

ĆWICZENIA AUDYTORYJNE 3

7. Ogrzewanie wodne grawitacyjne z rozdziałem dolnym.

7.1. Ciśnienie czynne i opory przepływu

Przepływ czynnika grzejnego pomiędzy źródłem ciepła, a grzejnikami wywołane jest tzw. Ciśnieniem grawitacyjnym wynikającym z różnicy gęstości wody o różnej temperaturze. Zaletą tego typu ogrzewań jest uniezależnienie się od dostawy energii elektrycznej niezbędnej do napędu pomp obiegowych jak również tzw. samoregulacja instalacji (wzrost temperatury w pomieszczeniu powoduje zmniejszenie schłodzenia czynnika grzejnego, a w efekcie ciśnienia grawitacyjnego, co skutkuje ograniczeniem strumienia krążącego w obiegu czynnika grzejnego). Problemem jest natomiast dużo trudniejsze wyregulowanie hydrauliczne instalacji, uzależnienie warunków pracy od geometrii instalacji, możliwość problemów z rozruchem niektórych obiegów instalacji (warunek Tichelmana), dużo większe średnice przewodów. Od strony projektowej bardziej złożona jest również procedura obliczeń.

Obliczenia hydrauliczne instalacji c.o. polegają na zrównoważeniu ciśnienia grawitacyjnego wywołującej przepływ oporami przepływu dla obiegów wszystkich grzejników. W przypadku obliczeń instalacji pompowych obliczenia przeprowadzone mogą być w ten sposób, że najpierw określone są opory przepływu, a następnie w oparciu o tę wielkość dobierane jest urządzenie gwarantujące pokonanie (zrównoważenie) tych oporów, przy zachowaniu obliczeniowych przepływów. W przypadku obliczeń instalacji grawitacyjnych najpierw określone jest ciśnienie grawitacyjne, a następnie tak dobierane elementy instalacji (średnice przewodów), aby jej opory zrównoważyły to ciśnienie. Powoduje to jednak konieczność przeprowadzenia doboru średnic przewodów metodą kolejnych przybliżeń, gdyż najpierw dobierana jest średnica przewodów instalacji, następnie dla tak określonych średnic obliczane są opory przepływu i na koniec porównywane z wielkością ciśnienia czynnego dla danego obiegu. W przypadku braku zrównoważenia obiegu następuje korekta wcześniej założonych średnic przewodów.

Ciśnienie czynne w ogrzewaniu grawitacyjnym określa się ze wzoru:

$$\Delta p_{cz} = h g (\rho_p - \rho_z), \text{ Pa} \quad (7.1)$$

w którym:

h - różnica poziomów środka grzejnika i środka źródła ciepła, m

g - przyspieszenie ziemskie, m/s^2

ρ_p - gęstość wody o temperaturze obliczeniowej powrotu do źródła ciepła, kg/m^3

ρ_z - gęstość wody o temperaturze na wyjściu ze źródła ciepła, kg/m^3

Wzór ten dotyczy obliczeń instalacji z rozdziałem dolnym, przy założeniu upraszczającym braku schłodzeń czynnika grzejnego w przewodach instalacji. Przy innych układach geometrii prowadzenia przewodów instalacji niezbędne staje się również uwzględnienie dodatkowego wpływu schłodzenia czynnika grzejnego na poszczególnych odcinkach obliczeniowych instalacji (działkach)

Tablica 7.1 Gęstość wody w zależności od jej temperatury

t, °C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	100
ρ , kg/m^3	999,73	998,23	995,67	992,24	988,07	983,24	977,81	971,83	965,34	961,29	958,40

Na **opory przepływu** składają się

1. opory liniowe:

$$\Delta p_l = R \cdot l, \text{ Pa} \quad (7.2)$$

gdzie:

R – jednostkowy opór liniowym przyjmowany w oparciu o odpowiednie tabele lub nomogramy, Pa/m

określany jest w funkcji d – średnicy przewodu, m – strumienia przepływu czynnika grzejnego, materiału z którego wykonane są przewody oraz temperatury czynnika grzejnego

l - długość odcinka obliczeniowego instalacji, m

2. opory miejscowe:

$$\Delta p_m = Z = \zeta \cdot w^2 / 2g, \text{ Pa} \quad (7.3)$$

gdzie:

ζ – współczynnik oporów miejscowych

w – prędkość przepływu czynnika grzejnego, m/s

g - przyspieszenie ziemskie, m/s²

7.2. Tok postępowania przy obliczaniu instalacji c.o. termosyfonowego

1. Założenie parametrów obliczeniowych, temperatury zasilania i powrotu (przyjmuje się, że w ogrzewaniach grawitacyjnych temperatura zasilania nie powinna przekroczyć 90°C, przy założeniu takiej wartości, temperaturę powrotu zazwyczaj przyjmuje się równą nie mniej niż 70 °C).
2. Obliczenie strat ciepła pomieszczeń, dobór grzejników, rozmieszczenie grzejników, dobór źródła ciepła
3. Rozmieszczenie na rzutach kondygnacji pionów (długość gałęzi przyłączeniowych grzejniki nie powinna przekraczać 2m)
4. Rozmieszczenie pionów na rzucie piwnicy (analogicznie do rozmieszczenia na rzutach kondygnacji) i zaprojektowanie rozprowadzenia przewodów w piwnicy oraz podłączenia instalacji do źródła ciepła (kotła).
5. Wykonanie rysunku rozwinięcia instalacji c.o.
6. Sprawdzenie warunku rozruchu instalacji

Do wad ogrzewań grawitacyjnych zaliczyć należy trudności z rozruchem instalacji lub niektórych obiegów grzejników. Szczególnie problem może dotyczyć okresowo wyłączonych z eksploatacji pionów, kiedy to po odkręceniu zaworów odcinających, pomimo tego, że pozostała część instalacji centralnego ogrzewania pracuje nie uzyskujemy przepływu czynnika grzejnego przez ten pion (lub grzejnik). Aby zapobiec takim zjawiskom instalację należy w taki sposób zaprojektować aby spełniony został warunek rozruchu. W przypadku instalacji dwururowych z rozdziałem dolnym warunek ten sprowadza się do sprawdzenia, czy wysokość na której będą poprowadzone poziome przewody rozprowadzające będzie co najmniej równa 2/3 różnicy wysokości pomiędzy środkiem kotła a środkiem najniższej położonego grzejnika w pionie do którego doprowadzają one czynnik grzejny.

Sprawdzić również można warunek, czy opory przepływu poziomych przewodów rozprowadzających (od źródła ciepła do przejścia przewodu w pion zasilający grzejniki) są mniejsze od ciśnienia grawitacyjnego obliczonego dla różnicy wysokości pomiędzy środkiem kotła, a tymi przewodami.

7. Obliczenia hydrauliczne instalacji i dobór średnic

7.1 Podział instalacji na **działki obliczeniowe** (odcinki instalacji o stałym strumieniu masy i stałej średnicy)

w przypadku instalacji c.o. dwururowej z rozdziałem dolnym, jako jedną działkę obliczeniową można wspólnie rozpatrywać odcinek przewodu zasilającego i powrotnego

7.2 Określenie ciśnień czynnych w instalacji dla obiegów wszystkich grzejników

obiegiem grzejnika nazywamy zamknięty ciąg działek obliczeniowych pomiędzy źródłem ciepła i grzejnikiem

7.3 Wybór najniekorzystniej usytuowanego grzejnika

Jako **najniekorzystniej usytuowany grzejnik** w instalacji ogrzewania wodnego grawitacyjnego z rozdziałem dolnym przyjmuje grzejnik
najniżej położony – najniższe ciśnienie czynne,
najdalej położony od źródła – największa długość poziomych przewodów rozprowadzających,
o większym obciążeniu cieplnym – większy strumień przepływu czynnika grzejnego

7.4 Określenie orientacyjnego oporu liniowego dla przyjętego obiegu

$$R_{or} = (\Delta p_{cz,o} - \Sigma Z) / \Sigma l = (1 - a) \Delta p_{cz,o} / \Sigma l \quad (7.4)$$

gdzie:

$\Delta p_{cz,o}$ - ciśnienie czynne grawitacyjne określone dla analizowanego obiegu, Pa Σl

ΣZ - suma oporów miejscowych obiegu

a - orientacyjny udział oporów miejscowych, można przyjmować równy 0,33 lub 0,5

Σl - sumaryczna długość działek obliczeniowych obiegu, m

7.5 Określenie strumieni przepływu w działkach obliczeniowych

$$m = 3600 Q / c_p (t_z - t_p) = 0,86 Q / (t_z - t_p), \text{ kg/h} \quad (7.5)$$

gdzie:

Q – obciążenie cieplne działki obliczeniowej, kW

c_p – ciepło właściwe wody, kJ/kgK

t_z – temperatura zasilania, °C

t_p – temperatura powrotu, °C

7.6 Wstępny dobór średnic działek obiegu

7.7 Określenie oporów liniowych i miejscowych poszczególnych działek i zsumowanie ich dla całego obiegu.

7.8 Porównanie oporów przepływu obiegu z wartością ciśnienia czynnego (grawitacyjnego).

W przypadku różnicy większej niż 5-10% dokonać należy wstępnie dobranych średnic i przeprowadzić ponownie obliczenia (czynność tę powtarzać do momentu zrównoważenia ciśnienia czynnego oporami przepływu). Dla obiegów najniżej położonych grzejników ciśnienie czynne nie powinno być mniejsze od oporów przepływu

UWAGA:

- dla instalacji wykonanej z rur stalowych nie dobierać średnic przewodów mniejszych niż 15mm
- pomimo tego, że kierujemy się przy doborze średnic instalacji wartością R_{or} , **nie należy bać się** przyjęcia średnicy przewodu, dla której opór liniowy, przy założonym przepływie **odbiega od tej wartości** (w górę lub w dół)
- ponieważ konieczne jest zrównoważenie ciśnienia czynnego oporami przepływu również dla obiegów pozostałych grzejników, starajmy się nierównomiernie (nieliniowo) rozkładać opory przepływu, "kumulując" je w działkach wspólnych z obiegami bardziej "uprzywilejowanymi" (tzn. bliżej kotła lub z większymi ciśnieniami czynnymi)
- w razie konieczności, wstępnie założoną jako jedną (stały przepływ) działkę obliczeniową można podzielić na dwie o różnych średnicach, a długość "nowych" działek tak dobrać, aby zrównoważyć do żądanych opory przepływu.
- patrząc od grzejnika, w kierunku źródła ciepła, średnice działek obiegu nie powinny maleć (poza przypadkiem redukcji średnicy w celu podłączenia do króćców kotła)

7.9 Obliczamy kolejny obieg instalacji, przy czym R_{or} określamy przy uwzględnieniu dobranych już średnic działek wspólnych

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY (Przykład 7.1):

1. Dobór kotła

$$Q_k = Q_{obl} \times (1+a) / 0,9 = 25900 \times (1+0,15) / 0,9 = 33095 \text{ W} \quad (7.6)$$

Q_k – moc źródła ciepła, W

Q_{obl} – zapotrzebowanie na ciepło odbiorców, W

a – współczynnik uwzględniający straty ciepła na przesyle (0,15 – kotłownie wodne, 0,1 – kotłownie parowe)

0,9 – współczynnik uwzględniający starzenie się kotła

(uwaga: wzór stosować wyłącznie do kotłowni na paliwo stałe)

Przyjęto kocioł żeliwny, członowy KZ 3 – K – 6 o mocy nominalnej $Q_k = 32,6\text{kW}$, paliwo: koks (lub mieszanka koksu i węgla kamiennego 1:1)

2. Określenie przekroju komina (np. wg wzoru uproszczonego – Sandera)

$$F_k = 0,86 \cdot a \cdot Q_k / \sqrt{h} = 0,86 \cdot 0,03 \cdot 32600 / \sqrt{12,9} = 235 \text{ cm}^2 \quad (7.7)$$

Q_k – moc wybranego źródła ciepła, W

a – współczynnik uwzględniający rodzaj paliwa i sposób prowadzenia komina, dla kotłów na paliwo stałe 0,03

h – wysokość czynna komina (od podłączenia czopucha do wylotu)

Przyjęto najmniejszy dopuszczalny przekrój 0,2x0,2m (400 cm²) murowany z cegły

3. Wymagana wysokość komina ze względu na zapewnienie niezbędnego ciągu kominowego:

Dla kotła KZ 3 – K – 6 wymagany ciąg kominowy wynosi 26 Pa (wg karty katalogowej), temperatura spalin 165 °C

Niezbędną wysokość komina zapewniającą uzyskanie odpowiedniego podciśnienia w komorze paleniskowej w uproszczeniu obliczyć można ze wzoru:

$$h_{\min} = 39 S / ((1/(273+t_z) - (1/(273+t_s))) P_b), \text{ m} \quad (7.8)$$

S - wymagany ciąg kominowy dla kotła, Pa

t_z – temperatura powietrza zewnętrznego (najniekorzystniejsze warunki tj. 12 lub 20), °C

t_s – średnia temperatura spalin, °C

P_b – ciśnienie barometryczne, Pa (przy braku danych można przyjąć 101325 Pa)

$$h_{\min} = 39 \times 26 / ((1/(273+12) - (1/(273+165))) 101325) = 8,16 \text{ m (warunek spełniony)}$$

4. Zabezpieczenie instalacji c.o. systemu otwartego (PN-91/B-02413):

4.1 Naczynie wzbiornicze

Pojemność wodna zładu c.o. V=520 dm³ = 0,52 m³ (wg nomogramu z katalogu Reflex)

W praktyce należy pojemność określić jako sumę pojemności kotłów, grzejników, przewodów i armatury

Pojemność użytkowa naczynia wzbiorniczego:

$$V_u = 1,1 \cdot V \cdot \rho_1 \cdot \Delta v = 1,1 \cdot 0,52 \cdot 1000 \cdot 0,0304 = 17,2 \text{ dm}^3 \quad (7.9)$$

V – pojemność wodna zładu instalacji, m³

ρ₁ – gęstość wody o temperaturze 10°C (instalacja w stanie spoczynku)

Δv – przyrost objętości wody od temperatury spoczynku do średniej temperatur zasilania i powrotu (t_z+t_p)/2, dm³/m³

Przyjęto NW typu “A” zgodne z PN-91/B-02413 o V_c=25dm³ (V_u=19,8 dm³)

4.2 Rura bezpieczeństwa

$$d_{rb} = 8,08 \sqrt{Q_k} = 8,08 \sqrt{32,5} = 25,8 \text{ mm} \quad (7.10)$$

Q_k – moc kotła, kW

Przyjęto rurę stalową ze szwem dn=25mm (dw=26,8)

4.3 Rura wzbiornicza

$$d_{rw} = 5,23 \sqrt{Q_{\text{źr}}} = 5,23 \sqrt{32,5} = 16,7 \text{ mm} \quad (7.11)$$

Q_k – moc źródła ciepła, kW

Przyjęto rurę stalową ze szwem dn=25mm (dw=26,8) – minimalnie dopuszczalną

4.4 Rura przelewowa. Przyjęto rurę stalową ze szwem dn=25mm

4.5 Rura sygnalizacyjna. Przyjęto rurę stalową ze szwem dn=15mm

4.6 Rura odpowietrzająca. Przyjęto rurę stalową ze szwem dn=15mm

5. Ciśnienie czynne ($t_z/t_p = 95/70$)

Parter : $\Delta p_{cz} = 3,2 * 156 = 499 \text{ Pa}$

Piętro: $\Delta p_{cz} = 6 * 156 = 936 \text{ Pa}$

6. Obieg grzejnika najniekorzystniej usytuowanego (pomieszczenie 002, pion 1) orientacyjny opór liniowy

$$R_{or} = (1-0,33) * 499 / 46,8 = 7,2 \text{ Pa/m}$$

7. Kryterium rozruchu (Tichelmana)

$$H_{pr} \geq 2/3 H_{grz} \quad (7.12a)$$

Wysokość prowadzenia poziomych przewodów rozprowadzających w piwnicy względem środka kotła H_{pr} wynosi 2,2 m (15 cm pod stropem piwnic)

Wysokość środka najniżej położonego grzejnika względem środka kotła (dla wszystkich pionów) H_{grz} wynosi 3,2 m (15 cm pod stropem piwnic)

$$H_{pr} = 2,2 \geq 2/3 H_{grz} = 2/3 \times 3,2 = 2,13$$

Warunek jest spełniony

$$\Delta p_{cz pr} \geq \Sigma (R l + Z)_{pr} \quad (7.12b)$$

$$\Delta p_{cz pr} = 2,2 \times 156 = 343 \text{ Pa}$$

Zgodnie z obliczeniami opory przepływu dla działek (2a – 6) wynoszą:

$$92 (2a) + 42 (3) + 52 (4) + 117 (5) + 177 (6) = 480 \text{ Pa}$$

Warunek nie jest spełniony

Ze względu na spełnienie warunku 7.12a, pozostawiono przyjęte w obliczeniach średnice przewodów. W instrukcji eksploatacji instalacji c.o. należy zwrócić uwagę na unikanie odłączania najdalej położonych pionów w trakcie sezonu grzewczego i pracującej pozostałej części instalacji.

8. Zestawienie oporów miejscowych

nr działki	średnica	Grzejnik	zawór	odsadzka kolano	obej- ście	Trójnik	Zmiana średnicy	Inne	Suma ζ
1	25	Członowy 2,0	grzejnik. 6,0	2 x o 2 x 0,5	1,0	Odgałęz. zas + pow 1,5 + 1,0			12,5
	15	3,0	8,5	2 x 0,5	1,0	1,5 + 1,0			16,0
2	25		skośny x 2 2 x 3,0	4 x k 4 x 0,5		Przelot zas + pow 0,5 + 0,5	zas + pow 0,5+1,0		10,5
3	25					Przelot zas + pow 0,5 + 0,5	zas + pow 0,5+1,0		2,5
	32					Przelot zas + pow 0,5 + 0,5	zas + pow 0,5+1,0		2,5
4	40					Przelot zas + pow 0,5 + 0,5			1,0
5	40		skośny x 2 2 x 2,5			Rozpływ. zas + pow 3,0 + 3,0			11,0
6	40			5 x k 5 x 0,5			zas + pow 0,5+1,0	kocioł 2,5	6,5
7 i 10	25 lub 20	Członowy 2,0	grzejnik. 6,0	2 x o 2 x 0,5	1,0	Odgałęz. zas + pow 1,5 + 1,0			12,5
8	15	Członowy 3,0	grzejnik. 8,5	2 x o 2 x 0,5		Rozpływ. zas + pow 3,0 + 3,0			18,5
9	15					2 x Przelot zas + pow 2 x (0,5 + 0,5)	zas + pow 0,5+1,0		3,5
11	20	Członowy 2,0	grzejnik. 6,0	2 x o 2 x 0,5	1,0	Odgałęz. zas + pow 1,5 + 1,0			12,5
12	20		skośny x 2 2 x 3,0	2 x k 2 x 1,0	1,0	Odgałęz. zas + pow 1,5 + 1,0			11,5
13	15	Członowy 3,0	grzejnik. 8,5	2 x o, 2 x k 2 x (1,0+1,5)	1,0	Przelot zas + pow 0,5 + 0,5	zas + pow 0,5+1,0		19,0

9. Dobór średnic i obliczenia hydrauliczne

nr dz.	Q, kW	m, kg/h	l, m	d, mm	w/s	R, Pa/m	R l, Pa	ζ	Z, Pa	R l + Z	d, mm	w/s	R, Pa/m	R l, Pa	ζ	Z, Pa	R l + Z Pa	
Obliczenia obiegu grzejnika w pomieszczeniu 2, pion 1																		
Ciśnienie czynne 499 Pa, Ror = 7,2 Pa/m																		
1	1,2	41	2,0	25	0,02	0,4	1	12,5	5	6	15	0,06	7,8	16	16	29	45	
2	4,3	148	12,6	25	0,08	5,8	73	10,5	34	107								
3	7,9	272	8,0	32	0,08	4,3	34	2,5	8	42	25	0,14	17,9	143	2,5	25	168	
4	11,9	409	12,0	40	0,08	4,1	49	1,0	3	52								
5	13,6	468	9,0	40	0,11	5,5	50	11,0	67	117	Gdy wstępnie przyjęto dla dz. 1 średnicę 15, a dla dz. 3 średnicę 25, to suma oporów wyniosła 666 Pa , po korekcie średnic uzyskano 501 Pa							
6	25,9	891	3,2	40	0,19	18,5	59	6,5	118	177								
RAZEM:				46,8	RAZEM:				266		235	501						
501 > 499 różnica wynosi jednak tylko 0,4% (pozostawiono bez dalszych korekt)																		
Obliczenia obiegu grzejnika w pomieszczeniu 1, pion 1																		
Ciśnienie czynne 499 Pa,																		
7	1,1	38	1,5	25	0,02	0,3	0	12,5	5	5	20	0,03	0,8	1	12,5	6	7	
	Działki wspólne od 2 do 6										495							
				RAZEM:						500								
500 < 499 różnica wynosi jednak tylko 0,2% (pozostawiono bez dalszych korekt)																		
Obliczenia obiegu grzejnika w pomieszczeniu 101, pion 1																		
Ciśnienie czynne 936 Pa,																		
8	1,0	34	2,0	15	0,05	2,6	5	18,5	20	25								
9	2,0	69	5,6	15	0,10	19	106	3,5	18	124								
	Działki wspólne od 2 do 6										495							
				RAZEM:						644								
644 < 936 różnica wynosi 31% (nie ma możliwości skorygowania nadwyżki ciśnienia zmniejszeniem średnic instalacji) do zdławienia 292 Pa, dobrano średnicę kryzy 5,0 mm (292 Pa, 34 kg/h)																		

Obliczenia obiegu grzejnika w pomieszczeniu 102, pion 1																			
Jak dla grzejnika w pomieszczeniu 101																			
10	1,0	34	2,0	15	Jak dla działki 8														
do zdławienia 291 Pa, dobrano średnicę kryzy 5,0 mm (291 Pa, 34 kg/h)																			
Obliczenia obiegu grzejnika w pomieszczeniu 10, pion 4																			
Ciśnienie czynne 499 Pa,																			
11	0,9	31	1,5	20	0,03	0,7	1	12,5	6	7	15	0,05	2,3	4	16,0	19	23		
12	1,7	58	12,6	20	0,05	3,5	44	11,5	20	64	15	0,09	15,9	200	13,5	53	253		
Działki wspólne od 5 do 6											294							294	
				RAZEM:								365				RAZEM:			570
365 < 499 różnica wynosi 27%																			
(nie ma możliwości skorygowania nadwyżki ciśnienia zmniejszeniem średnic instalacji, korekta powoduje niedobór ciśnienia czynnego o 71 Pa tj. 14%)																			
do zdławienia 134 Pa, dobrano średnicę kryzy 5,5 mm (134 Pa, 31 kg/h)																			
Obliczenia obiegu grzejnika w pomieszczeniu 110, pion 4																			
Ciśnienie czynne 936 Pa,																			
13	0,8	28	7,1	15	0,04	2,0	14	19	15	29									
Działki wspólne od 5 do 6 i 12											358								
				RAZEM:								387							
387 < 936 różnica wynosi 59%																			
(nie ma możliwości skorygowania nadwyżki ciśnienia zmniejszeniem średnic instalacji)																			
do zdławienia 549 Pa, dobrano średnicę kryzy 3,8 mm (548 Pa, 28 kg/h)																			
ANALOGICZNIE LICZYMY OBIEGI GRZEJNIKÓW W POZOSTAŁYCH POMIESZCZENIACH																			

Określanie średnicy kryzy

Średnicę kryzy dławiącej nadwyżkę ciśnienia określić można wykorzystując wzór:

$$d_{kr} = 3,56 \sqrt[4]{m^2/\Delta p}, \text{ mm} \quad (7.13)$$

gdzie:

m – strumień czynnika grzejnego, kg/h

Δp – spadek ciśnienia na kryzie, Pa

7.3 Instalacje c.o. grawitacyjne wyposażone w zawory termostatyczne

Przedstawiony w podrozdziale 7.2 przykład obliczeniowy dotyczy projektowania instalacji c.o. grawitacyjnej wyposażonej w ręczne zawory przygrzejnikowe (głównie pełniące funkcję zaworu odcinającego, chociaż również zapewniające ręczne regulowanie dopływu czynnika grzejnego do grzejnika). W przypadku zastosowania w instalacji zaworów termostatycznych sama idea obliczeń instalacji nie ulegnie zmianie. Podstawową różnicą będzie wzrost udziału w całkowitych oporach przepływu obiegów najniekorzystniej usytuowanych grzejników (magistrala obliczeniowa) oporów przyłączy przygrzejnikowych. Będą bowiem większe opory na samym zaworze przygrzejnikowym. W uproszczeniu można przyjmować, że ζ dla zaworu termostatycznego wynosi 23. Dla poprawności przeprowadzanych obliczeń należy jednak wykorzystywać charakterystyki zaworów określone przez producenta dla konkretnej konstrukcji. W tabeli obliczeń hydraulicznych opór zaworu termostatycznego powinien zostać wyodrębniony z oporów działki “przygrzejnikowej”, co ułatwia obliczenia. Należy pamiętać, że dla ogrzewań grawitacyjnych należy stosować tzw. zawory termostatyczne o szczególnie małym oporze (o dużej przepustowości), które znajdują się w ofercie produkcyjnej niektórych wytwórców armatury regulacyjnej (Danfoss – zawory typu RTD-G, Heimeier – zawory itd)

Przykład 7.2:

Dobór średnic instalacji c.o. grawitacyjnej z rozdziałem dolnych dla założeń jak w przykładzie 7.1 wyposażonej w zawory termostaticzne

Przyjęto, że w instalacji zastosowane zostaną zawory termostaticzne typu RTD-G

Wartość współczynnika przepływu k_v zaworów RTD-G firmy Danfoss, m^3/h

Wielkość zaworu	Stała proporcjonalności regulacji, K				
	0,5	1,0	1,5	2,0	k_{vs}
RTD-G 15	0,40	0,70	1,20	1,45	2,70
RTD-G 20	0,50	0,90	1,45	1,90	4,70
RTD-G 25	0,55	1,15	1,70	2,25	7,40

Współczynnik przepływu określa charakterystykę hydrauliczną armatury regulacyjnej i oznacz strumień objętościowy wody (w m^3/h) przepływający przez zawór przy różnicy ciśnień 1 bar. Określa się go z zależności:

$$k_v = m/\sqrt{\Delta p}, m^3/h \quad (7.14)$$

m - strumień objętościowy wody, m^3/h

Δp – opór przepływu zaworu, bar

1. Zestawienie oporów miejscowych

nr działki	średnica	Grzejnik	zawór	odsadzka kolano	obejście	Trójnik	Zmiana średnicy	Inne	Suma ζ
1	25	Członowy 2,0		2 x o 2 x 0,5	1,0	Odgałęz. zas + pow 1,5 + 1,0			6,5
	15	3,0		2 x 0,5	1,0	1,5 + 1,0			7,5
2	25		skośny x 2 2 x 3,0	4 x k 4 x 0,5		Przelot zas + pow 0,5 + 0,5	zas + pow 0,5+1,0		10,5
2a	32		skośny x 2 2 x 2,5			Przelot zas + pow 0,5 + 0,5	zas + pow 0,5+1,0		7,5
3	32					Przelot zas + pow 0,5 + 0,5	zas + pow 0,5+1,0		2,5
4	40					Przelot zas + pow 0,5 + 0,5			1,0
5	40		skośny x 2 2 x 2,5			Rozpływ. zas + pow 3,0 + 3,0			11,0
6	40			5 x k 5 x 0,5			zas + pow 0,5+1,0	kocioł 2,5	6,5
7 i 10	25 lub 20	Członowy 2,0		2 x o 2 x 0,5	1,0	Odgałęz. zas + pow 1,5 + 1,0			6,5
8	15	Członowy 3,0		2 x o 2 x 0,5		Rozpływ. zas + pow 3,0 + 3,0			10,0
9	15					2 x Przelot zas + pow 2 x (0,5 + 0,5)	zas + pow 0,5+1,0		3,5
11	20	Członowy 2,0		2 x o 2 x 0,5	1,0	Odgałęz. zas + pow 1,5 + 1,0			6,5
12	20		skośny x 2 2 x 3,0	2 x k 2 x 1,0	1,0	Odgałęz. zas + pow 1,5 + 1,0			11,5
13	15	Członowy 3,0		2 x o , 2 x k 2 x (1,0+1,5)	1,0	Przelot zas + pow 0,5 + 0,5	zas + pow 0,5+1,0		11,5

2. Dobór średnic i obliczenia hydrauliczne

nr dz.	Q, kW	m, kg/h	l, m	d, mm	w, m/s	R, Pa/m	Rl, Pa	ζ	Z, Pa	Rl + Z, Pa	d, mm	w, m/s	R, Pa/m	Rl, Pa	ζ	Z, Pa	Rl + Z, Pa
Obliczenia obiegu grzejnika w pomieszczeniu 2, pion 1																	
Ciśnienie czynne 499 Pa, Ror = 7,2 Pa/m																	
Z.T	1,2	41		25	Zawór termostatyczny RTD-G 25					37	Wstępnie przyjęto dla ΔT = 2K (kv=2,25)						
1	1,2	41	2,0	25	0,02	0,4	1	6,5	3	4							
2	4,3	148	12,6	25	0,08	5,8	73	10,5	34	107	25	0,08	5,8	61	2	6	67
											32	0,04	1,3	3	7,5	6	9
3	7,9	272	8,0	32	0,08	4,3	34	2,5	8	42					1,0	3	38
4	11,9	409	12,0	40	0,08	4,1	49	1,0	3	52							
5	13,6	468	9,0	40	0,11	5,5	50	11,0	67	117	10,6 m – działka 2 dn 25						
6	25,9	891	3,2	40	0,19	18,5	59	6,5	118	177	2,0 m – działka 2a dn = 32 (z zaworami)						
RAZEM:				46,8	RAZEM:				225	162	536						
536 > 499 różnica wynosi 7%																	
skorygowano średnicę części działki 2, po korekcie 501 > 499, różnica 0% (pozostawiono bez dalszych korekt)																	
Obliczenia obiegu grzejnika w pomieszczeniu 1, pion 1																	
Ciśnienie czynne 499 Pa,																	
Z.T	1,1	38		25	Zawór termostatyczny RTD-G 25					32	przyjęto dla ΔT = 2K (kv =2,25)						
7	1,1	38	1,5	25	0,02	0,3	0	6,5	3	3							
Działki wspólne od 2 do 6										464							
				RAZEM:						499							
499 = 499 różnica wynosi 0%																	
(pozostawiono bez dalszych korekt)																	
Obliczenia obiegu grzejnika w pomieszczeniu 101, pion 1																	
Ciśnienie czynne 936 Pa,																	
Z.T	1,0	34		15	Zawór termostatyczny RTD-G 15					55	Wstępnie przyjęto dla ΔT = 2K (kv=1,45)						
8	1,0	34	2,0	15	0,05	2,6	5	10,0	13	18							
9	2,0	69	5,6	15	0,10	19	106	3,5	18	124							
Działki wspólne od 2 do 6										464							
				RAZEM:						661							
661 < 936 różnica wynosi 29%																	
(nie ma możliwości skorygowania nadwyżki ciśnienia zmniejszeniem średnic instalacji)																	
do zdławienia na zaworze 330 Pa (zamiast wstępnie przyjętych 55 Pa) kv = 0,59 dla zaworu RTG-G 15 daje to stałą proporcjonalności ok. 0,6 K (pozostawiono bez dalszych korekt)																	
Obliczenia obiegu grzejnika w pomieszczeniu 102, pion 1																	
Jak dla grzejnika w pomieszczeniu 101																	
Z.T	1,0	34		15	Jak dla działki 8												
10	1,0	34	2,0	15													
Obliczenia obiegu grzejnika w pomieszczeniu 10, pion 4																	
Ciśnienie czynne 499 Pa,																	
Z.T	0,9	31		20	Zawór termostatyczny RTD-G 20					27	Wstępnie przyjęto dla ΔT = 2K (kv=1,90)						
11	0,9	31	1,5	20	0,03	0,7	1	6,5	3	47							
12	1,7	58	12,6	20	0,05	3,5	44	11,5	20	64							
Działki wspólne od 5 do 6										294							
				RAZEM:						432							
432 < 499 różnica wynosi 13%																	
do zdławienia na zaworze 94 Pa (zamiast wstępnie przyjętych 27 Pa) kv = 1,01 dla zaworu RTG-G 20 daje to stałą proporcjonalności ok. 1,2 K (pozostawiono bez dalszych korekt)																	
Obliczenia obiegu grzejnika w pomieszczeniu 110, pion 4																	
Ciśnienie czynne 936 Pa,																	
Z.T	0,8	28		15	Zawór termostatyczny RTD-G 15					37	Wstępnie przyjęto dla ΔT = 2K (kv=1,45)						
13	0,8	28	7,1	15	0,04	2,0	14	19	15	29							
Działki wspólne od 5 do 6 i 12										358							
				RAZEM:						424							
424 < 936 różnica wynosi 54%																	
(nie ma możliwości skorygowania nadwyżki ciśnienia zmniejszeniem średnic instalacji)																	
do zdławienia na zaworze 549 Pa (zamiast wstępnie przyjętych 37 Pa) kv = 0,40 dla zaworu RTG-G 15 daje to stałą proporcjonalności ok. 0,5 K (pozostawiono bez dalszych korekt)																	
ANALOGICZNIE LICZYMY OBIEGI GRZEJNIKÓW W POZOSTAŁYCH POMIESZCZENIACH																	

Wstępne określenie oporów przepływu dla zaworu w pomieszczeniu 2:

$k_v = 2,25$, $m = 0,043 \text{ m}^3/\text{h}$ (przyjęto gęstość wody o temperaturze 95°C - 961 kg/m^3)

$$\Delta p = (m / k_v)^2 = (0,043 / 2,25)^2 = 0,000365 \text{ bar} = 37 \text{ Pa}$$

Określenie wymaganego k_v zaworu dla pomieszczenia 101

$\Delta p = 330 \text{ Pa}$, $m = 0,035 \text{ m}^3/\text{h}$

$$k_v = m / \sqrt{\Delta p} = 0,035 / \sqrt{0,00330} = 0,61 \text{ m}^3/\text{h}$$

7.4 Skład paliwa

W kotłowni o mocy cieplnej do 25 kW skład paliwa może zostać umieszczony w wydzielonym pomieszczeniu lub w pomieszczeniu, w którym zlokalizowany jest kocioł. Powierzchnia składu paliwa powinna umożliwić składowanie paliwa na cały sezon. Popiół i żużel powinny być natomiast składowane w metalowych pojemnikach, które należy codziennie opróżniać. W kotłowni o mocy od 25 kW zarówno skład paliwa jak żużlownia powinny znajdować się w wydzielonych pomieszczeniach. Pomieszczenia te powinny mieć wentylację naturalną nawiewno-wywiewną zapewniającą w składzie paliwa 1-krotną wymianę powietrza w ciągu godziny, a w żużelni co najmniej 3-krotną. Skład paliwa powinien mieć zapewniony dojazd do zsypu paliwa, a w składzie żużla i popiołu należy zagwarantować łatwość usuwania produktów spalania. W kotłowni należy przewidzieć urządzenia i sprzęt do pionowego i poziomego transportu paliwa i żużla odpowiadające wielkości kotłowni.

7.4.1 Ilość składowanego paliwa

Roczne zapotrzebowanie paliwa na cele grzewcze wyznaczyć można ze wzoru Hottingera:

$$B_{co} = (86400 Q S_d y a) / (Q_i \eta_w \eta_s (t_i - t_e)) , \text{ kg} \quad (7.15)$$

w którym:

Q – zapotrzebowanie na ciepło budynku, kW

S_d – liczba stopniodni sezonu grzewczego określona w oparciu o dane klimatyczne dla danej miejscowości, K dzień (3800-4200)

y – współczynnik sposobu ogrzewania (0,95 – ogrzewanie bez przerw lub z osłabieniem w nocy, 0,75 – 16 h przerwy)

a – współczynnik uwzględniający zwiększenie zużycia paliwa w pierwszym sezonie grzewczym, dla budynków z cegły i tynkowanych 1,25 (uwzględniać współczynnik przy szacowaniu zużycia paliwa, nie uwzględniać przy określaniu wielkości składu paliwa)

Q_i – wartość opałowa paliwa, orientacyjnie w uproszczeniu można przyjmować:

węgiel kamienny – 23 000 kJ/kg

koks – 25 000 kJ/kg

olej EL – 42 000 kJ/kg (gęstość $0,82 \text{ kg} / \text{dm}^3$)

gaz

- miejski $17\,000 \text{ kJ} / \text{m}^3$

- ziemny GZ-35 kJ / m^3

- ziemny GZ-50 kJ / m^3

- płynny $108\,000 \text{ kJ} / \text{m}^3$

η_w – całoroczna sprawność źródła ciepła (dla kotłów na paliwo stałe 0,55-0,65 gdy są wyprodukowane przed 1980r, a 0,65-0,75 gdy wyprodukowane po 1980r)
 η_s – całoroczna sprawność sieci przesyłowej (0,90-0,95 w zależności od stanu technicznego instalacji)
 t_i – średnia temperatura obliczeniowa pomieszczeń budynku, °C
 t_e – obliczeniowa temperatura zewnętrzna, °C

Skład paliwa może być projektowany na zmagazynowanie paliwa na cały sezon grzewczy, w przypadku większych kotłowni i zapewnienia częstszych dostaw paliwa można projektować skład paliwa przy założeniu magazynowania na okres połowy sezonu grzewczego (ok. 3,5 miesiąca) lub krótszy okres czasu. Należy jednak pamiętać, że zużycie paliwa nie jest równomiernie rozłożone w czasie. Dla poszczególnych miesięcy roku, w przybliżeniu można przyjmować:

Tablica 7.2 Procentowy rozkład zużycia paliwa na cele grzewcze

miesiąc	X	XI	XII	I	II	III
%	8	13	20	20	20	13

Przykład 7.3:

Określić sezonowe zużycie paliwa (węgiel kamienny) kotłowni zlokalizowanej w Wałbrzychu o mocy cieplnej 200 kW (praca tylko na potrzeby c.o.)

Przyjęto do obliczeń:

$S_d = 4000$ – dla miasta Wałbrzych
 $y = 0,95$ – ogrzewanie bez przerw
 $a = 1,25$ - dla budynków z cegły i tynkowanych
 $Q_i = 23\,000 \text{ kJ/kg}$ - węgiel kamienny
 $\eta_w = 0,55$
 $\eta_s = 1,00$
 $t_i = 20^\circ\text{C}$
 $t_e = -20^\circ\text{C}$

$$B_{co} = (86400 \times 200 \times 4000 \times 0,95) / (23\,000 \times 0,55 \times 1,00 \times (20 + 20)) = 130\,000 \text{ kg} = \mathbf{130 \text{ t}}$$

W pierwszym sezonie grzewczym:

$$B' = B a = 130 \text{ t} \times 1,25 = \mathbf{162 \text{ t}}$$

7.4.2 Ilość składowanego żużla

Masę składowanego żużla określić można ze wzoru:

$$B_z = 0,007 B n A, \text{ kg} \quad (7.16)$$

w którym:

B – sezonowe zużycie paliwa, kg
 n – liczba dni składowania żużla (1 dzień kotłowni do 25 kW, 7 – 14 dni)
 A – zawartość żużla i popiołu w paliwie, (koks – 0,20, węgiel kamienny 0,25)

Dla danych z przykładu 7.2 określić ilość składowanego żużla

Przyjęto:

$$B = 130\,000 \text{ kg}$$

n = 14 dni

$$A = 0,25$$

$$B_z = 0,007 \times 130\,000 \times 14 \times 0,25 = \mathbf{3185\,kg / 14\,dni} \quad (1593\,kg / 7\,dni)$$

7.4.3 Powierzchnia składu paliwa

Wielkość składu paliwa określa się z zależności:

$$F_p = B(1+a) / (\rho_p h), m^2 \quad (7.17)$$

w którym:

B – ilość składowanego paliwa, kg

a – dodatek powierzchni na komunikację (od 0,1 do 0,25 przy czym należy przyjmować wartość dodatku tak, że im większa ilość składowanego paliwa tym jest on mniejszy),

ρ_p – gęstość nasypowa paliwa (600-800 kg/m³)

h – wysokość warstwy składowanego paliwa, m (w przypadku składowania paliwa w pomieszczeniach zaleca się 1,6 do 2,0, wolna przestrzeń pomiędzy warstwą paliwa, a stropem nie może być mniejsza niż 0,5m)

Przykład 7.5:

Dla danych z przykładu 7.2 określić powierzchnię składu paliwa

Przyjęto:

B = 52 000 kg - okres składowania 2 miesiące (0,20+0,20) x 130 000 kg

$$a = 0,15$$

$\rho_p = 750 \text{ kg/m}^3$ - węgiel kamienny orzech I i II

h = 2,0 - wysokość składu opału 2,5 m

$$F_p = 52\,000 \times (1+0,15) / (750 \times 2,0) = \mathbf{39,9\,m^2}$$

Przyjęto (wg rzutu piwnic) pomieszczenie o wymiarach 5,30 x 9,20 (48,8 m²)

7.4.4 Powierzchnia składu żużla

Wielkość składu żużla określa się z zależności:

$$F_z = B / (\rho_z h), \text{ m}^2 \quad (7.18)$$

w którym:

B – ilość składowanego żużla, kg

a – dodatek powierzchni na komunikację (od 0,1 do 0,25 przy czym należy przyjmować wartość dodatku tak, że im większa ilość składowanego paliwa tym jest on mniejszy),

ρ_p – gęstość nasypowa żużla (800 kg/m^3)

h – wysokość warstwy składowanego żużla, m (w przypadku składowania żużla w pomieszczeniach zaleca się 1,2 m)

Wskazane jest w przypadku mniejszych kotłowni składowanie żużla i popiołu w pojemnikach, wówczas zamiast powierzchni składu żużla określa się pojemność pojemników.

Przykład 7.6:

Dla danych z przykładu 7.3 określić powierzchnię składu żużla

Przyjęto:

$B = 3\,185\text{ kg}$ - okres składowania 14 dni

$\rho_p = 800\text{ kg/m}^3$

$h = 1,2$

$$F_z = 3\,185 / (800 \times 1,2) = 3,3\text{ m}^2$$

Przyjęto pomieszczenie o powierzchni 5 m^2 ($2,5 \times 2\text{ m}$) – z uwzględnieniem powierzchni na komunikację)

Przykład 7.7:

Dla danych z przykładu 7.3 określić ilość pojemników do składowania żużla

$$F_z = 3\,185 / 800 = 3,98\text{ m}^3$$

Do składowania żużla i popiołu przyjęto 4 kontenery o pojemności $1,1\text{ m}^3$ każdy