

## ĆWICZENIA AUDYTORYJNE 2

### 6. Dobór grzejników

Wydajność cieplna dobranego dla pomieszczenia grzejnika powinna pokryć wyznaczone na podstawie obliczeń zapotrzebowanie na ciepło. Niezbędną wydajność cieplną grzejnika  $Q_{grz}$  określa się z zależności:

$$Q_{grz} = (Q_{pom} - Q_{pp} - Q_p) \beta_T \beta_U \beta_p \beta_o \beta_s \quad (6.1)$$

gdzie:

$Q_{pom}$  – obliczeniowe zapotrzebowanie ciepła pomieszczenia (wg PN-94/B-03406), W

$Q_{pp}$  – wydajność cieplna „pionopiętra” w pomieszczeniu (w przypadku braku pionu instalacji c.o. w pomieszczeniu lub jego izolacji cieplnej wartość równa 0), W

$Q_p$  – wydajność cieplna innych źródeł ciepła (np. innych niż pion nieizolowanych przewodów instalacji c.o.), W

$\beta_T$  – współczynnik poprawkowy uwzględniający wyposażenie grzejnika w zawór termostatyczny (**1 lub 1,15**)

$\beta_U$  – współczynnik poprawkowy uwzględniający miejsce usytuowania grzejnika (**1,0** – grzejnik umieszczony pod oknem lub na ścianie zewnętrznej pomieszczenia nad posadzką, **1,1** – grzejnik umieszczony na ścianie wewnętrznej pomieszczenia lub umieszczony pod stropem, **1,2** - grzejnik umieszczony na ścianie wewnętrznej pod stropem)

$\beta_p$  – współczynnik poprawkowy uwzględniający sposób podłączenia grzejnika. (**1,0-2,2**)

$\beta_o$  – współczynnik poprawkowy uwzględniający wpływ osłonięcia grzejnika lub umieszczenia we wnęce. (**0,9-1,7**)

$\beta_s$  – współczynnik poprawkowy uwzględniający wpływ schłodzenia wody w nieizolowanych przewodach instalacji

Wydajność cieplną „pionopiętra” wyznacza się w zależności od obliczeniowych temperatur czynnika grzejnego, temperatury obliczeniowej pomieszczenia oraz średnicy przewodów pionu. Wartości te są stabelaryzowane np:

tz/tp	ti = 16 °C						ti = 20 °C						ti = 25 °C					
	Średnica pionu						Średnica pionu						Średnica pionu					
	15	20	25	32	40	50	15	20	25	32	40	50	15	20	25	32	40	50
95/70	260	320	390	480	530	640	240	290	360	440	490	590	210	260	320	390	440	530
90/70	240	300	370	450	510	610	230	280	340	420	470	560	200	250	300	370	420	500
85/70	230	290	350	430	480	580	210	260	320	390	440	530	190	230	290	350	390	470

Bardzo rzadko w literaturze można spotkać opis wpływu sposobu podłączenia grzejnika na jego moc cieplną. Zazwyczaj producenci podają zalecany sposób podłączania grzejnika do instalacji (tzw. Podłączenie boczne zasilanie od góry i powrót od dołu grzejnika), lub konstruują grzejnik w taki sposób, że sposób podłączenia nie wpływa na charakterystykę cieplną grzejnika (poprzez wewnętrzne dodatkowe przewody rozprowadzające czynnik grzewczy w optymalny sposób). W katalogu grzejników PURMO znaleźć natomiast można informację na temat wpływu sposobu podłączenia grzejnika na wydajność cieplną. W przypadku podłączenia bocznego, ale zasilania grzejnika od dołu, a powrotu czynnika grzewczego od góry o 50% maleje wydajność cieplna grzejnika ( $b_p = 2,0$ ). W przypadku grzejników dłuższych niż 2 metry producent przy podłączaniu bocznym zaleca tzw. podłączenie krzyżowe (powrót z drugiej strony grzejnika niż zasilanie). Taki sposób podłączania należy stosować do grzejników członowych gdy liczba członów jest większa od 18-20 elementów. Przy rozprawdzeniu instalacji przy lub w posadzce, popularne staje się podłączenie tzw. Siodłowe, gdzie zasilanie i po drugiej stronie powrót podłączony jest z boku grzejnika w dolnej jego części. W takim przypadku, dla grzejników PURMO mają one o ok. 10% mniejszą moc ( $b_p = 1,12$ ). Przy prowadzeniu instalacji w jastrzuchu posadzki stosowane może być podłączenie grzejnika odpodłogowe. Przy stosowaniu tego typu rozwiązań należy dokładnie przestrzegać sposobu podłączenia do właściwych króćcy grzejnika, gdyż zamiana powodować może znaczące ograniczenie mocy grzejnika (w przypadku grzejników PURMO o ok. 60%).

Dla doboru grzejników ich producenci podają stabelaryzowane wartości wydajności cieplnej. Grzejnik dobiera się tak, aby jego moc dla założonych temperatur czynnika grzewczego ( $t_z/t_p$ ) i temperaturze obliczeniowej pomieszczenia była równa lub większa wyznaczonej w oparciu o zależność (6.1).

Niektórzy producenci podają tzw. **normatywne** (wg DIN 4704) **wydajności cieplne grzejników**, które są charakterystyką cieplną dla tzw. warunków normalnych ( $t_z/t_p = 90/70$  i  $t_i = 20$ ) lub ( $t_z/t_p = 70/50$  i  $t_i = 20$ ) oraz współczynniki korekcyjne **f** dla innych temperatur obliczeniowych. Należy wówczas dobrać grzejnik na moc wyznaczoną wg wzoru:

$$Q_n = Q_{grz} * f \quad (6.2)$$

Przy dalszych obliczeniach instalacji c.o. pamiętać należy, że wydajność cieplna dobranego w ten sposób grzejnika nie będzie równa dobranej  $Q_n$  a będzie zbliżona do  $Q_{grz}$ .

W przypadkach braku możliwości doboru grzejnika wg tabel, jego moc cieplną można określić z uproszczonego wzoru:

$$Q_g = (k F \Delta t \varepsilon) / \beta_1 \quad (6.3)$$

$k$  – współczynnik wymiany ciepła, równy:

$$k = c D t^m G^a, \quad W/(m^2K)$$

$c, m, a$  – współczynniki charakterystyki cieplnej grzejnika (wg danych literaturowych)

$G$  – strumień masy czynnika grzejnego, kg/h

$F$  - powierzchnia wymiany ciepła (dla grzejników członowych  $F = n * f$  gdzie  $n$  jest liczbą członów, a  $f$  powierzchnią ogrzewalną jednego członu),  $m^2$

$\Delta t$  - średnia arytmetyczna różnica temperatur grzejnika i otoczenia

$$\Delta t = (t_z + t_p) / 2 - t_i \quad (6.4)$$

$\varepsilon$  - współczynnik korygujący nierównomierny rozkład temperatur na powierzchni grzejnika

$$\varepsilon = \frac{m(1-x)}{(1/x^m - 1) \left( (1+x)/2 \right)^{m+1}} \quad x = (t_p - t_i) / (t_z - t_i) \quad (6.5)$$

$\beta_1$  - współczynnik poprawkowy uwzględniający liczbę elementów grzejnika

po podstawieniu  $k$  do wzoru na  $Q_g$  otrzymujemy zależność:

$$Q_g = (c F D t^{(1+m)} \varepsilon) / \beta_1 \quad (6.6)$$

UWAGA: W LITERATURZE MOŻNA SPOTKAĆ PODAWANĄ WARTOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA  $m$  WIĘKSZĄ OD JEDNOŚCI.

WÓWCZAS JEST ONA JUŻ „PO ZSUMOWANIU tzn  $m = 1+m$

Korzystając z zależności (4) można wyprowadzić wzór (uproszczony) na wartość współczynnika  $f$  ze wzoru (2)

$$f = Q_n / Q_g = (D t_n / D t)^{(1+m)} \quad (6.7)$$

gdzie:  $\Delta t_n$ ,  $\Delta t$  są średnią arytmetyczną różnicą temperatur liczoną odpowiednio, dla parametrów nominalnych i obliczeniowych.

W przypadkach gdy czynnikiem grzejnym jest **para niskoprężna** to  $\Delta t = t_z - t_i$ , a  $\varepsilon = 1$

## Charakterystyka wybranych typów grzejników:

Typ grzejnika	c	m	a	f, m <sup>2</sup>	1/β <sub>1</sub>
Członowe żeliwne					
TA-1	3,51	0,25	0	0,27	(9/n) <sup>0,06</sup>
TIR -1	2,06	0,28	0	0,22	(9/n) <sup>0,06</sup>
T-1	3,00	0,29	0	0,24	(10/n) <sup>0,06</sup>
T-4	3,33	0,28	0	0,41	(6/n) <sup>0,06</sup>
Członowe aluminiowe					
KA-300	0,57	0,34	0	0,24	n <sup>-0,086</sup>
KA-500	0,71	0,35	0	0,32	n <sup>-0,054</sup>
KA-1000	0,84	0,42	0	0,57	n <sup>-0,010</sup>
Stalowe płytowe					
PI-2	3,24	0,25	0		n <sup>-0,169</sup>
GP-2					
Pojedyncze	3,95	0,26	0		
Podwójne	3,56	0,26	0		n <sup>-0,169</sup>
Z rur stalowych ożebrowanych typu Favier					
Dla G ≥ 15 kg/h	1,30	0,20	0,05	2,15/mb	
Dla G < 15 kg/h	0,80	0,20	0,20		
Z rur stalowych ożebrowanych wg BN-80/8864-54					
Dla G ≥ 100 kg/h	1,00	0,33	0	1,71/mb	
Dla 100 > G > 50 kg/h	1,00	0,33	(0,27G-40,5)10 <sup>-3</sup>		
Dla 50 > G > 15	1,00	0,33	(0,27G-40,5)10 <sup>-3</sup>		
Z rur stalowych gładkich					
Poziomych	2,46 dz <sup>-0,12</sup>	0,33	0	dz – średnica zewnętrzna, m s – wsp. zależny od długości rury	
Pionowych	2,96 s	0,33	0		
s=1 dla l=1m, s=0,94 dla l=2m, s=0,92 dla l=3m					

Wartość 1/β<sub>1</sub> dla grzejników poziomych z rur ożebrowanych dla dwóch rur nad sobą (Gż 1-2/ L, gdzie L – długość w m) wynosi 0,93, trzech rur nad sobą (Gż 1-3/ L) 0,89; czterech (Gż 1-4/ L) lub więcej 0,86. Dla dwóch rur obok siebie (Gż2-1/ L) 0,90; 2 x dwie rury (Gż 2-2/ L): 0,85; 3 x dwie rury (Gż 3-2/ L): 0,80; trzy rury obok siebie (Gż 3-1/ L) 0,83; cztery i więcej 0,80

Wartość 1/β<sub>1</sub> dla grzejników poziomych z rur gładkich dla dwóch rur nad sobą (Gs 1-2/ L, gdzie L – długość w m) wynosi 0,95, trzech rur nad sobą (Gs 1-3/ L) 0,93; czterech (Gs 1-4/ L) lub więcej 0,90. Dla dwóch rur obok siebie (Gs2-1/ L) 0,90; trzy rury obok siebie (Gs 3-1/ L) 0,83; cztery i więcej 0,80

Stosowanie do obliczeń mocy cieplnej grzejników wzorów (6.3) i (6.6) nie jest już obecnie zalecane. Ich wygoda polega na dostępności w literaturze przedmiotów wartości współczynników charakterystyki cieplnej grzejników różnej konstrukcji. Obecnie stosowany wzór ma bardzo podobną postać funkcyjną, jednak tylko dla kilku rodzajów grzejników można znaleźć wartości współczynników c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub> czy m:

$$Q_g = c_1 H^{c_2} Dt^m L e \quad (6.8)$$

c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, m - współczynniki charakterystyczne dla danej konstrukcji grzejnika

H – wysokość grzejnika, m

L – długość grzejnika, m

Pozostałe wielkości jak we wzorze (6.3)

Charakterystyka wybranych typów grzejników:

Typ grzejnika	$c_1$	$c_2$	$m$	$K_v, m^3/h$
<b>Rettig –PURMO</b>				
C11 lub V11	10,480	0,860	1,29	2,5
C22 lub V22	15,990	0,810	1,31	3,1
C33 lub V33	21,610	0,805	1,32	3,1
P10	7,498	0,885	1,26	2,5
P20	14,505	0,960	1,24	3,1
P30	21,050	0,960	1,24	3,1
<b>Rettig –Ratec</b>				
K12	11,095	0,63	1,28	Wysokość 70, 140 i 210 2,6
K22	20,005	0,62	1,29	
K36	27,726	0,61	1,31	
G11	8,736	0,71	1,29	Wysokość 280 3,2
G22	13,150	0,67	1,32	
G33	21,254	0,65	1,33	

**Przykład:** Dobrać grzejnik TA-1 (żeliwny członowy  $c=3,51$ ,  $m=0,25$ ,  $a=0$ ) dla pomieszczenia w którym zapotrzebowanie ciepła wynosi 900W;  $t_z/t_p=95/70^\circ C$ ,  $t_i=20^\circ C$ , 4-ta kondygnacja budynku 6-cio kondygnacyjnego.

Odzysk ciepła od pionopiętra ( $d=20mm$ )  $Q_{pp} = 290 W$ ,

$\beta_T=1,00$ ;  $\beta_U=1,00$ ;  $\beta_p=1,00$ ;  $\beta_o=1,03$ ;  $\beta_s=1,04$

(uwaga: w ćwiczeniu projektowym uzasadnić dlaczego)

$$Q_{grz} = (900-290) * 1 * 1 * 1 * 1,03 * 1,04 = 650 W$$

$$\Delta t = (95+70)/2 - 20 = 62,5$$

$$k=3,51 * 62,5^{0,25} = 9,87 W/m^2K$$

$$x = (70-20)/(95-20) = 0,67$$

$$\epsilon = 0,98$$

$$= \frac{0,25 (1-0,67)}{(1/0,67^{0,25} - 1) ((1+0,67)/2)^{1,25}} = 0,98$$

**niezbędna powierzchnia grzejnika:**

$$F = Q_{grz} \beta_1 / (k \Delta t \epsilon) = 650 * 0,95 / (9,81 * 62,5 * 0,98) = 1,02 m^2$$

(wstępnie przyjęto  $n=4$  dla którego  $1/\beta_1=1,05$ )

**Liczba elementów grzejnika:**

$$n = F/f = 1,02/0,27 = 3,8$$

Przyjęto grzejnik żeliwny TA-1/4

(w przypadku gdy założona wstępnie liczba członów jest różna od wyliczonej należy skorygować wartość  $b_1$  i powtórzyć obliczenia)

**Rura stalowa gładka 1600 W:** Założono  $d_z=76\text{mm}$ , Gs 1-2 tj. dwie rury jedna nad drugą, ( $1/\beta_1=0,95$ )

$$k = 2,46 d_z^{-0,12} \Delta t^{0,33} = 2,46 \cdot 0076^{-0,12} \cdot 62,5^{0,33} = 13,1 \text{ w/m}^2\text{K}$$

$$F = 1600 / (13,1 * 62,5 * 0,98) * 1,053 = 2,1 \text{ m}^2$$

$$2l = F / (\pi d) = 2,1 / (3,14 * 0,076) = 8,82 \text{ m}$$

$$l = 4,4$$

przyjęto grzejnik Gs 1-2/ 4,4

**Rura ożebrowana typu Favier 1600 W:** Założono Gz 1-2 tj. dwie rury jedna nad drugą, ( $1/\beta_1=0,93$ )

$$m=0,2$$

$$G = Q / (cp * (t_z - t_p)) = 1600 / (4190 * 25) = 0,0153 \text{ kg/s} = 55 \text{ kg/h}$$
 zatem  $a = 0,05$

$$k = 1,3 \Delta t^{0,2} G^{0,05} = 1,3 \cdot 62,5^{0,2} \cdot 55^{0,05} = 3,63 \text{ w/m}^2\text{K}$$

$$F = 1600 / (3,63 * 62,5 * 0,98) * 1,075 = 7,77 \text{ m}^2$$

$$2l = F / f = 7,77 / 2,15 = 3,6 \text{ m}$$

$$l = 1,8$$

przyjęto grzejnik Gz 1-2/ 2 typu Favier

#### DOBÓR GRZEJNIKÓW O PARAMETRACH INNYCH NIŻ PODANE W TABELACH

1. Dla parametrów 90/70/20 grzejnik ( $m=0,3$ ) ma moc cieplną  $Q=1000 \text{ W}$ . Określ jaką będzie on miał moc cieplną dla parametrów 100/70/20.

$$Q = F c \Delta t^{1+m} \varepsilon$$

$F, c = \text{const}$ , zał. upraszczające  $\varepsilon = \text{const}$ .

$$Q_x = F c \Delta t_x^{1+m} \varepsilon$$

$$Q_x / Q = (\Delta t_x / \Delta t)^{1+m}$$

$$\Delta t_x = (100+70)/2 - 20 = 65, \Delta t = (90+70)/2 - 20 = 60,$$

$$Q_x = Q * (\Delta t_x / \Delta t)^{1+m} = 1000 (65 / 60)^{1,3} = \mathbf{1110 \text{ W}}$$

2. Dobierz grzejnik dla instalacji o parametrach 65/45/20 jeśli dysponujemy tabelą doboru dla parametrów 70/50/20. Zapotrzebowanie ciepła 650W ( $m=0,25$ ).

$$Q_{grz} = Q_{pom} \beta_T \beta_U \beta_p \beta_o \beta_s = 650 * 1,15 * 1,0 * 1,0 * 1,1 * 1,1 = 904 \text{ W}$$

$$\Delta t_{TAB} = (70+50)/2 - 20 = 40, \Delta t = (65+45)/2 - 20 = 35$$

$$Q_{TAB} = Q * (\Delta t_{TAB} / \Delta t)^{1+m} = 904 (40 / 35)^{1,25} = \mathbf{1068 \text{ W}}$$

Należy dobrać taki grzejnik, który wg tabeli (70/50/20) ma moc co najmniej 1068W

ANALIZY ZMIAN WARUNKÓW PRACY UKŁADU: POMIESZCZENIE+ GRZEJNIK +  
ISTALACJA C.O.

$$Q1 = m \cdot c_p \cdot (t_z - t_p)$$

$$Q2 = k \cdot F \cdot \Delta t$$

$$Q3 = U \cdot A \cdot (t_i - t_e)$$

$$Q1 = Q2 = Q3$$

Zad. 1 W pomieszczeniu, w okresie nocnym działa ogrzewanie dyżurne grzejnikowe ( $c=3,25$ ,  $m=0,25$ ) zapewniające utrzymanie temperatury  $t_i=5\text{st.C}$ , Parametry ogrzewania wynoszą 100/70, moc cieplna grzejnika  $Q_g=5820\text{W}$ , zewnętrzna temperatura obliczeniowa  $t_e=-20\text{st.C}$ . Temperaturę w ciągu dnia wynoszącą  $t_{id}=+20\text{stC}$  gwarantować powinna nagrzewnica powietrza. Określ jej moc.

a) skoro w dzień będzie w pomieszczeniu  $20\text{stC}$ , to wzrosną straty ciepła.

$$Q_{3d}/Q_3 = \text{suma } (U \cdot A \cdot (t_{id} - t_e)) / \text{suma } (U \cdot A \cdot (t_i - t_e))$$

$$Q_{3d} = 5820 \cdot (20 - (-20)) / (5 - (-20)) = 9312 \text{ W}$$

b) skoro zmieni się temperatura w pomieszczeniu, to ulegnie zmianie moc cieplna grzejnika (zmianie ulegną temperatura w pomieszczeniu i temperatura powrotu). Wstępnie założono stałą wartość współczynnika przenikania ciepła grzejnika „k”

$$Q_{2d}/Q_2 = (F \cdot k_d \cdot ((t_z + t_{pd})/2 - t_i)) / (F \cdot k \cdot ((t_z + t_p)/2 - t_i))$$

$$Q_{1d}/Q_1 = (m \cdot c_p \cdot (t_z - t_{pd})) / (m \cdot c_p \cdot (t_z - t_p))$$

$$Q_{2d}/Q_2 = Q_{1d}/Q_1$$

jeżeli  $k=k_d$ , to:

$$(100 - t_{px}) / (100-70) = ((100+t_{px})/2-20) / ((100+70)/2-5)$$

stąd  $t_{px}=74,74\text{stC}$

$$\text{(sprawdzenie zmiany wartości kd: } kd/k = (\Delta t_d / \Delta t)^{0,25} = (67,34 / 80)^{0,25} = 0,958 = 1$$

c) przepływ przez grzejnik

$$m = Q_1 / (c_p (t_z - t_p)) = 5820 / (4190 * (100-70)) = 0,0463 \text{ kg/s}$$

d) zmieniona moc cieplna grzejnika:

$$Q_{1d} = m * c_p * (t_z - t_{px}) = 0,0463 * 4190 * (100-74,74) = 4890 \text{ W}$$

e) **wymagana moc nagrzewnicy:**

$$Q = Q_{3d} - Q_{1d} = 9312 - 4890 = 4420 \text{ W}$$