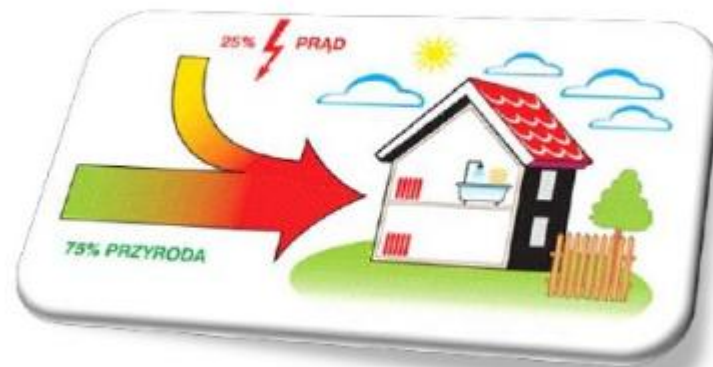


# Podstawy energetyki cieplnej - ĆWICZENIA

03.10.2018



## 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:

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

## Zadanie 2

---

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

## Zadanie 2

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 <sup>2</sup>	Bar bar	mm H <sub>2</sub> O mm H <sub>2</sub> O	Atmosfera techniczna at	Atmosfera fizyczna atm	Tor Tr
1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>	1	10 <sup>-5</sup>	0,102	1,02·10 <sup>-5</sup>	9,869·10 <sup>-6</sup>	7,501·10 <sup>-3</sup>
1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa	10 <sup>5</sup>	1	10 197,2	1,0197	0,9869	750,06
1 mm H <sub>2</sub> O *	9,807	9,807·10 <sup>-5</sup>	1	10 <sup>-4</sup>	9,678·10 <sup>-5</sup>	7,356·10 <sup>-2</sup>
1 at = 1 kg/cm <sup>2</sup>	98 066,6	0,9807	10 <sup>4</sup>	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 <sup>-3</sup>	13,595	1,359·10 <sup>-3</sup>	1,316·10 <sup>-3</sup>	1

\* 1 mm H<sub>2</sub>O odpowiada 1 kg/m<sup>2</sup>,    \*\* 1 atm odpowiada 760 mm Hg,    \*\*\* 1 Tr odpowiada 1 mm Hg

## Zadanie 3

---

**Ciepło właściwe wody wynosi  $4,190 \text{ kJ/kgK}$ .  
Podaj jego wartość w  $\text{Wh/kgK}$**

## 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
<b>Woda</b>	<b>4190</b>	<b>1,163</b>
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  $50^{\circ}\text{C}$ , na powrocie  $40^{\circ}\text{C}$  (50/40).**

**Przypadek 2: ogrzewanie podłogowe, temperatura wody na zasilaniu  $35^{\circ}\text{C}$ , na powrocie  $28^{\circ}\text{C}$  (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  $55^{\circ}\text{C}$ , powracająca z instalacji:  $45^{\circ}\text{C}$ . Natężenie przepływu wynosi  $0,6\text{ kg/s}$ .**

## Zadanie 5

### Rozwiązanie:

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

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

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

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

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

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

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

~~kg/h~~ ~~x Wh/kgK~~ ~~x K~~ = W

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

## Zadanie 6

---

**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

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

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

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

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

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

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

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

$$t_{45} = ( \underline{300} \times 1,163 \times (\underline{45} - 10) ) / 10\,000 = 1,22 \text{ h} \times 60 \text{ min} / 1 \text{ h} = \underline{73 \text{ min}}$$

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

$$t_{60} = ( \underline{300} \times 1,163 \times (\underline{60} - 10) ) / 10\,000 = 1,74 \text{ h} \times 60 = \underline{104 \text{ min}}$$

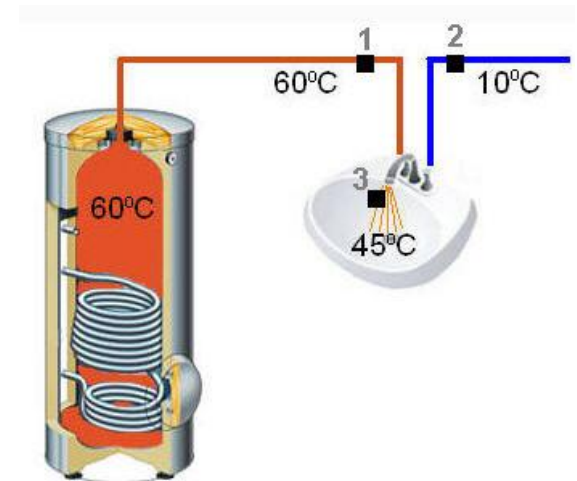
## Zadanie 7

**W zbiorniku c.w.u. znajduje się woda o temperaturze  $60^{\circ}\text{C}$ .**

**Z baterii umywalkowej wypływa woda o temperaturze  $45^{\circ}\text{C}$  w ilości  $9\text{ l/min}$ .**

**Zimna woda wodociągowa ma temperaturę  $10^{\circ}\text{C}$ .**

- 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...*

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

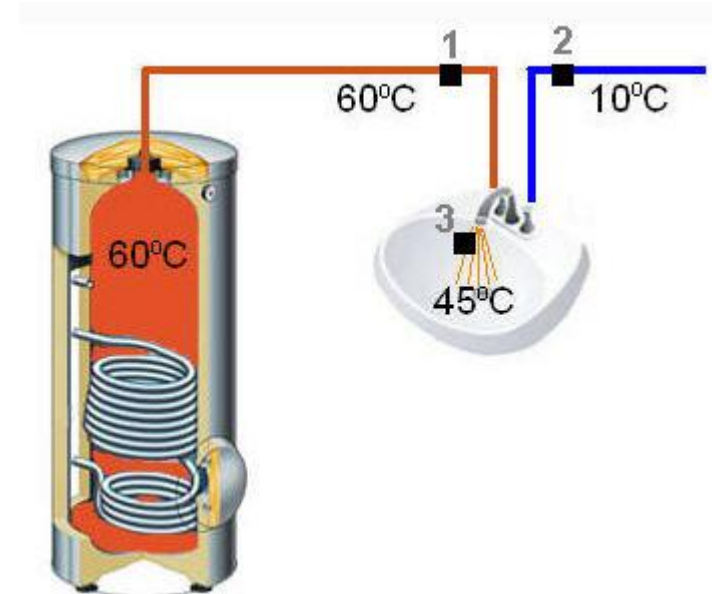
$$m_3 = m_1 + m_2 \Rightarrow \mathbf{m_2 = m_3 - m_1}$$

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

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

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

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





## Zadanie 7

## Rozwiązane, cz1, c.d.:

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

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

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

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

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

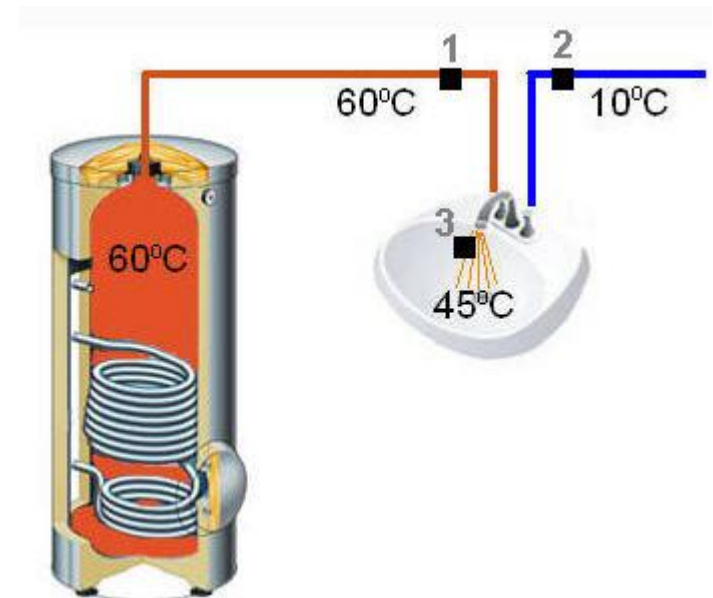
$$\dot{m}_1 = 9 \times (45 - 10) / (60 - 10)$$

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

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

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

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



## Zadanie 7

## Rozwiązane, cz2:

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

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

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

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

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

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

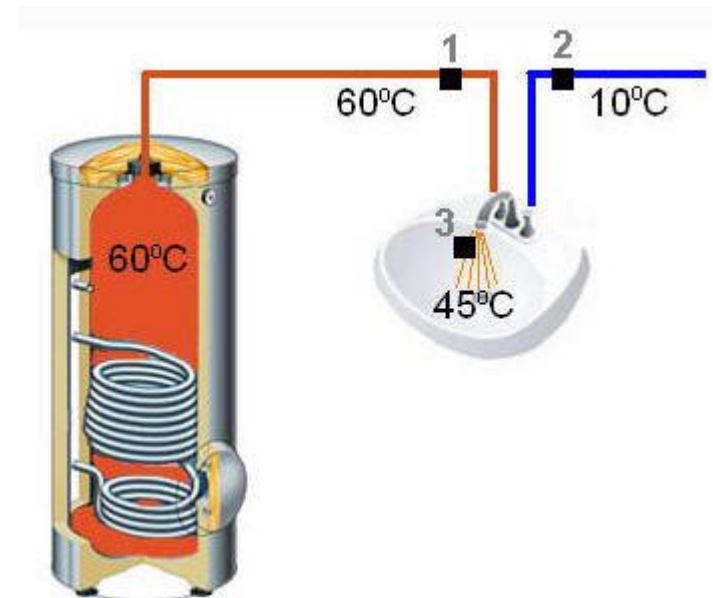
$$m_1 = 6,3 \text{ l/min} \times 10 \text{ min}$$

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

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

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

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



## ZADANIE 8-1

---

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

**Dom ma powierzchnię 200 m<sup>2</sup>.**

**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 m<sup>2</sup>.

Ile ciepła potrzebuje budynek w ciągu roku ?

### Rozwiązanie:

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

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

## ZADANIE 8-2

---

**Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku wynosi 40 W/m<sup>2</sup>.**

**Dom ma powierzchnię 200 m<sup>2</sup>.**

**Ile ciepła potrzebuje budynek ?**

## ZADANIE 8-2

---

Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku wynosi 40 W/m<sup>2</sup>.

Dom ma powierzchnię 200 m<sup>2</sup>.

Ile ciepła potrzebuje budynek ?

### Rozwiązanie:

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

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

## 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/m<sup>3</sup>; cenę gazu  
ziemnego: 2,60 zł/m<sup>3</sup>.**

## 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/m<sup>3</sup>; cenę gazu ziemnego: 2,60 zł/m<sup>3</sup>.

### 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

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

## 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 (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:**

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

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

$$Q_{\text{cwu}} = \mathbf{2\,971 \text{ kWh/rok}}$$

## 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

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

## ZADANIE 8-6

---

Ile czasu zajmie ogrzewanie wody od temperatury  $10^{\circ}\text{C}$  do  $45^{\circ}\text{C}$  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 m<sup>2</sup>.**

**4 osoby.**

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

**Zapotrzebowanie na ciepło (energia cieplna) do ogrzewania budynku: 50 kWh/m<sup>2</sup>.**

**Zapotrzebowanie na ciepło (moc grzewcza) do ogrzewania budynku: 40 W/m<sup>2</sup>.**

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/m<sup>2</sup> / 200 m<sup>2</sup>)

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](mailto:kgnyra@gmail.com)

