdot \frac{Sd - u_{cw} \cdot (Sd - Sd_r)}{Sd_r}$$

K_s - koszt zmienny w roku standardowym, zł/rok,

K_r - koszt zmienny w roku rzeczywistym, zł/rok,

Sd_r - liczba stopniodni w sezonie rzeczywistym (ostatni rok rachunkowy), dzień K/rok,

Sd - liczba stopniodni w sezonie standardowym, obliczona ze wzoru (3) w części 3 załącznika nr 1 do rozporządzenia, dzień.K/rok,

$$Sd = \sum_{m=1}^{L_g} [t_{wo} - t_e(m)] L_d(m) \quad , \quad [\text{dzień} \cdot \text{K/rok}]$$

gdzie:

t_{wo} - obliczeniowa temperatura powietrza wewnętrznego, określona zgodnie z Polską Normą dotyczącą temperatur ogrzewanych pomieszczeń w budynkach, w °C

$t_e(m)$ - średnia wieloletnia temperatura miesiąca m, a w przypadku stropów nad nieogrzewanymi piwnicami lub pod nie ogrzewanymi poddaszami – temperatura wynikająca z obliczeń bilansu cieplnego budynku, w °C,

$L_d(m)$ - liczba dni ogrzewania w miesiącu m, podana w tabeli 1 lub przyjęta zgodnie z danymi klimatycznymi i charakterystyką budynku dla danej lokalizacji.

L_g - liczba miesięcy ogrzewania w sezonie grzewczym,

Lp.	1.	Miesiąc											
		2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1.	Miejscowość	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
2.	Aleksandrowice	31	28	31	30	10	0	0	0	10	31	30	31
3.	Białystok	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
4.	Bydgoszcz	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
5.	Chojnice	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
6.	Częstochowa	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
7.	Elbląg	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
8.	Gdańsk	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31
9.	Gorzów Wlkp.	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
10.	Hel	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31
11.	Jelenia Góra	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
12.	Kalisz	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
13.	Kasprowy Wierch	31	28	31	30	20	0	0	0	20	31	30	31
14.	Katowice	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
15.	Kętrzyn	31	28	31	30	10	0	0	0	10	31	30	31
16.	Kielce	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
17.	Kłodzko	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
18.	Koło	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
19.	Kolobrzeg	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31
20.	Koszalin	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31
21.	Kraków	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31

u_{cw} - udział produkcji na potrzeby ciepłej wody użytkowej w całkowitej produkcji w roku rzeczywistym.

3. Efekty ekonomiczne dla wybranych wariantów przedsięwzięcia termomodernizacyjnego

Należy wyznaczyć jako różnicę kosztów wytwarzania (pozyskania) ciepła dla stanu wyjściowego i rozpatrywanego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego. Kalkulację kosztów przeprowadza się oddzielnie dla każdego roku objętego harmonogramem spłat inwestycji przy uwzględnieniu prognozy ilości ciepła wytwarzanego podanej w tabeli 1 części 2 załącznika nr 2 do rozporządzenia.

TABELA 1. WYBRANE I ZOPTYMALIZOWANE ULEPSZENIA TERMOMODERNIZACYJNE ZMIERZAJĄCE DO ZMNIEJSZENIA ZAPOTRZEBOWANIA NA CIEPŁO W WYNIKU ZMNIEJSZENIA STRAT PRZENIKANIA CIEPŁA PRZEZ PRZEGRODY BUDOWLANE ORAZ WARIANTY PRZEDSIĘWZIĘĆ TERMOMODERNIZACYJNYCH DOTYCZĄCYCH MODERNIZACJI SYSTEMU WENTYLACJI I SYSTEMU PRZYGOTOWANIA CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ, USZEREGOWANE WEDŁUG ROSNĄCEJ WARTOŚCI SPBT

Lp.	Rodzaj i zakres ulepszenia termomodernizacyjnego albo wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego	Planowane koszty robót [zł]	SPBT [lata]
1.	2.	3.	4.
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
n-1			
n			

Metoda wyboru optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego lokalnego źródła ciepła

Dla każdego rozpatrywanego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego oblicza się:

1) prosty czas zwrotu nakładów (SPBT) ze wzoru:

$$SPBT = N / \Delta O_{\text{tmin}}, [\text{lata}]$$

gdzie:

ΔOt_{min} - minimalny efekt ekonomiczny wybrany spośród efektów obliczonych dla poszczególnych lat spłaty kredytu, określonych w tabeli 1 części 3, zł/rok,
N- planowane koszty całkowite wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, w tym koszty opracowania audytu energetycznego i dokumentacji technicznej, zł;

2) zmniejszenie (w %) zapotrzebowania na ciepło w stosunku do stanu wyjściowego przed termomodernizacją, z uwzględnieniem sprawności całkowitej;

3) kwotę środków własnych i kwotę kredytu;

4) wysokość premii termomodernizacyjnej wg art. 5 ust. 1 i 2 ustawy.

2. Następnie sprawdza się spełnienie warunków określonych w art. 3 pkt 2, 3 lub 4 ustawy dotyczących oszczędności energii (efekt energetyczny), oraz zgodnie z art. 5 ustawy określa się wysokość premii termomodernizacyjnej dla przyjętych wysokości środków własnych.

Postępowanie powtarza się aż do znalezienia pierwszego wariantu spełniającego wszystkie warunki ustawy.

Art. 3. ustawy

Z tytułu realizacji przedsięwzięcia termomodernizacyjnego inwestorowi przysługuje premia na spłatę części kredytu zaciągniętego na przedsięwzięcie termomodernizacyjne, zwana dalej „premią termomodernizacyjną”, jeżeli z audytu energetycznego wynika, że w wyniku przedsięwzięcia termomodernizacyjnego nastąpi:

1) zmniejszenie rocznego zapotrzebowania na energię, o którym mowa w art. 2 pkt 2 lit. a:

a) w budynkach, w których modernizuje się wyłącznie system grzewczy - co najmniej o 10%,

b) w budynkach, w których po 1984 r. przeprowadzono modernizację systemu grzewczego - co najmniej o 15%,

c) w pozostałych budynkach - co najmniej o 25%, lub

2) zmniejszenie rocznych strat energii, o którym mowa w art. 2 pkt 2 lit. b - co najmniej o 25%, lub

3) zmniejszenie rocznych kosztów pozyskania ciepła, o którym mowa w art. 2 pkt 2 lit. c - co

najmniej o 20%, lub

4) zamiana źródła energii na źródło odnawialne lub zastosowanie wysokosprawnej kogeneracji.

Art. 5. ustawy

1. Wysokość premii termomodernizacyjnej stanowi 20% wykorzystanej kwoty kredytu zaciągniętego na realizację przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, z zastrzeżeniem ust. 2.

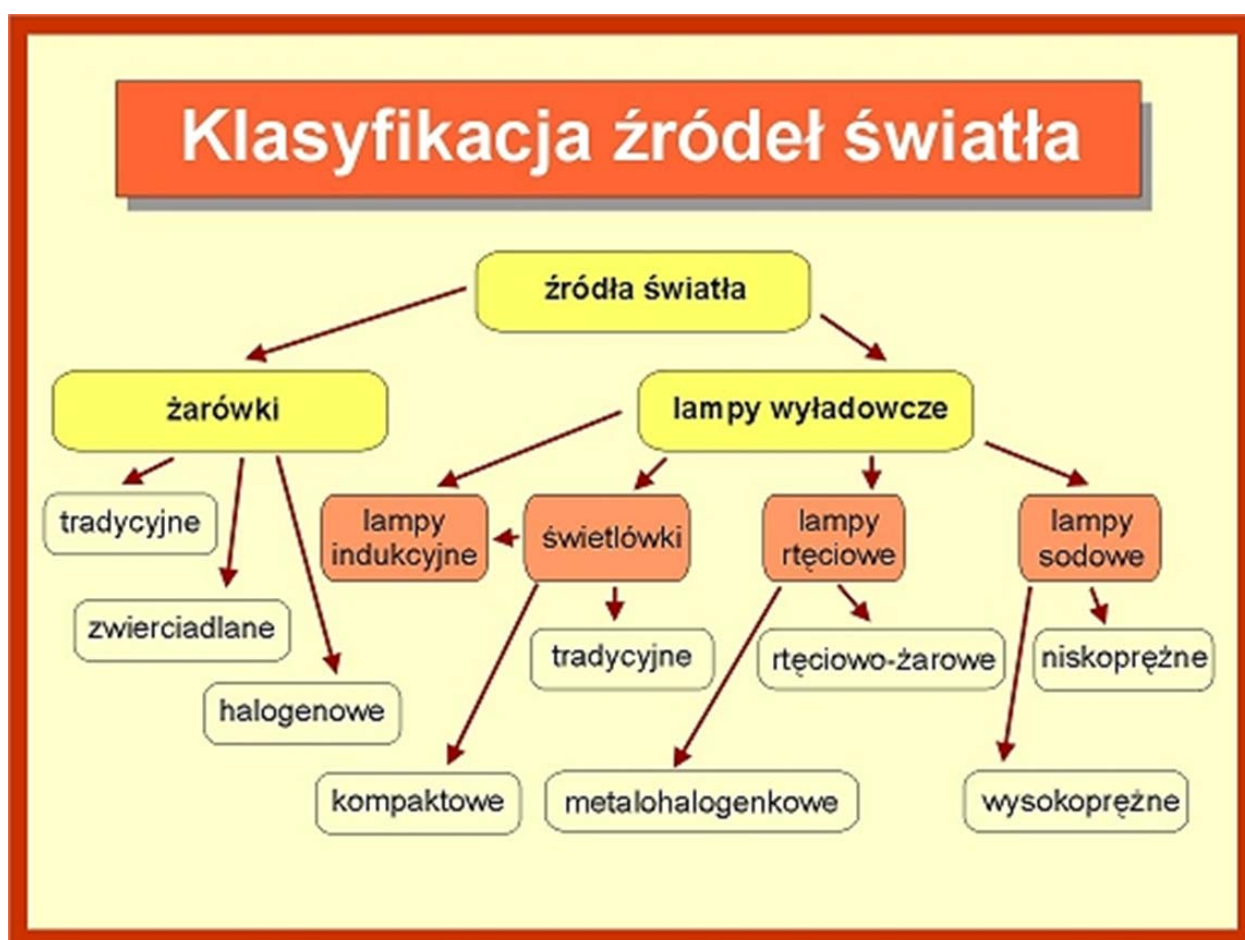
2. Wysokość premii termomodernizacyjnej nie może wynosić więcej niż:

1) 16% kosztów poniesionych na realizację przedsięwzięcia termomodernizacyjnego i

2) dwukrotność przewidywanych rocznych oszczędności kosztów energii, ustalonych na podstawie audytu energetycznego.

3. Ocena instalacji oświetleniowej w budynku

Właściwie dobrane oświetlenie sztuczne powinno stanowić dopełnienie światła naturalnego, pomagającego w zachowaniu dobrej koncentracji pracowników przez wiele godzin spędzanych w pracy. Po południu i wieczorem trzeba jednak korzystać ze światła sztucznego. Właściwie dobrane pomoże uniknąć zmęczenia, wynikającego z konieczności ciągłej adaptacji wzroku do różnego poziomu jasności w oświetlonych i ciemnych rejonach pomieszczenia biurowego.



Najczęściej w miejscach pracy stosuje się energooszczędne światłówki liniowe. To dobre rozwiązanie - dzięki nim pomieszczenia można oświetlić efektywnie i równomiernie, pod warunkiem jednak, że będą to światłówki dobrej jakości. Jednym z podstawowych parametrów określających jakość źródeł światła, jest wskaźnik

oddawania barw (Ra). Im wyższą ma wartość (maksymalnie 100), tym kolory oświetlonych przedmiotów są bardziej naturalne.

Norma dotycząca oświetlenia miejsc pracy (PN-EN 12464–1:2004) zaleca, aby w pomieszczeniach, gdzie przez dłuższy okres pracują lub przebywają ludzie, poziom Ra był nie niższy niż 80. Obecnie, w biurach wciąż spotyka się świetlówki starego typu, o niskim wskaźniku Ra. Światło, jakie emitują powoduje, że oświetlane przedmioty i osoby mają „niezdrowy”, blady wygląd, co męczy wzrok i niekorzystnie wpływa na samopoczucie.

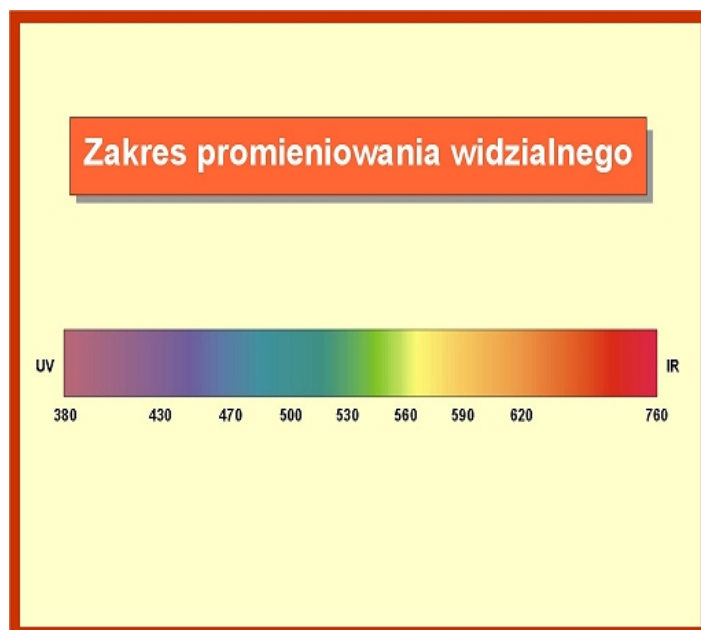
Zdrowszym produktem do oświetlenia przestrzeni biurowych są trójpasemowe świetlówki liniowe, dające światło o wysokim wskaźniku oddawania barw ($Ra > 85$). Istotne jest także to, że świetlówki liniowe są dostępne w wielu wersjach o różnych „temperaturach barwowych” emitowanego światła. W zależności od wystroju wnętrza oraz indywidualnych preferencji, można poprosić o zamontowanie w biurze świetlówek wytwarzających światło „cieplejsze” albo „chłodniejsze”. W pomieszczeniach, w których dostęp do światła dziennego jest ograniczony, szczególnie korzystne jest zastosowanie świetlówek o chłodniejszej, a więc zbliżonej do światła dziennego temperaturze barwowej. Świetlówki takie emitują światło białe z dużym udziałem światła niebieskiego (ich temperatura barwowa wynosi aż 8000 K).

Oprócz wysokiej jakości, trójpasemowe świetlówki liniowe cechuje także wysoka skuteczność świetlna – aż do 20% większa w porównaniu z tradycyjnymi rozwiązaniami (świetlówkami jednopasmowymi). Dzięki temu do uzyskania tego samego poziomu natężenia oświetlenia potrzeba mniejszej liczby źródeł światła. Oznacza to więc oszczędność energii bez ryzyka pogorszenia jakości światła. Dodatkowo, przy zastosowaniu statecznika elektronicznego, trwałość produktu sięga 20 000 godzin, co świadczy o większej trwałości źródła światła - nawet do 50% w porównaniu z tradycyjnymi produktami. Oznacza też rzadszą niż dotychczas wymianę świetlówek na nowe.

Podstawowe pojęcia techniki świetlnej

Światło jest promieniowaniem widzialnym (elektromagnetycznym) zdolnym do wywołania bezpośrednio wrażeń wzrokowych, z których wynika widzenie.

- Przyjmuje się, że promieniowanie widzialne zawiera się w przedziale $380 \div 760 \text{ nm}$



- **Strumień świetlny (Φ)** jest to ta część promieniowania optycznego emitowanego przez źródło światła, którą widzi oko ludzkie w jednostce czasu.

- **Światłość (I)** jest to gęstość kątowna strumienia świetlnego źródła światła w danym kierunku.

Światłość charakteryzuje rozsył strumienia świetlnego w przestrzeni, czyli ilość strumienia świetlnego wysyłanego przez źródło światła w niewielkim kącie bryłowym otaczającym określony kierunek.

Światłość wyznacza się ze wzoru:

$$I = \Phi / \omega,$$

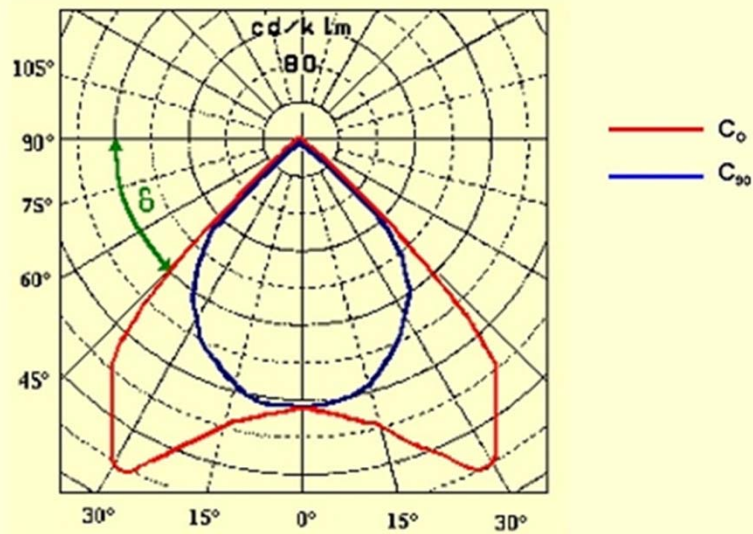
gdzie:

ω jest to kąt bryłowy, który na powierzchni kuli o promieniu r , zakreślonej z wierzchołka tego kąta, ogranicza pole $S = r^2$.

Jednostką światłości jest kandela $cd = lm/sr$,

gdzie: sr - steradian to jednostka kąta bryłowego.

Przykładowa krzywa światłości świetłówkowej oprawy oświetlenia ogólnego przeznaczanej do oświetlania stanowisk z komputerami, zaznaczonym kątem ochrony (δ)

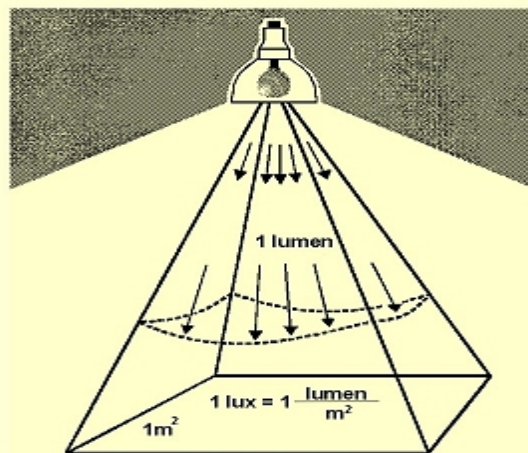


- **Natężenie oświetlenia (E)** jest to gęstość powierzchniowa strumienia świetlnego padającego na daną płaszczyznę, czyli jest to stosunek strumienia świetlnego padającego na płaszczyznę do jej pola powierzchni

$$E = \Phi / S.$$

Jednostką natężenia oświetlenia jest **luks (lx)**, gdzie: $lx = lm/m^2$.

Graficzne przedstawienie jednostki natężenia oświetlenia



- **Luminancja (L)** jest to fizyczna miara jaskrawości. Zależy ona od:
 - natężenia oświetlenia na obserwowanym obiekcie,
 - właściwości odbiciowych powierzchni obiektu (barwa, stopień chropowatości)

- oraz od jego pola pozornej powierzchni świecącej.

Pozorna powierzchnia świecąca jest to wielkość postrzeganej przez obserwatora powierzchni płaszczyzny świecącej uzależniona od kierunku jej obserwacji.

Luminancja wyrażana jest wzorem: $L = \rho E / p$

Jednostką luminancji jest cd/m^2 .

- **Pozorna powierzchnia świecąca** jest to zarówno:
 - płaszczyzna świecąca w sposób bezpośredni - oprawa oświetleniowa,
 - jak i płaszczyzna świecąca w sposób pośredni, np. ściana, przez odbicie światła.

Wówczas gdy kąt pomiędzy prostą do powierzchni świecącej a kierunkiem obserwacji wynosi 0° , pole pozornej powierzchni świecącej równe jest polu powierzchni świecącej.

W miarę wzrostu ww. kąta, pole pozornej powierzchni świecącej zmniejsza się zgodnie z cosinusem tego kąta, aż do kąta 90° , kiedy wynosi zero.



- **Barwa światła i oddawanie barw**

Barwę światła określa się za pomocą tzw. temperatury barwowej (T_c) i podaje się ją w kelwinach, K.

Źródła, które emitują białą barwę światła, można podzielić, w zależności od ich temperatury barwowej, na trzy grupy:

- ciepłobiała (ciepła),
- neutralna (chłodnobiała)
- i dzienna (zimna).

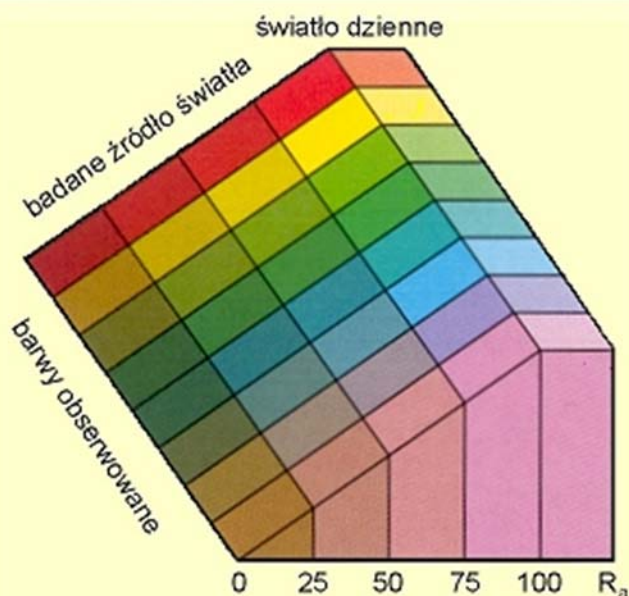


W zależności od wykonywanych czynności zaleca się stosowanie źródeł światła o wskaźniku oddawania barw Ra:

- **bardzo dużym, $Ra \geq 90$** , dla stanowisk pracy, na których rozróżnianie barw ma zasadnicze znaczenie, jak np. kontrola barwy, przemysł tekstylny i poligraficzny, sklepy
- **dużym, $90 > Ra \geq 80$** biura, przemysł tekstylny, precyzyjny, w salach szkolnych i wykładowych
- **średnim oraz ewentualnie małym, $80 > Ra \geq 40$** , inne prace, jak np. walcownie, kuźnie, magazyny, kotłownie, odlewnie, młyny oraz wszędzie tam, gdzie rozróżnianie barw nie ma zasadniczego lub istotnego znaczenia.

We wnętrzach, w których ludzie pracują albo przebywają dłuższy czas, zaleca się stosowanie źródła światła o wskaźniku oddawania barw większym od 80.

Wrażenie w oddawaniu barw



3.1. Określenie zapotrzebowania na energię na potrzeby oświetlenia wbudowanego

Roczne zapotrzebowanie na energię końcową na oświetlenie $E_{K,L}$

Roczne zapotrzebowanie na energię końcową na oświetlenie $E_{K,L}$ oblicza się według wzoru:

$$E_{K,L} = E_{L,j} \cdot A_f, \text{ kWh/rok}$$

gdzie:

$E_{L,j}$ - roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię do oświetlenia j-tego pomieszczenia, straty na sieci rozpraszającej i na przełącznikach w budynku są pomijane, kWh/(m²rok)

Roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię użytkowa do oświetlenia $E_{L,j}$ w poszczególnych pomieszczeniach lub budynku oblicza się według wzoru:

$$E_L = F_C \cdot P_N / 1000 \cdot [(t_D \cdot F_O \cdot F_D) + (t_N \cdot F_O)] \text{ kWh/m}^2\text{rok}$$

gdzie:

P_N - moc jednostkowa opraw oświetlenia podstawowego wbudowanego w danym wnętrzu lub budynku użyteczności publicznej przyjmowana na podstawie projektu oświetlenia budynku lub na podstawie § 180a przepisów techniczno-budowlanych, W/m²

t_D - czas użytkowania oświetlenia w ciągu dnia, zgodnie z tabelą, h/rok

t_N - czas użytkowania oświetlenia w ciągu nocy, zgodnie z tabelą, h/rok

F_C - współczynnik uwzględniający obniżenie natężenia oświetlenia do poziomu wymaganego, obliczany ze wzoru. W przypadku braku regulacji prowadzącej do utrzymywania natężenia oświetlenia na poziomie wymaganym wartość współczynnika F_C wynosi 1

F_O - współczynnik uwzględniający nieobecność użytkowników w miejscu pracy, zgodnie z tabelą

F_D - współczynnik uwzględniający wykorzystanie światła dziennego w oświetleniu, zgodnie z tabelą

Uwaga: jeżeli istnieje kilka wydzielonych instalacji oświetleniowych, obliczenia przeprowadza się oddzielnie dla każdego przypadku.

Wartości cząstkowe uwzględnione we wzorze należy wyznaczać w oparciu o:

- obowiązujące przepisy,
- dokumentację techniczną budynku i instalacji oraz urządzeń elektrycznych,
- wiedzę techniczną oraz wizję lokalną obiektu,
- dostępne dane katalogowe urządzeń i elementów instalacji oświetleniowej.

W przypadku braku danych dla budynków istniejących można korzystać odpowiednio z tabel.

Roczne uśrednione czasy użytkowania oświetlenia w budynkach niemieszkalnych

Lp.	Typ budynku	Czas użytkowania oświetlenia w ciągu roku [h/rok]		
		t_D	t_N	t_O
1	Biura	2250	250	2500
2	Szkoły	1800	200	2000
3	Szpitale	3000	2000	5000
4	Budynki gastronomii i usług	1250	1250	2500
5	Dworce kolejowe, lotniska, muzea, hale wystawiennicze	2000	2000	4000
6	Budynki handlowe	3000	2000	5000

Uwzględnienie wpływu światła dziennego w budynkach

Lp.	Typ budynku	Rodzaj regulacji ¹⁾	F_D
1	Biura, dworce kolejowe, lotniska, muzea, hale wystawiennicze	Ręczna	1.0
		Regulacja światła z uwzględnieniem światła dziennego	0.9
2	Budynki handlowe, budynki gastronomii i usług	Ręczna	1.0
3	Szkoły, szpitale	Ręczna	1.0
		Regulacja światła z uwzględnieniem światła dziennego	0.8

¹⁾ założono, że co najmniej 60 % mocy instalowanej jest sterowane.

Uwzględnienie wpływu nieobecności pracowników w miejscu pracy

Lp.	Typ budynku	Rodzaj regulacji	F ₀
1	Biura, szkoły	Ręczna	1.0
		Automatyczna ¹⁾	0.9
2	Budynki handlowe, gastronomii i usług, dworce kolejowe, lotniska, muzea, hale wystawiennicze	Ręczna	1.0
3	Szpitala	Ręczna (częściowo automat.)	0.8

¹⁾ - W przypadku automatycznej regulacji co najmniej jeden czujnik obecności powinien być zainstalowany w pomieszczeniu, a w pomieszczeniach dużych co najmniej jeden czujnik obecności na 30 m². Założono, że w przypadku automatycznej regulacji co najmniej 60 % mocy instalowanej jest sterowane.

Współczynnik uwzględniający obniżenie poziomu natężenia oświetlenia do poziomu wymaganego

Współczynnik uwzględniający obniżenie poziomu natężenia oświetlenia do poziomu wymaganego oblicza się według wzoru:

$$F_C = (1 + MF)/2$$

gdzie:

MF - współczynnik utrzymania poziomu natężenia oświetlenia, przyjmowany na podstawie projektu, gdy stosowana jest regulacja natężenia oświetlenia, w praktyce jego wartość wynosi przeważnie 0,8-0,9; gdy nie zastosowano regulacji to przyjmuje się 1,0.

Średnia ważona moc jednostkowa budynku ocenianego P_N i średnio ważone zapotrzebowanie na energię elektryczną użytkową E_{LO} oświetlenia wbudowanego w budynku ocenianym

Średnią ważoną moc jednostkową budynku ocenianego P_N i średnio ważone zapotrzebowanie na energię elektryczną użytkową E_{LO} oświetlenia wbudowanego w budynku ocenianym oblicza się według wzorów:

$$P_N = [\sum(P_j \cdot A_{fj})] / \sum A_f \text{ W/m}^2$$

gdzie:

P_j - moc jednostkowa opraw oświetlenia podstawowego zainstalowana w j-tym Pomieszczeniu, W/m²
A_{fj} - powierzchnia użytkowa j-tego pomieszczenia, m²

$$E_L = [\sum_j (E_{L,j} \cdot A_{f,j})] / \sum A_f \text{ kWh/(m}^2\text{rok)}$$

gdzie:

E_{L,j} - roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię do oświetlenia j-tego pomieszczenia, straty na sieci rozpraszającej i na przełącznikach w budynku są pomijane, kWh/(m²rok).

3.2. Referencyjny system oświetlenia wbudowanego budynku

Referencyjny system oświetlenia wbudowanego budynku odpowiada wymogom przepisów techniczno-budowlanych dotyczących oświetlenia, a czasy użytkowania w ciągu roku odpowiadają danym zawartym w tabeli i jest

zaopatrywany w energię elektryczną z sieci elektroenergetycznej systemowej, której parametry referencyjne są następujące: $w_{Ei} = 3,0$. Przykładowe budynki podano w tabeli poniżej.

Lp.	Rodzaj budynku lub lokalu	Maksymalna wartość jednostkowej mocy oświetlenia $P_{N,Ref}$ [W/m ²]	$E_{K,L,Ref}$ [kWh/(m ² rok)]	$EP_{L,Ref}$ [kWh/(m ² rok)]
1	Biura	20	45	135
2	Szkoły	20	40	120
3	Szpitala	25	80	240
4	Restauracje	25	60	180
5	Sportowo-rekreacyjne	20	50	150
6	Handlowo-usługowe	25	75	225

Objaśnienia:

a) dla każdego przypadku indywidualnego należy wartość referencyjną $EP_{L,Ref}$ wyznaczyć indywidualnie, określając maksymalną jednostkową moc elektryczną oświetlenia z tabeli i czasy działania na podstawie projektu lub pomiarów jak dla budynku ocenianego;

b) $E_{K,L,Ref}$ – referencyjne roczne jednostkowe zużycie energii elektrycznej końcowej dla oświetlenia wbudowanego;

c) $EP_{L,Ref}$ – referencyjne roczne jednostkowe zużycie energii pierwotnej dla oświetlenia wbudowanego.

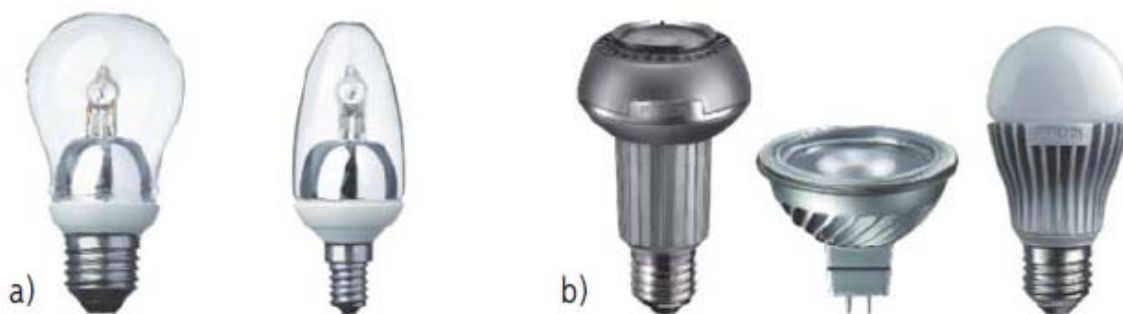
Możliwości oszczędzania energii elektrycznej

Zużycie energii elektrycznej na oświetlenie gospodarstw domowych stanowi aż 34% zużycia energii na oświetlenie we wszystkich sektorach gospodarki. Więcej energii na oświetlenie zużywają jedynie odbiorcy instytucjonalni – 37%. Natomiast przemysł na cele oświetleniowe zużywa 23% energii, a rolnictwo i transport po 3%. Niestety, znaczna część istniejących instalacji oświetleniowych powstała w latach 70. i jest nieefektywna energetycznie, a szacowane tempo jej modernizacji to 7% w skali roku. Istotnym problemem jest również wykorzystywanie do celów oświetleniowych nieekonomicznych źródeł światła. Dotyczy to szczególnie gospodarstw domowych, w których stosuje się tradycyjne żarówki.

Skuteczność świetlna żarówek jest najniższa spośród wszystkich elektrycznych źródeł światła i wynosi $8 \div 17$ lm/W. Natomiast skuteczność świetlna świetlówek przekracza już wartość 100 lm/W.



Przykładowe kształty świetlówek kompaktowych



Rys. 2. Przykładowe kształty energooszczędnych źródeł światła: żarówek halogenowych (a) i z diodami świecącymi (b)

Źródło światła	Cena źródła	Koszt zużytej energii w ciągu roku	Roczna oszczędność kosztów zużytej energii elektrycznej	Roczny koszt całkowity	Zysk w ciągu roku przy stosowaniu świetlówki kompaktowej
Żarówka 100 W	0,80	61,50	49,20	62,30	26,20
Świetlówka kompaktowa Ambiance 20 W	23,80	12,30		36,10	

Przykład oszczędności kosztów zużycia energii elektrycznej (w zł dane z 2008 r.)

Wymiana źródeł światła

Źródło światła „stare”	Źródło światła „nowe”	Oszczędność energii elektrycznej (%)
Żarówka gł. szeregu 100W/100W/1250lm/1000h*	Świetlówka 40W/Ø38 40W/50W/2560lm/>6000h	76,4
Żarówka gł. szeregu 100W/100W/1250lm/1000h	Świetlówka 36W/Ø26 36W/46W/3000lm/7500h	80,8
Żarówka gł. szeregu 100W/100W/1250lm/1000h	Świetlówka 36W/Ø26 st. (statecznik elektroniczny) 36W/36W/3200lm/10000h	85,9
Żarówka gł. szeregu 100W/100W/1250lm/1000h	Świetlówka kompaktowa ze statecznikiem indukcyjnym 18W/24W/1200lm/8000h	75
Żarówka gł. szeregu 100W/100W/1250lm/1000h	Świetlówka kompaktowa ze statecznikiem elektronicznym 20W/20W/1200lm/8000h	79,2
Rtęciówka 250W/271W/11500lm/6000h	Sodówka z mieszaniną Pheninga 210W/231W/19000lm/7000h	45,7
Rtęciówka 250W/271W/11500lm/6000h	Sodówka 250W/281W/27000lm/15000h	55,8

Sposoby inwestycyjne i eksploatacyjne

- optymalny wybór sprzętu oświetleniowego
 - źródła światła o wysokiej skuteczności świetlnej,
 - oprawy o odpowiednich systemach optycznych,
 - sprzęt stabilizacyjno-zapłonowy
- optymalny wybór systemu oświetlenia (mieszane z dużym udziałem miejscowego)
- optymalna eksploatacja:
 - czystość opraw,
 - wymiana źródeł światła,
 - odpowiednie współczynniki odbiciowe w pomieszczeniach
- wykorzystanie światła dziennego.

Układy sterowania oświetleniem

Potrzeba stosowania regulacji strumienia świetlnego wynika ze względów:

- ekonomicznych (oszczędność energii),
- estetycznych (iluminacja i oświetlenie widowiskowe),
- funkcjonalnych (audytoria, sale wykładowe).

Stosowane są 2 sposoby regulacji (ściemniania):

- skokowa
- ciągła

Dwa systemowe sposoby ściemniania:

1. poprzez obniżenie napięcia zasilającego (zalecany głównie do żarówek konwencjonalnych).

Obniżenie U powoduje zmianę temperatury barwowej Tc w kierunku barw cieplejszych (więcej czerwieni), co jest wadą tej metody.

2. poprzez elektroniczną regulację wartości prądu lampy (lamp) – wymaga specjalnych stateczników do świetlówek.

Szeroka oferta producentów ściemniaczy i systemów oszczędności energii do różnych rodzajów źródeł światła.

Możliwość stosowania czujników ruchu i inteligentnych systemów zał./wył. oświetlenia sterownikami.

Zastosowania systemu sterowania oświetleniem obejmują:

- załączanie w funkcji czasu,
- załączanie w zależności od natężenia oświetlenia zewnętrznego,
- utrzymywanie stałego natężenia oświetlenia,
- załączanie w zależności od obecności ludzi,
- realizację wielu funkcji centralnego załączania dla dowolnie wybranych fragmentów budynku,
- pełną kontrolę oświetlenia z pomieszczenia ochrony budynku.

4. Metodyka obliczania kosztów wytwarzania energii elektrycznej i/lub ciepła

Metoda zastosowana przez UE

$$COE = \frac{SCI \cdot (1 + IDC) \cdot CRF}{8760 \cdot LF} + \frac{FOM}{8760 \cdot LF} + VOM + FC + CC + CTS$$

$$COH = \frac{SCI \cdot CRF}{8760 \cdot LF} + RCH = \frac{SCI \cdot CRF}{8760 \cdot LF} + \frac{FOM}{8760 \cdot LF} + VOM + FC$$

gdzie:

COE – jednostkowy równoważny koszt wytwarzania energii elektrycznej, w €/ (MW□h); COH – jednostkowy równoważny koszt wytwarzania ciepła, w €/toe; SCI – jednostkowe nakłady inwestycyjne na obiekt wytwórczy, w €/MW lub w €/toe; IDC – oprocentowanie nakładów inwestycyjnych w czasie budowy obiektu;

CRF – rata kapitałowa (stopa zwrotu kapitału); LF – roczny stopień wykorzystania zdolności wytwórczej obiektu; FOM – równoważne roczne stałe koszty eksploatacyjne, w €/MW lub w €/toe; VOM – równoważne jednostkowe koszty eksploatacyjne zmienne, w €/ (MW□h) lub w €/toe; FC – równoważne jednostkowe koszty paliwa, w €/ (MW□h) lub w €/toe; CC – równoważne jednostkowe koszty emisji CO₂, w €/ (MW□h); CTS – równoważne jednostkowe koszty transportu i składowania wychwyconego CO₂, w €/ (MW□h).

Charakterystyka wybranych technologii wytwarzania energii elektrycznej

Technologia	Moc jednostek, MW	Sprawność netto, %		Czas budowy, lat	Czas eksploatacji, lat	Jednostkowe nakłady inwestycyjne ¹ , € ₂₀₀₅ /kW	Koszty utrzymania i remontów (VOM + FOM), € ₂₀₀₅ /kW	Emisja gazów cieplarnianych (GHG), kg CO ₂ /(MWh)		
		w 2007 ² r.	w 2030 r.					bezpośrednia	pośrednia	całkowita ³
Generacja scentralizowana										
Elektrownie z turbinami gazowymi ⁴	250	38	45	1	25	200÷400	6÷13	530	110	640
Elektrownie gazowo-parowe	650	58	65	3	25	480÷730	19÷26	350	70	420
Jw. z CCS ⁵	550	49	55	4	25	1000÷1300	37÷44	60	85	145
Elektrownie na węglu kamiennym z kotłami pyłowymi	800 ⁶	47	54	3	40	1000÷1440	50÷67	725	95	820
Jw. z CCS	500	35	42	4	40	1700÷2700	76÷101	145	125	270
Elektrownie na węglu kamiennym z kotłami fluidalnymi	300	40	50	3	40	1250÷1500	62÷71	850	110	960
Elektrownie gazowo-parowe zintegrowane ze zgazowaniem węgla	675	45	57	4	40	1400÷1650	61÷79	755	100	855
Jw. z CCS	600	35	47	4	40	1700÷2400	74÷95	145	125	270
Elektrownie jądrowe	1600	35	36	6	40	1970÷3380	74÷107	0	15	15
Duże elektrownie wodne	75÷250	85	95	4	50	1230÷4500	40÷75	0	6	6
Generacja rozproszona										
Agregaty z silnikami Diesla	5+10000 kW	45	48	1	25	550+1350	29÷63	595	95	690
Małe elektrownie wodne	< 5 (10)	80	90	3	50	2500+6600	85÷130	0	6	6

Technologia	Moc jednostek, MW	Sprawność netto, %		Czas budowy, lat	Czas eksploatacji, lat	Jednostkowe nakłady inwestycyjne ⁷ , € ₂₀₀₅ /kW	Koszty utrzymania i remontów (VOM + FOM), € ₂₀₀₅ /kW	Emisja gazów cieplarnianych (GHG), kg CO ₂ /(MWh)		
		w 2007 ⁸ r.	w 2030 r.					bezpośrednia	pośrednia	całkowita ⁹
Systemy fotowoltaiczne	1+100 kW ¹⁰	10	20	0	25	4100+6900	72÷114	0	45	45
Systemy heliometryczne ¹¹	-10	40	45	2	40	4000+6000	111÷121	120	15	135
Elektrownie wiatrowe na lądzie	3+100	40	45	1	20	1000+1370	33÷42	0	11	11
Elektrownie wiatrowe na morzu	100+300	45	50	2	20	1750+2750	71÷105	0	14	14
Elektrownie na biomasę	-5	22	26	2	30	2900+5080	124÷292	6	15÷36	21÷42
Elektrownie biogazowe	300 kW	29	33	1	25	2960+5790	237÷334	5	1÷240	6÷245
Elektrownie na biogaz składowiskowy	4,4	34	36	1	25	1400÷2000	199÷211	?	?	?

Koszty wytwarzania energii elektrycznej

Źródło (nośnik) energii pierwotnej	Technologia pozyskiwania energii	Jednostkowe koszty wytwarzania energii elektrycznej ¹² , $\epsilon_{2005}/(\text{MWh})$										Wrażliwość na zmiany cen paliw*
		w 2007 r.		w 2020 r.			w 2030 r.					
		S 1 ¹³	S 2 ¹⁴	S 1	S 2	S 1	S 2	S 1	S 2			
Gaz ziemny	Elektrownie z turbinami gazowymi (GT)	65+75	80+90	90+95	145+155	90+100	160+165	90+100	160+165	90+100	160+165	Bardzo wysoka
	Elektrownie gazowo - parowe (CCGT)	50+60	60+70	65+75	105+115	70+80	115+125	70+80	115+125	70+80	115+125	Bardzo wysoka
Ropa naftowa	CCGT z instalacją wychwytywania i składowania CO ₂ (CCS)	-	-	85+95	130+140	80+90	140+150	80+90	140+150	80+90	140+150	Bardzo wysoka
	Agregaty z silnikami Diesla	100+125	125+145	140+165	200+220	140+160	230+250	140+160	230+250	140+160	230+250	Bardzo wysoka
	Cykl kombinowany gazowo-parowy	95+105	115+125	125+135	175+185	125+135	200+205	125+135	200+205	125+135	200+205	Bardzo wysoka
	Elektrownie na węglu kamiennym z kotłami pyłowymi (PCC)	40+50	40+55	65+80	80+95	65+80	85+100	65+80	85+100	65+80	85+100	Średnia
Węgiel	PCC z instalacją CCS	-	-	80+105	100+125	75+100	100+120	75+100	100+120	75+100	100+120	Średnia
	Elektrownie na węglu kamiennym z kotłami fluidalnymi (CFBC)	45+55	50+60	75+85	95+105	75+85	95+105	75+85	95+105	75+85	95+105	Średnia
Atom	Elektrownie gazowo - parowe zintegrowane ze zgazowaniem węgla (IGCC)	45+55	50+60	70+80	85+95	70+80	85+95	70+80	85+95	70+80	85+95	Średnia
	IGCC z instalacją CCS	-	-	75+90	95+110	65+85	90+105	65+85	90+105	65+85	90+105	Średnia
Biomasa	Rozszczepianie atomu	50+85	55+90	45+80	55+90	45+80	55+85	45+80	55+85	45+80	55+85	Niska
	Biogaz	80+195	80+195	85+200	90+215	85+205	95+220	85+205	95+220	85+205	95+220	Średnia
Wiatr	Farmy na lądzie	55+215	55+215	50+200	50+200	50+190	50+190	50+190	50+190	50+190	50+190	Średnia
	Farmy na morzu	75+110	75+110	55+90	55+90	50+85	50+85	50+85	50+85	50+85	50+85	Brak
Woda	Duże elektrownie	85+140	85+140	65+115	65+115	50+95	50+95	50+95	50+95	50+95	50+95	Brak
	Małe elektrownie	35+145	35+145	30+140	30+140	30+130	30+130	30+130	30+130	30+130	30+130	Brak
Słońce	Ogniwa fotowoltaiczne	60+185	60+185	55+160	55+160	50+140	50+140	50+140	50+140	50+140	50+140	Brak
	Elektrownie heliometryczne (CSP)	520+880	520+880	270+460	270+460	170+300	170+300	170+300	170+300	170+300	170+300	Brak
		170+250	170+250	110+160	130+180	100+140	120+160	100+140	120+160	100+140	120+160	Niska

* - zastosowano tutaj kryterium udziału kosztów paliwa jednostkowym koszcie wytwarzania energii elektrycznej ((FC) > 60% - wrażliwość bardzo wysoka, 60%) ((FC) > 40% - wysoka, 40%) ((FC) > 20% - średnia, (FC) < 20% - niska.

Charakterystyka wybranych technologii wytwarzania ciepła

Technologia	Moc jednostek, kW	Sprawność, %	Czas eksploatacji, lat	Jednostkowe nakłady inwestycyjne, € ₂₀₀₅ /kW	Koszty utrzymania i rem., € ₂₀₀₅ /kW	Emisja gazów cieplarnianych (GHG), t CO ₂ /toe		
						bezpośrednia	pośrednia	całkowita
Kotły wodne gazowe	20÷75	86÷89	17	95÷135	9÷14	2,5	0,7	3,2
Kotły wodne olejowe	20÷75	86	17	160÷425	11÷19	3,5	0,6	4,1
Kotły wodne węglowe	50	75	17	310÷410	12÷15	5,4	0,7	6,1
Biomasa – zrębki	35÷50	79	17	325÷665	14÷25	0,0	0,3	0,3
Biomasa - pellety	15÷50	84	17	300÷1080	13÷38	0,0	0,7	0,7
Kolektory słoneczne	3,5	98	20	340÷2800	-	0,0	0,3	0,3
Geotermalne pompy ciepła	15÷100		17÷25	200÷1150	34÷69	0,0	0,2÷5,9	0,2÷5,9
Ogrzewanie elektryczne	2÷20	97÷100	10÷17	30÷300	-	0,0	0,7÷15,2	0,7÷15,2

Koszt wytwarzania ciepła w 2007 roku

Źródło (nośnik) energii	Udział w UE 27, %	Umiarkowany wzrost cen paliw				Scenariusz wysokich cen paliw			
		Cena paliwa z podatkiem		Koszt produkcji ciepła		Cena paliwa z podatkiem		Koszt produkcji ciepła	
		€ ₂₀₀₅ /toe	€ ₂₀₀₅ /toe	bieżący	całkowity	€ ₂₀₀₅ /toe	€ ₂₀₀₅ /toe	bieżący	całkowity
Paliwa kopalne	45,4	625	750÷950	1050÷1300	1010	1125÷1400	1425÷1750		
		640	800÷1100	1325÷2025	1030	1200÷1600	1775÷2525		
		375	675÷750	1500÷1825	590	975÷1025	1775÷2100		
Biomasa, słońce i inne	11,6	390	700÷900	1550÷2650	410	725÷925	1575÷2675		
		580	900÷1300	1675÷4125	610	925÷1350	1700÷4175		
		-	275÷300	1350÷9125	-	275÷300	1350÷9125		
		-	525÷900	1025÷3625	-	650÷1100	1150÷3775		
Elektryczna	12,3	1470	1500÷1575	1600÷2475	1875	1925÷1975	2025÷2900		

Bibliografia:

- Red. P. Klemm, Budownictwo ogólne, Fizyka budowli, Arkady, Warszawa 2005;
- K. Kurtz, D. Gawin, Ochrona cieplna budynków w polskich przepisach normalizacyjnych i prawnych, PWSBiA, Warszawa 2007;
- K. Kurtz, D. Gawin, Certyfikacja energetyczna budynków mieszkalnych z przykładami, Wrocławskie Wydawnictwo Naukowe Atla 2, Wrocław 2009;
- D. Gawin, H. Sabinia, ArCADiasoft Chudzik sp. j., Świadczenia charakterystyki energetycznej – praktyczny poradnik, wyd. drugie, ArCADiasoft Chudzik sp. j., Łódź 2009;
 - A. Szkarowski, L. Łatowski, Ciepłownictwo, WNT Warszawa 2006;
 - A. Kmiec: Procesy cieplne i aparaty. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005;
 - Strona internetowa www.ogrzewnictwo.pl;
 - Strona internetowa www.kotly.pl
 - KOSZTY WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ I CIEPŁA WEDŁUG UNII EUROPEJSKIEJ, Autorzy: Józef Paska, Mariusz Sałek, Tomasz Surma („Rynek Energii” – nr 4/2010)
 - Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej (Dz. U. Nr 201, poz. 1240);
 - USTAWA z dnia 21 listopada 2008 r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów;
 - ROZPORZĄDZENIE MINISTRA INFRASTRUKTURY z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego;
 - Nauka o pracy – bezpieczeństwo, higiena, ergonomia, Pakiet edukacyjny dla szkół wyższych, Wyd. Centralny Instytut Ochrony Pracy – PIB, Warszawa 2006;
 - Przyszłość oświetlenia elektrycznego – poprawa efektywności energetycznej, mgr inż. Andrzej Pawlak Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy;
 - PN-EN ISO 13789:2008 Ciepłne właściwości użytkowe budynków. Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie i wentylację. Metody obliczania;
 - PN-EN ISO 14683:2007 Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne;
 - PN-EN ISO 13370:2008 Ciepłne właściwości użytkowe budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metody obliczania;
 - PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania;
 - PN-EN 12524:2003 Materiały i wyroby budowlane – Właściwości cieplnowilgotnościowe – Stabelaryzowane wartości obliczeniowe