

Załącznik nr 2 – obliczenia zaworów bezpieczeństwa

Przypadek nr 1 – moc kotła gazowego

DOBÓR ZAWORU BEZPIECZEŃSTWA - MOC CIEPLNA (PRZEPŁYW PARY WODNEJ NASYCONEJ)

Dane dobranego zaworu bezpieczeństwa

1/2"	
Najmniejsza średnica kanału przepływowego	d: 12.0 mm
Powierzchnia kanału przepływowego	A: 113.1 mm ²
Dopuszczony współczynnik wypływu dla par i gazów	alfa: 0.42
Ciśnienie początku otwarcia	p: 3.00 bar
Przyrost ciśnienia początku otwarcia	b1: 10.0 %
Ciśnienie zrzutowe	p1: 3.30 bar
Ciśnienie odpływowe	p2: 0.00 bar
Moc cieplna zabezpieczanego urządzenia (wymagana)	Nw: 50.0 kW

Czynnik roboczy: para wodna nasycona

Temperatura zrzutowa	t1: 419.4 K
Temperatura zrzutowa	T1: 146.3 C
Ciepło parowania	r: 2125.7 kJ/kg

Obliczenia przepustowości wybranego zaworu (do wzorów wartości ciśnienia podstawiono w [MPa]):
Stosunek ciśnień absolutnych za i przed zaworem bezpieczeństwa

$$\beta = \frac{p_2 + 0.1}{p_1 + 0.1}$$

Obliczony stosunek ciśnień abs. za i przed zaworem bezp. Beta: 0.233

Krytyczny stosunek ciśnień (wg WUDT-UC-WO-A/01:2003 Tabl. 3) Beta kryt: 0.543

$$\beta < \beta_{kr}$$

Maksymalna wartość współczynnika rozprężania adiabatycznego

$$\Psi_{max} = \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{1}{\kappa - 1}} \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa + 1}}$$

Obliczona max. wartość współczynnika rozprężania adiabatycznego Psi_{max}: 0.471

Współczynnik rozprężania adiabatycznego

$$\Psi = \Psi_{max} = 0.471$$

Współczynnik K1 (zależny od właściwości czynnika) wyznaczony wg WUDT-UC-WO-A/01:2003 Rys. 1

Współczynnik K1 zależny od właściwości czynnika K1: 0.533

Współczynnik K2 zależny od stosunku ciśnień za i przed urządzeniem

$$K_2 = \frac{\Psi}{\Psi_{max}}$$

Obliczona wartość współczynnika K2 K2: 1.0

Przepustowość zaworu bezpieczeństwa (masowa)

$$m = 10 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \alpha \cdot A \cdot (p_1 + 0.1)$$

Obliczona przepustowość zaworu bezpieczeństwa (masowa) m: 108.8 kg/h

Największa moc cieplna zabezpieczanego urządzenia

$$N = \frac{m \cdot r}{3600}$$

Obliczona największa moc cieplna zabezpieczanego urządzenia N: 64.2 kW

Warunek N > Nw jest spełniony. Zawór bezpieczeństwa ma wystarczającą przepustowość

Przypadek nr 2 – przegrzanie wody w węzłownicowym podgrzewaczu wody

DOBÓR ZAWORU BEZPIECZEŃSTWA – MOC CIEPLNA (PRZEPŁYW PARY WODNEJ NASYCONEJ)

Dane dobranego zaworu bezpieczeństwa

Typ:	3/4"		
Najmniejsza średnica kanału przepływowego	d:	14.0 mm	
Powierzchnia kanału przepływowego	A:	153.9 mm ²	
Dopuszczony współczynnik wypływu dla par i gazów	alfa:	0.55	
Ciśnienie początku otwarcia	p:	6.00 bar	
Przyrost ciśnienia początku otwarcia	b1:	10.0 %	
Ciśnienie zrzutowe	p1:	6.60 bar	
Ciśnienie odpływowe	p2:	0.00 bar	
Moc cieplna zabezpieczanego urządzenia (wymagana)	Nw:	100.0 kW	
Czynnik roboczy: para wodna nasycona			
Temperatura zrzutowa	t1:	441.5 K	
Temperatura zrzutowa	T1:	168.3 C	
Ciepło parowania	r:	2055.3 kJ/kg	

Obliczenia przepustowości wybranego zaworu (do wzorów wartości ciśnienia podstawiono w [MPa]):
Stosunek ciśnień absolutnych za i przed zaworem bezpieczeństwa

$$\beta = \frac{p_2 + 0.1}{p_1 + 0.1}$$

Obliczony stosunek ciśnień abs. za i przed zaworem bezp. Beta: 0.132

Krytyczny stosunek ciśnień (wg WUDT-UC-WO-A/01:2003 Tabl. 3) Beta kryt: 0.543

$$\beta < \beta_{kr}$$

Maksymalna wartość współczynnika rozprężania adiabatycznego

$$\Psi_{max} = \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{1}{\kappa - 1}} \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa + 1}}$$

Obliczona max. wartość współczynnika rozprężania adiabatycznego Psi_{max}: 0.471

Współczynnik rozprężania adiabatycznego

$$\Psi = \Psi_{max} = 0.471$$

Współczynnik K₁ (zależny od właściwości czynnika) wyznaczony wg WUDT-UC-WO-A/01:2003 Rys. 1

Współczynnik K₁ zależny od właściwości czynnika K₁: 0.523

Współczynnik K₂ zależny od stosunku ciśnień za i przed urządzeniem

$$K_2 = \frac{\Psi}{\Psi_{max}}$$

Obliczona wartość współczynnika K₂ K₂: 1.0

Przepustowość zaworu bezpieczeństwa (masowa)

$$m = 10 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \alpha \cdot A \cdot (p_1 + 0.1)$$

Obliczona przepustowość zaworu bezpieczeństwa (masowa) m: 336.5 kg/h

Największa moc cieplna zabezpieczanego urządzenia

$$N = \frac{m \cdot r}{3600}$$

Obliczona największa moc cieplna zabezpieczanego urządzenia N: 192.1 kW

Warunek N > N_w jest spełniony. Zawór bezpieczeństwa ma wystarczającą przepustowość

Przypadek nr 3 – przebicie ścianki węzownicy

DOBÓR ZAWORU BEZPIECZEŃSTWA DO WYMIENNIKA CIEPŁA wg PN-B-02414:1999

Dane dobrane zaworu bezpieczeństwa

Typ:	1 1/2"	
Najmniejsza średnica kanału przepływowego	d:	35.0 mm
Powierzchnia kanału przepływowego	A:	962.1 mm ²
Dopuszczony współczynnik wypływu cieczy	alfac:	0.51
Ciśnienie początku otwarcia	p:	3.00 bar
Przyrost ciśnienia początku otwarcia	bl:	10.0 %
Ciśnienie zrzutowe	pl:	3.30 bar
Ilość zastosowanych zaworów bezpieczeństwa	n:	2 szt.

Czynnik roboczy: woda

Ciśnienie nominalne sieci ciepłowniczej	p _{nsc} :	6.0 bar
Temperatura obliczeniowa wody sieciowej	T _l :	333.2 K
Temperatura obliczeniowa wody sieciowej	t _l :	60.0 C
Gęstość wody sieciowej (przy temperaturze obliczeniowej)	ρ _o :	982.26 kg/m ³
Ciśnienie dopuszczalne instalacji ogrzewania wodnego	p _{dinst} :	3.0 bar
Pojemność instalacji ogrzewania wodnego	V:	0.8 m ³
Rodzaj wymiennika: węzownicowy dw= 32 mm		
Powierzchnia przekroju porzecznego jednej rurki węzownicy	A _w :	804.25 mm ²
Współczynnik zależny od różnicy ciśnień p _{nsc} -p	b:	1

Obliczenia:

Obliczenie wymaganej przepustowości zaworu M:

Ponieważ p_{nsc}>p_{dinst}, więc zgodnie z PN-B-02414:1999 p. 2.2.2.2 b) wartość M wynosi:

$$M = 447,3 \cdot b \cdot A_w \cdot \sqrt{(p_{nsc} - p)} \cdot \rho$$

Obliczona wartość wymaganej przepustowości zaworu M: 19.5 kg/s

Obliczona wartość wymaganej przepustowości zaworu M: 70301.8 kg/h

Przepustowość wybranego zaworu zaworu bezpieczeństwa wynosi:

$$m = 5,03 \cdot \alpha_c \cdot A \cdot \sqrt{(p_1 - p_2)} \cdot \gamma_1$$

Przepustowość 1 szt. wybranego zaworu m_l: 44436.3 kg/h

Przepustowość całkowita wybranych zaworów m: 88872.7 kg/h

Warunek m>M jest spełniony. Zawory bezpieczeństwa mają wystarczającą przepustowość.

Uwaga: Do wzoru na przepustowość zaworu bezpieczeństwa wartości ciśnień podstawiono w [MPa]

Przypadek nr 4 – przegrzanie kolektorów słonecznych

DOBÓR ZAWORU BEZPIECZEŃSTWA - MOC CIEPLNA (PRZEPŁYW PARY WODNEJ NASYCONEJ)

Dane dobranego zaworu bezpieczeństwa

Typ:	1/2"		
Najmniejsza średnica kanału przepływowego		d:	12.0 mm
Powierzchnia kanału przepływowego		A:	113.1 mm ²
Dopuszczony współczynnik wypływu dla par i gazów		alfa:	0.67
Ciśnienie początku otwarcia		p:	6.00 bar
Przyrost ciśnienia początku otwarcia		b1:	10.0 %
Ciśnienie zrzutowe		p1:	6.60 bar
Ciśnienie odpływowe		p2:	0.00 bar
Moc cieplna zabezpieczanego urządzenia (wymagana)		Nw:	20.0 kW
Czynnik roboczy: para wodna nasycona			
Temperatura zrzutowa		t1:	441.5 K
Temperatura zrzutowa		T1:	168.3 C
Ciepło parowania		r:	2055.3 kJ/kg

Obliczenia przepustowości wybranego zaworu (do wzorów wartości ciśnienia podstawiono w [MPa]):
Stosunek ciśnień absolutnych za i przed zaworem bezpieczeństwa

$$\beta = \frac{p_2 + 0.1}{p_1 + 0.1}$$

Obliczony stosunek ciśnień abs. za i przed zaworem bezp. Beta: 0.132

Krytyczny stosunek ciśnień (wg WUDT-UC-WO-A/01:2003 Tabl. 3) Beta kryt: 0.543

$$\beta < \beta_{kr}$$

Maksymalna wartość współczynnika rozprężania adiabatycznego

$$\Psi_{max} = \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{1}{\kappa - 1}} \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa + 1}}$$

Obliczona max. wartość współczynnika rozprężania adiabatycznego Psi_{max}: 0.471

Współczynnik rozprężania adiabatycznego

$$\Psi = \Psi_{max} = 0.471$$

Współczynnik K1 (zależny od właściwości czynnika) wyznaczony wg WUDT-UC-WO-A/01:2003 Rys. 1

Współczynnik K1 zależny od właściwości czynnika K1: 0.523

Współczynnik K2 zależny od stosunku ciśnień za i przed urządzeniem

$$K_2 = \frac{\Psi}{\Psi_{max}}$$

Obliczona wartość współczynnika K2 K2: 1.0

Przepustowość zaworu bezpieczeństwa (masowa)

$$m = 10 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \alpha \cdot A \cdot (p_1 + 0.1)$$

Obliczona przepustowość zaworu bezpieczeństwa (masowa) m: 301.2 kg/h

Największa moc cieplna zabezpieczanego urządzenia

$$N = \frac{m \cdot r}{3600}$$

Obliczona największa moc cieplna zabezpieczanego urządzenia N: 172.0 kW

Warunek N > N_w jest spełniony. Zawór bezpieczeństwa ma wystarczającą przepustowość

Przypadek nr 5 – przyrost objętości cieczy w instalacji solarnej

DOBÓR ZAWORU BEZPIECZEŃSTWA DO ZBIORNIKA WODY W PRZYPADKU ROZSZERZALNOŚCI CIEPLNEJ

Dane dobranego zaworu bezpieczeństwa

Typ:	1/2"	
Najmniejsza średnica kanału przepływowego	d:	12.0 mm
Powierzchnia kanału przepływowego	A:	113.1 mm ²
Dopuszczony współczynnik wypływu dla cieczy	alfac:	0.33
Ciśnienie początku otwarcia	p:	6.00 bar
Przyrost ciśnienia początku otwarcia	bl:	10.0 %
Ciśnienie zrzutowe	pl:	6.60 bar
Czynnik roboczy	:	woda
Ciśnienie dopuszczalne zbiornika (instalacji)	pdop:	6.0 bar
Procentowa zawartość substancji przeciw zamarzaniu w wodzie	S:	50 %
Ilość wody w zbiorniku (instalacji)	Vl:	0.20 m ³
Temperatura początkowa wody w zbiorniku (instalacji)	tpocz:	5.0 C
Temperatura końcowa wody w zbiorniku (instalacji)	tkonc:	130.0 C
Czas podgrzewania wody	t:	1.0 min

Obliczenia:

Gęstość wody w temperaturze początkowej	ro1:	1059.4 kg/m ³
Gęstość wody w temperaturze końcowej	ro2:	990.4 kg/m ³
Wymagana przepustowość zaworu bezpieczeństwa	me:	827.6 kg/h

$$m_e = \frac{60 \cdot V_l \cdot \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} - 1 \right) \cdot \rho_2}{t}$$

Przepustowość wybranego zaworu bezpieczeństwa (masowa)

$$m = 5.03 \cdot \alpha_c \cdot A \cdot \sqrt{(p_1 - p_2) \cdot \gamma_1}$$

Obliczona przepustowość wybranego zaworu bezpieczeństwa	m:	4443.1 kg/h
---	----	-------------

Warunek $m > m_e$ jest spełniony. Wybrany zawór bezpieczeństwa ma wystarczającą przepustowość.

Załącznik nr 3 – obliczenia pojemności naczyń wzbiorniczych

Naczynie wzbiornicze c.o.

Dobór naczynia wzbiorniczego przeponowego wg PN-B-02414:1999

Pojemność instalacji:	$V_i =$	0,80	m ³
Maksymalne obliczeniowe ciśnienie w naczyniu:	$p_{max} =$	3	bar
Ciśnienie statyczne w budynku:	$p_{st} =$	1	bar
Obliczeniowa temperatura na zasilaniu instalacji:	$t_z =$	60	°C
Przyrost objętości wody instalacyjnej:	$\Delta v =$	0,0168	l/kg
Gęstość wody instalacyjnej przy temp. $t_1 = 10^\circ\text{C}$:	$\rho_1 =$	999,7	kg/m ³
Ilość naczyń:	$n =$	1	
Pojemność użytkowa naczynia V_u :	$V_u =$	$V \times p_1 \times \Delta v / n$	dm ³
	$V_u =$	13,44	dm ³
Ciśnienie wstępne w przestrzeni gazowej:	$p =$	1,2	bar
Minimalna pojemność całkowita naczynia:	$V_n =$	29,9	dm ³

Dobrano naczynie wzbiornicze:

Ilość naczyń:	1
Pojemność naczynia:	50 l
Wysokość:	469 mm
Średnica:	409 mm
Przyłącze:	R 3/4
Dopuszczalne ciśnienie pracy:	PN6
Ciśnienie wstępne:	1,5 bar

Dobór średnicy rury wzbiorniczej

Minimalna średnica rury wzbiorniczej:	$d =$	$0,7 \times V_u^{0,5}$	mm
	$d =$	2,57	mm
Dobrano średnicę rury wzbiorniczej:	DN	20	

Dobór naczynia zbiorczego przeponowego dla instalacji c.w.u.

Pojemność zbiorników:	$V_i =$	1,50	m ³
Cisnienie otwarcia zaworu bezpieczeństwa:	$p_{max} =$	6	bar
Cisnienie końcowe w naczyniu:	$p_k =$	4,8	bar
Ciśnienie na dopływie do naczynia:	$p_{st} =$	3,5	bar
Cisnienie początkowe w naczyniu:	$p_p =$	3,2	bar
Obliczeniowa temperatura c.w.u.:	$t_z =$	60	°C
Przyrost objętości:	$\Delta v =$	1,68	%
Ilość naczyń:	$n =$	1	
Stopień napełnienia:	$S =$	$((p_{st}+1)-(p_p+1))/(p_{st}+1)$	
	$S =$	0,07	
Efektywność:	$E =$	$(1-S) \times ((p_k+1)-(p_{st}+1))/(p_k+1)$	
	$E =$	0,21	
Objętość wbiorcza:	$V_w =$	$\Delta v \times V_i$	
	$V_w =$	25,200	litrów
Objętość naczynia brutto:	$V =$	V_w / E	
	$V =$	120,5	litrów

Dobrano naczynie zbiorcze:

Ilość naczyń:	1
Pojemność naczynia:	200 l
Wysokość:	975 mm
Średnica:	635 mm
Przyłącze:	R 1 1/4
Dopuszczalne ciśnienie pracy:	PN10
Ciśnienie wstępne:	3,2 bar

Dobór naczynia zbiorczego instalacji solarnej wg PN-B-02414:1999, VDI 4708

Pojemność instalacji	V=	0,20	m ³
Ciśnienie otwarcia zaworu bezpieczeństwa	p max=	6	bar
Ciśnienie statyczne w budynku	p st=	1	bar
Temperatura graniczna w instalacji	t z=	180	°C
Przyrost objętości wody instalacyjnej	Δv=	0,077	l/kg
Gęstość wody instalacyjnej przy temp. T1 = 10°C	ρ1=	1070	kg/m ³
Ilość naczyń	n	1	
Pojemność użytkowa naczynia Vu	Vu=	16,48	dm ³
Ciśnienie wstępne w przestrzeni gazowej	p =	1,2	bar
Minimalna pojemność całkowita naczynia	Vn=	24,0	dm ³
Ubytki eksploatacyjne czynnika między uzupełnianiami, %	E=	2,00	%
Użytkowa pojemność naczynia z rezerwą eksploatacyjną	Vur=	20,48	dm ³
Ciśnienie wstępne z rezerwą eksploatacyjną	Pr=	1,5	bar
Całkowita minimalna pojemność naczynia zbiorczego z rezerwą	Vnr=	32,14	dm ³

Dobrano naczynie zbiorcze:

Ilość naczyń	1
Pojemność naczynia	33 l
Wysokość	469 mm
Średnica	280 mm
Przylącze	R ¾
Dopuszczalne ciśnienie pracy	PN10
Ciśnienie wstępne	1,5 bar

Dobór średnicy rury zbiorczej

Minimalna średnica rury zbiorczej	d=	$0,7 \times Vu^{0,5}$	mm
	d=	2,84	mm
Dobrano średnicę rury zbiorczej	DN	20	

Załącznik nr 4 – obliczenia mocy c.w.u.

UWAGA: do obliczeń przyjęto liczbę 30 użytkowników – co odpowiada dwóm drużynom piłkarskim oraz sędziom. Obliczenie mocy c.w.u. i pojemności zasobników dla wszystkich miejsc szatniowych skutkowałoby koniecznością zastosowania dwukrotnie większej mocy kotłów i pojemności zasobników, co byłoby rozwiązaniem bez uzasadnienia ekonomicznego, biorąc pod uwagę charakterystykę użytkowania budynku oraz zastosowanie kolektorów słonecznych.

Obliczanie zapotrzebowania ciepła dla przygotowania c.w.u. wg PN-90/B-01706 na podstawie ilości użytkowników

L.p.	Dane do obliczeń	Wartość	Jednostka
1	Liczba użytkowników do obliczeń, L	30	os.
2	Ciepło właściwe wody, Cw	4,19	kJ/kg*K
3	Gęstość zimnej wody, r	0,998	kg/dm ³
4	Temperatura wody ciepłej, tc	55	°C
5	Temperatura wody zimnej, tz	10	°C
6	Jednostkowe zużycie c.w.u., qj	80	dm ³ /os*d
7	Liczba godzin użytkowania instalacji w ciągu doby, T	8	h

$N_h = 4,06$ - współczynnik godzinowej nierównomierności rozbioru

$$N_h = 9,32 \cdot M^{-0,244}$$

$q_{d\text{śr}} = 2400$ dm³/d - średnie dobowe zapotrzebowanie na c.w.u.

$$q_{d\text{śr}} = L \cdot q_j$$

$q_{h\text{śr}} = 300,00$ dm³/h - średnie godzinowe zapotrzebowanie na c.w.u.

$$q_{h\text{śr}} = \frac{q_{d\text{śr}}}{T}$$

$q_{h\text{max}} = 1219,33$ dm³/h - maksymalne godzinowe zapotrzebowanie na c.w.u.

$$q_{h\text{max}} = q_{h\text{śr}} \cdot N_h$$

$Q_{\text{bzás}} = 63,8$ kW - obliczeniowa moc cieplna wymiennika dla układu bez zasobnika

$$Q_{\text{bzás}} = \frac{q_{h\text{max}} \cdot r \cdot c_w \cdot (t_c - t_z)}{3600}$$

$V_z = 1645$ dm³ - obliczeniowa pojemność zasobnika

$f = 1$ - współczynnik akumulacji

$$V_z = 90 \cdot f \cdot L \cdot \log(N_h)$$

$V_{z\text{dobr}} = 1500$ dm³ - dobrana pojemność zasobnika

$f_{rz} = 0,91$ - rzeczywisty współczynnik akumulacji

$Q_{\text{zas}} = 17,7$ kW - obliczeniowa moc cieplna wymiennika dla układu z zasobnikiem

$$Q_{\text{zas}} = 1,05 \cdot \frac{Q_{\text{bzás}}}{(N_h - 1) \cdot f_{rz} + 1}$$

$Q = 17,7$ kW - moc przyjęta do obliczeń wymiennika ciepła