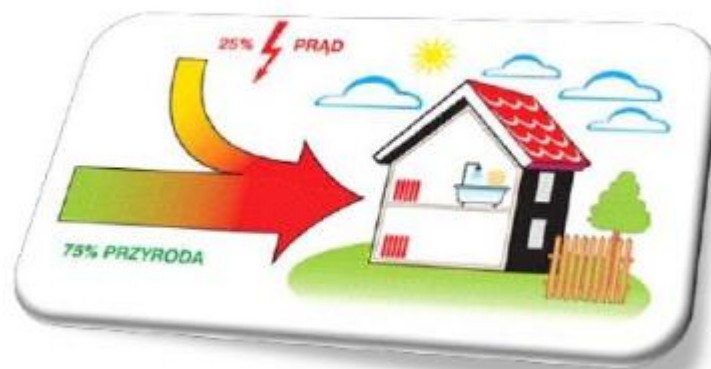


Podstawy energetyki cieplnej - ĆWICZENIA



Zadanie 1

**Wiatr wieje z prędkością 20 m/s.
Podaj prędkość wiatru w km/h.**

Zadanie 1

Wiatr wieje z prędkością 20 m/s.
Podaj prędkość wiatru w km/h.

20 m/s = ... km/h ?

Rozwiązanie:

$$20 \text{ m/s} \times (1 \text{ km} / 1\,000 \text{ m}) \times (3\,600 \text{ s} / 1 \text{ h}) = \mathbf{72 \text{ km/h}}$$

**Manometr wskazuje ciśnienie 2 bar.
Podaj wartość ciśnienia w MPa.**

Manometr wskazuje ciśnienie 2 bar.
 Podaj wartość ciśnienia w MPa.

2 bar = ... Mpa ?

Rozwiązanie:

1 bar = 0,1 MPa = 100 000 Pa lub 1 MPa = 10 bar

2 bar = 0,2 MPa

1 MPa – 10 bar

x MPa – 2 bar

$x = 1 \text{ MPa} \times 2 \text{ bar} / 10 \text{ bar}$

$x = 2 / 10 \text{ MPa} = 0,2 \text{ MPa}$

Równoważniki stosowanych jednostek ciśnienia

Jednostka wyjściowa	Paskal Pa = N/m ²	Bar bar	mm H ₂ O mm H ₂ O	Atmosfera techniczna at	Atmosfera fizyczna atm	Tor Tr
1 Pa = 1 N/m ²	1	10 ⁻⁵	0,102	1,02·10 ⁻⁵	9,869·10 ⁻⁵	7,501·10 ⁻³
1 bar = 10 ⁵ Pa	10 ⁵	1	10 197,2	1,0197	0,9869	750,06
1 mm H ₂ O *	9,807	9,807·10 ⁻⁵	1	10 ⁻⁴	9,678·10 ⁻⁵	7,356·10 ⁻²
1 at = 1 kg/cm ²	98 066,6	0,9807	10 ⁴	1	0,9678	735,56
1 atm **	101 325	1,01325	10 332,27	1,0332	1	760
1 Tr ***	133,322	1,333·10 ⁻³	13,595	1,359·10 ⁻³	1,316·10 ⁻³	1

* 1 mm H₂O odpowiada 1 kg/m², ** 1 atm odpowiada 760 mm Hg, *** 1 Tr odpowiada 1 mm Hg

**Ciepło właściwe wody wynosi 4,190 kJ/kgK.
Podaj jego wartość w Wh/kgK**

Zadanie 3

Ciepło właściwe wody wynosi 4,190 kJ/kgK.

Podaj jego wartość w Wh/kgK

4,190 kJ/kgK = ... Wh/kgK ?

Rozwiązanie:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J} / 1 \text{ s}$$

$$\underline{1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}}$$

$$\underline{1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}}$$

$$4,190 \text{ kJ/kgK} = 4,190 \text{ kWs/kgK}$$

$$4,190 \text{ kWs/kgK} \times (1 \text{ h} / 3600 \text{ s}) =$$

$$= 4,190 / 3600 \text{ kWh/kgK} \times 1000 =$$

$$= 4,190 \times 1000 / 3600 = \mathbf{1,163 \text{ Wh/kgK}}$$

Rys. Ciepło właściwe różnych substancji.

Substancja	Ciepło właściwe	
	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	$\frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Aluminium	900	0,25
Stop miedzi i cyny	380	0,106
Żeliwo	544	0,15
Miedź	390	0,108
Stop miedzi i cynku	390	0,108
Stal	460	0,128
Stal nierdzewna	500	0,139
Cynk	395	0,11
Polietylen (PE-X)	2310	0,642
Poli-1-buten (PB)	1500	0,417
Polipropylen (PP)	2000	0,555
Poli(chlorek winylu) (PVC)	980	0,272
Olej opałowy EL	2070	0,575
Woda	4190	1,163
Lód	2050	0,57
Para wodna	1900	0,528
Powietrze	1224	0,34

Zadanie 4

Ile wyniesie natężenie przepływu wody dla dwóch instalacji zaprojektowanych na różne temperatury wody grzewczej. W obu instalacjach moc grzewcza pompy ciepła wynosi 15 kW.

Przypadek 1: grzejniki, temperatura wody zasilającej ogrzewania wynosi 50°C, na powrocie 40°C (50/40).

Przypadek 2: ogrzewanie podłogowe, temperatura wody na zasilaniu 35°C, na powrocie 28°C (35/28).

Zadanie 4

Rozwiązanie 1:

Grzejniki

$$\Phi = 15 \text{ [kW]} = 15\,000 \text{ [W]}$$

$$dT = 50 - 40 = 10 \text{ [}^\circ\text{C]} = \mathbf{10 \text{ [K]}}$$

$$\dot{m} = ? \text{ [kg/h]}$$

$$\Phi = \dot{m} \times c \times dT$$

$$\dot{m} = \Phi / (c \times dT)$$

$$\dot{m} = 15\,000 / (1,163 \times \mathbf{10}) = 1289,77$$

$$\text{W} / (\text{Wh/kgK} \times \text{K}) = 1 / \text{h/kg} = \text{kg/h}$$

$$\dot{m} = \mathbf{1\,290 \text{ [kg/h]}}$$

Zadanie 4

Rozwiązanie 2:

Ogrzewanie podłogowe

$$\Phi = 15 \text{ [kW]} = 15\,000 \text{ [W]}$$

$$dT = 35 - 28 = 7 \text{ [}^\circ\text{C]} = 7 \text{ [K]}$$

$$\dot{m} = ? \text{ [kg/h]}$$

$$\Phi = \dot{m} \times c \times dT$$

$$\dot{m} = \Phi / (c \times dT)$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= 15\,000 / (1,163 \times 7) = 1842,53 \\ \text{W} / (\text{Wh/kgK} \times \text{K}) &= 1 / \text{h/kg} = \text{kg/h} \end{aligned}$$

$$\dot{m} = 1\,843 \text{ [kg/h]}$$

Zadanie 5

Z jaką mocą grzewczą pracuje kocioł, jeśli woda zasilająca ogrzewanie ma temperaturę 55°C , powracająca z instalacji: 45°C . Natężenie przepływu wynosi $0,6\text{ kg/s}$.

Zadanie 5

Rozwiązanie:

$$dT = 55 - 45 = 10 [^{\circ}\text{C}] = 10 [\text{K}]$$

$$\dot{m} = 0,6 [\text{kg/s}]$$

$$\Phi = ? [\text{W}]$$

$$\Phi = \dot{m} \times c \times dT$$

$$\Phi = \dot{m} \times c \times dT = 0,6 [\text{kg/s}] \times 1,163 [\text{Wh/kgK}] \times 10 \text{ K}$$

$$0,6 [\text{kg/s}] \times 3600 [\text{s/1h}] = 2160 [\text{kg/h}]$$

$$\Phi = \dot{m} \times c \times dT = 2160 [\text{kg/h}] \times 1,163 [\text{Wh/kgK}] \times 10 \text{ K}$$

$\text{kg/h} \times \text{Wh/kgK} \times \text{K} = \text{W}$

$$\Phi = 25\,120,8 [\text{W}] = 25,1 [\text{kW}]$$

Ile czasu zajmie ogrzewanie wody od temperatury 10°C do 45°C i do 60°C, w zbiorniku o pojemności 300 litrów, gdy moc grzewcza źródła ciepła wynosi 10 kW?

Zadanie 6

Rozwiązane

$$\Phi = 10 \text{ kW}$$

$$m = 300 \text{ l} = 300 \text{ kg}$$

$$t_1 = 10^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 45^\circ / 60^\circ\text{C}$$

$$\Phi = Q / t \quad [\text{W}]$$

$$\Phi = (m \times c \times dT) / t$$

$$t = (m \times c \times dT) / \Phi$$

$$t_{45} = \left(\frac{300 \times 1,163 \times (45 - 10)}{10\,000} \right) \times 60 \text{ min} / 1 \text{ h} = \underline{73 \text{ min}}$$

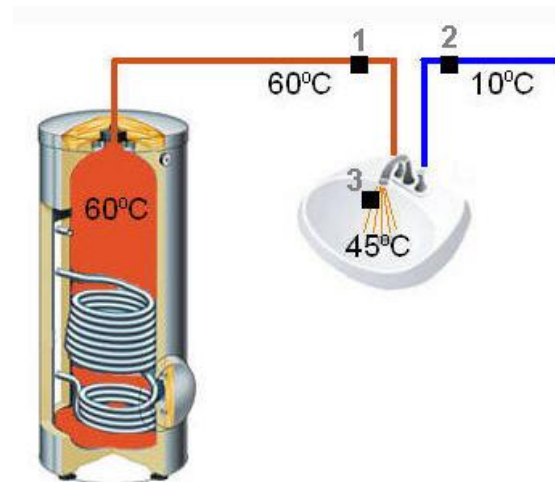
[(kg x Wh/(kgxK) x K) / W = h x 60 min/1h = min]

$$t_{60} = \left(\frac{300 \times 1,163 \times (60 - 10)}{10\,000} \right) \times 60 = \underline{104 \text{ min}}$$

**W zbiorniku c.w.u. znajduje się woda o temperaturze 60°C .
Z baterii umywalkowej wypływa woda o temperaturze 45°C w ilości 9 l/min .**

Zimna woda wodociągowa ma temperaturę 10°C .

- 1. Ile „gorącej” wody pobierane jest ze zbiornika c.w.u., a ile zimnej wody wodociągowej ?**
- 2. Jaka ilość wody zostanie pobrana ze zbiornika i wypłynie z baterii, w ciągu 10 minut ?**



Zadanie 7

Rozwiązane, cz1:

$$t_1 = 60^{\circ}\text{C}; t_2 = 10^{\circ}\text{C}; t_3 = 45^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{m}_3 = 9 \text{ l/min} = 9 \text{ kg/min}$$

$$\dot{m}_1 = ?; \dot{m}_2 = ?$$

$$Q = \dot{m} \times c \times T$$

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

$$Q_3 = Q_1 + Q_2$$

Dalej bez kropek – dla ułatwienia zapisu...

$$m_3 \times c \times t_3 = m_1 \times c \times t_1 + m_2 \times c \times t_2$$

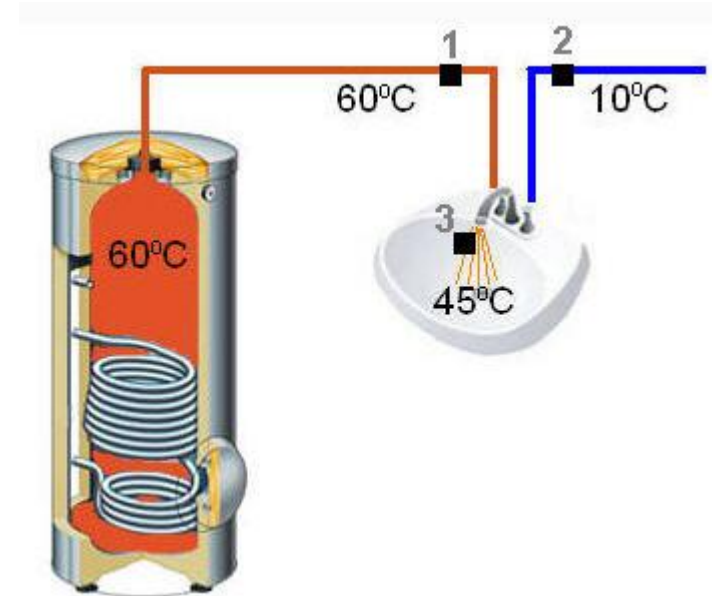
$$m_3 = m_1 + m_2 \Rightarrow \mathbf{m_2 = m_3 - m_1}$$

$$m_3 \times t_3 = m_1 \times t_1 + (m_3 - m_1) \times t_2$$

$$m_3 \times t_3 = m_1 \times t_1 + m_3 \times t_2 - m_1 \times t_2$$

$$m_3 \times t_3 - m_3 \times t_2 = m_1 \times (t_1 - t_2)$$

$$\mathbf{m_1 = m_3 \times (t_3 - t_2) / (t_1 - t_2)}$$



Zadanie 7

Rozwiązane, cz1, c.d.:

$$t_1 = 60^{\circ}\text{C}; t_2 = 10^{\circ}\text{C}; t_3 = 45^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{m}_3 = 9 \text{ l/min} = 9 \text{ kg/min}$$

$$\dot{m}_1 = ?; \dot{m}_2 = ?$$

$$Q = \dot{m} \times c \times T$$
$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_3 \times (t_3 - t_2) / (t_1 - t_2)$$

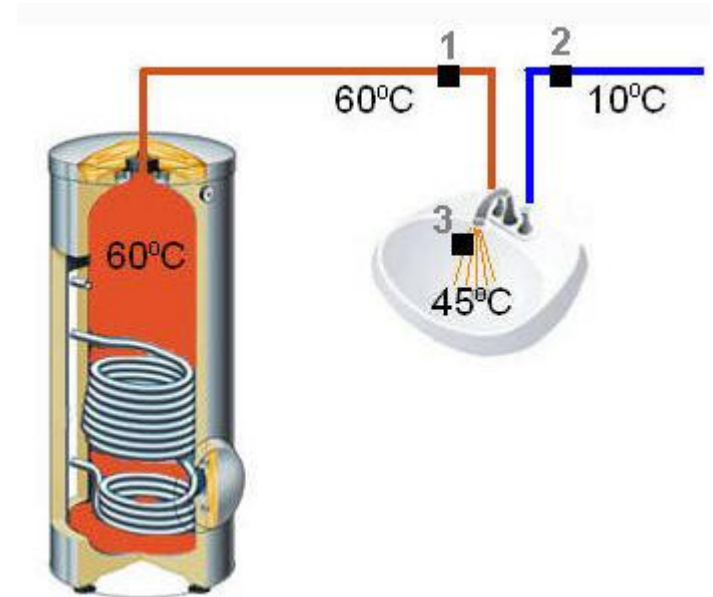
$$\dot{m}_1 = 9 \times (45 - 10) / (60 - 10)$$

$$\underline{\dot{m}_1 = 6,3 \text{ l/min}}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 - \dot{m}_1$$

$$\dot{m}_2 = 9 \text{ l/min} - 6,3 \text{ l/min}$$

$$\underline{\dot{m}_2 = 2,7 \text{ l/min}}$$



Zadanie 7

Rozwiązane, cz2:

$$t_1 = 60^{\circ}\text{C}; t_2 = 10^{\circ}\text{C}; t_3 = 45^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{m}_3 = 9 \text{ l/min} = 9 \text{ kg/min}$$

$$m_1, m_3(10 \text{ min}) = ?$$

$$Q = \dot{m} \times c \times T$$
$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

$$m_1 = \dot{m}_1 \times \text{czas}$$

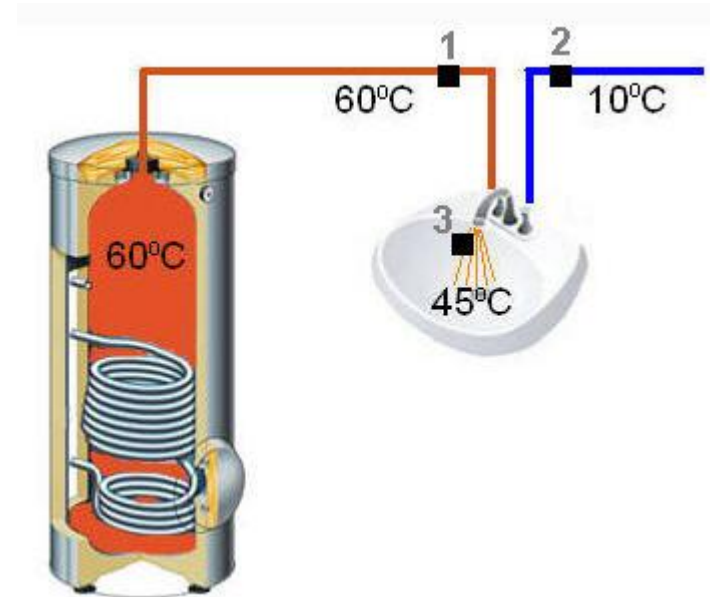
$$m_1 = 6,3 \text{ l/min} \times 10 \text{ min}$$

$$\underline{m_1 = 63 \text{ l}}$$

$$m_3 = \dot{m}_3 \times \text{czas}$$

$$m_3 = 9 \text{ l/min} \times 10 \text{ min}$$

$$\underline{m_3 = 90 \text{ l}}$$



Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku wynosi 50 kWh/rok na metr kwadratowy jego powierzchni.

Dom ma powierzchnię 200 m².

Ile ciepła potrzebuje budynek w ciągu roku ?

ZADANIE 8-1

Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku wynosi 50 kWh/rok na metr kwadratowy jego powierzchni.

Dom ma powierzchnię 200 m².

Ile ciepła potrzebuje budynek w ciągu roku ?

Rozwiązanie:

$$50 \times 200 = 10\ 000 \text{ kWh/rok}$$

$$\text{kWh}/(\text{rok} \times \text{m}^2) \times \text{m}^2 = \text{kWh/rok}$$

Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku wynosi 40 W/m^2 .
Dom ma powierzchnię 200 m^2 .
Ile ciepła potrzebuje budynek ?

ZADANIE 8-2

Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku wynosi 40 W/m².
Dom ma powierzchnię 200 m².
Ile ciepła potrzebuje budynek ?

Rozwiązanie:

$$40 \times 200 = 8\,000 \text{ W} = \mathbf{8 \text{ kW}}$$

$$\text{W/m}^2 \times \text{m}^2 = \text{W} / 1\,000 = \text{kW}$$

Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku wynosi
10 000 kWh/rok.

Ile kocioł zużyje gazu, jeśli pracuje ze sprawnością roczną 80% ?

Ile wyniosą koszty ogrzewania ?

Przyjąć wartość opałową gazu ziemnego: 10 kWh/m³; cenę gazu
ziemnego: 2,60 zł/m³.

ZADANIE 8-3

Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku wynosi 10 000 kWh/rok.

Ile kocioł zużyje gazu, jeśli pracuje ze sprawnością roczną 80% ?

Ile wyniosą koszty ogrzewania ?

Przyjąć wartość opałową gazu ziemnego: 10 kWh/m³; cenę gazu ziemnego: 2,60 zł/m³.

Rozwiązanie:

$$\eta = Q / (p \times w_d) \Rightarrow p = Q / (\eta \times w_d)$$

$$p = 10\,000 / (0,8 \times 10) = \mathbf{1\,250\ m^3/rok}$$
$$\text{kWh/rok} / (- \times \text{kWh/m}^3) = \text{m}^3/\text{rok}$$

$$\text{Koszt ogrzewania} = 1\,250\ \text{m}^3/\text{rok} \times 2,60\ \text{zł/m}^3 = \mathbf{3\,250\ \text{zł/rok}}$$

ZADANIE 8-4

Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku wynosi
10 000 kWh/rok.

Ile pompa ciepła zużyje prądu, jeśli pracuje z efektywnością roczną
SCOP = 4 ?

Ile wyniosą koszty ogrzewania ?
Przyjąć cenę prądu: 0,60 zł/kWh.

ZADANIE 8-4

Zapotrzebowanie na ciepło budynku wynosi 10 000 kWh/rok.

Ile pompa ciepła zużyje prądu, jeśli pracuje z efektywnością roczną SCOP = 4 ?

Ile wyniosą koszty ogrzewania ?

Przyjąć cenę prądu: 0,60 zł/kWh.

Rozwiązanie:

$$\text{SCOP} = Q_g / Q_{el} \Rightarrow Q_{el} = Q_g / \text{SCOP}$$

$$\text{SCOP} = 10\,000 / 4 = \mathbf{2\,500\ kWh/rok}$$

kWh/rok / (-) = kWh/rok

$$\text{Koszt ogrzewania} = 2\,500 \text{ kWh/rok} \times 0,60 \text{ zł/kWh} = \mathbf{1\,500\ zł/rok}$$

W budynku mieszka 4 osoby, które zużywają dziennie 50 l/osobę c.w.u. o temperaturze 45°C.

Zimna woda wodociągowa ma temperaturę 10°C

- 1. Oblicz ile c.w.u. zużywa rodzina w ciągu roku (365 dni).**
- 2. Oblicz zapotrzebowanie na ciepło do jej ogrzewania.**
- 3. Oblicz całkowite zapotrzebowanie na ciepło uwzględniając straty ciepła zbiornika, które wynoszą 1,5 kWh/dobę; oraz uwzględnij straty spowodowane cyrkulacją wody użytkowej, które wynoszą 1,5 kWh/dobę**

ZADANIE 8-5

W budynku mieszka 4 osoby, które zużywają dziennie 50 l/osobę c.w.u. o temperaturze 45°C.

Zimna woda wodociągowa ma temperaturę 10°C

1. Oblicz ile c.w.u. zużywa rodzina w ciągu roku – w ciągu 365 dni.

Rozwiązanie:

$$m = 4 \times 50 \times 365 = 73\ 000 \text{ l/rok}$$

$$\text{osoby} \times \text{l}/(\text{osobę} \times \text{dzień}) \times \text{dni/rok} = \text{l} / \text{rok}$$

ZADANIE 8-5

W budynku mieszka 4 osoby, które zużywają dziennie 50 l/osobę c.w.u. o temperaturze 45°C.

Zimna woda wodociągowa ma temperaturę 10°C

2. Oblicz zapotrzebowanie na ciepło do jej ogrzewania.

Rozwiązanie:

$$Q_{\text{c.w.u.}} = m \times c \times \Delta T = 73\,000 \times 1,163 \times (45 - 10) = 2\,971\,465 \text{ Wh/rok}$$

kg/rok x Wh/kgK x K = Wh / rok

$$Q_{\text{c.w.u.}} = \mathbf{2\,971 \text{ kWh/rok}}$$

ZADANIE 8-5

W budynku mieszka 4 osoby, które zużywają dziennie 50 l/osobę c.w.u. o temperaturze 45°C.

Zimna woda wodociągowa ma temperaturę 10°C

3. Oblicz całkowite zapotrzebowanie na ciepło uwzględniając straty ciepła zbiornika, które wynoszą 1,5 kWh na dobę; oraz uwzględnij straty spowodowane cyrkulacją wody użytkowej, które wynoszą 1,5 kWh na dobę.

Rozwiązanie:

$$Q_c = Q_{cwu} + Q_{straty} + Q_{cyrkul.} = 2\,971 + (1,5 \times 365) + (1,5 \times 365)$$

kWh/rok + kWh/dzień x dni/rok + kWh/dzień x dni/rok

$$Q_c = 2\,971 + 547,5 + 547,5 = 4\,066 \text{ kWh/rok}$$

Ile czasu zajmie ogrzewanie wody od temperatury 10°C do 45°C w zbiorniku o pojemności 300 litrów, gdy moc grzewcza źródła ciepła wynosi 8 kW i 19 kW?

ZADANIE 8-6

Ile czasu zajmie ogrzewanie wody od temperatury 10°C do 45°C w zbiorniku o pojemności 300 litrów, gdy moc grzewcza źródła ciepła wynosi 8 kW i 19 kW.

Rozwiązane

$$\Phi = Q / t \quad [\text{W}]$$

$$\Phi = (m \times c \times dT) / t$$

$$t = (m \times c \times dT) / \Phi$$

$$t_8 = (\underline{300} \times 1,163 \times (45 - 10)) / \underline{8\,000} = 1,53 \text{ h} \times 60 \text{ min}/1 \text{ h} = \underline{92 \text{ min}}$$

(kg x Wh/(kgK) x K) / W = h x 60 min/1h = min

$$t_{19} = (\underline{300} \times 1,163 \times (45 - 10)) / \underline{19\,000} = 0,64 \text{ h} \times 60 = \underline{38 \text{ min}}$$

Podsumowanie zadań: 8-1 do 8-6

Dom ma powierzchnię 200 m².

4 osoby.

Zużycie c.w.u. o temperaturze 45C: 50 l/osobęxdobę

Zapotrzebowanie na ciepło (energia cieplna) do ogrzewania budynku: 50 kWh/m².

Zapotrzebowanie na ciepło (moc grzewcza) do ogrzewania budynku: 40 W/m².

Potrzebna moc grzewcza na c.o.: **8 kW** – źródło ciepła.

Zapotrzebowanie energii cieplnej na c.o.: 10 000 kWh/rok

Zapotrzebowanie energii na ogrzewanie c.w.u.: 4 066 kWh/rok

Całkowite zapotrzebowanie na energię cieplną budynku: **14 066 kWh**

Współczynnik zapotrzebowania na ciepło: **70,3 kWh/rok** (14 066 kWh/m² / 200 m²)

Koszt ogrzewania c.o. gazem ziemnym: **3 250 zł/rok**

Koszt ogrzewania c.o. pompą ciepła: **1 500 zł/rok**

Dziękuję za uwagę...

Wykład wprowadzający

Podstawy energetyki cieplnej - ĆWICZENIA

mgr inż. Krzysztof Gnyra

tel. 602 231 407

e-mail: kgnyra@gmail.com

