

Tabela 11.

Porównanie wskaźników energetycznych: stan istniejący - wariant 2.

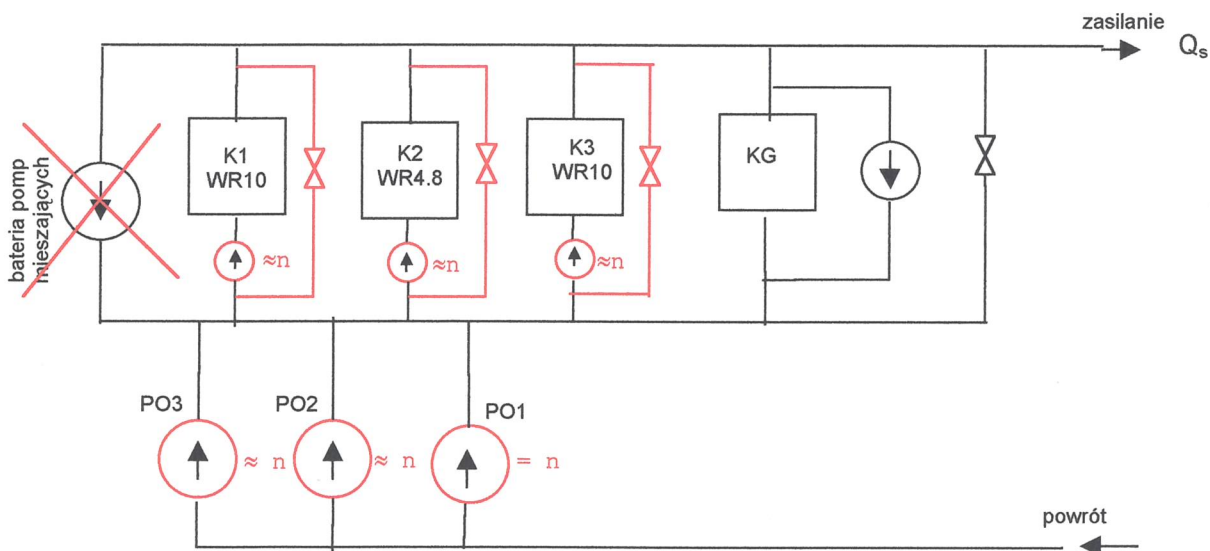
okres grzewczy	jesień	zima	wiosna
przepływ przez pompy (m ³ /h)	447	530	330
czas pracy (godz.)	2160	2160	1440
moc układu obecnego (kW)	207	231	145
moc układu zmodernizowanego (kW)	121	147	92
K(kWh/m ³) układ obecny	0,463	0,436	0,439
K(kWh/m ³) układ zmodernizowany	0,271	0,277	0,279
efekt energetyczny E(kWh)	185.380	182.023	76.032
suma efektu E(kWh)	443.435		
efekt finansowy (zł) (zał.22gr/kWh)	97.555		

Należy zwrócić uwagę, że realizacja tego wariantu, będącego rozwinięciem wariantu 2, powoduje znaczący wzrost efektywności przedsięwzięcia. Efekt modernizacji wzrasta z 70 tys. zł do prawie 100 tys. zł w jednym sezonie grzewczym, natomiast nakłady na zabudowę dodatkowej pompy stanowią ok. 15 % kosztów całego przedsięwzięcia.

Pompa mieszania zimnego pokrywa przepływy do ok. 330 m³/h. Większe zakresy mieszania zimnego mogą być uzyskiwane np. poprzez regulacyjny zawór na obejściu kłapy odcinającej pompę mieszania zimnego od głównych pomp sieciowych.

8.3. Wariant 3.

Zastosowanie pomp przewałowych na kotłach oraz zabudowa nowych pomp sieciowych z regulacją prędkości obrotowej.



Rys.21 Uproszczony schemat układu wodnego źródła. Wariant 3.

Praca układu przebiega następująco:

Pompy przewałowe pokonują opory przepływu przez kotły, realizując jednocześnie funkcję mieszania gorącego.

W związku z tym wysokość podnoszenia głównych pomp sieciowych może być niższa o (w przybliżeniu) wysokość oporów kotła. Stąd też moc napędów regulowanych na pompach sieciowych może być mniejsza (ok. 55-75 kW).

Układ ten pracuje bardzo efektywnie, pompy sieciowe pracują praktycznie z ciśnieniem wynikającym z dyspozycji sieci. Ilość pracujących pomp przewalowych wynika z ilości pracujących kotłów.

8.3.1 Parametry pomp sieciowych.

Wynikają one bezpośrednio z dyspozycji sieci i co do wartości wymaganej wysokości podnoszenia są takie same jak w przypadku pompy zmieszania zimnego w wariancie 2.

Równanie strat ssania:

$$\Delta h_1 = 1,236 \cdot 10^{-5} (Q_s/i_p)^2$$

Równanie strat tłoczenia:

$$\Delta h_2 = 2,861 \cdot 10^{-5} (Q_s/i_p)^2$$

Szacunkowe straty instalacji obejścia kotłów:

5 m dla $Q_s=600 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\Delta h_o = 1,29 \cdot 10^{-5} \cdot Q_s^2$$

Wysokość ciśnienia dyspozycyjnego.

Charakterystyka ciśnień dyspozycyjnych została uśredniona a jej postać pokazana jest na rysunku 17 w rozdziale 8.2.

$$H_{dmax} = 1,60926 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 + 1,05747 \cdot 10^{-2} \cdot Q + 40,79$$

$$H_{dmed} = 1,98898 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 + 9,03360 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 36,85$$

$$H_{dmin} = 2,36432 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 + 7,53656 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 32,90$$

Charakterystyka oporów dla pomp sieciowych:

$$H_r = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_o + H_{d(max,med,min)}$$

Po podstawieniu:

$$H_{rmax} = 4,097 \cdot 10^{-5} \cdot (Q_s/i_p)^2 + 2,89926 \cdot 10^{-5} \cdot Q_s^2 + 1,05747 \cdot 10^{-2} \cdot Q_s + 40,79$$

$$H_{rmed} = 4,097 \cdot 10^{-5} \cdot (Q_s/i_p)^2 + 3,27898 \cdot 10^{-5} \cdot Q_s^2 + 9,03360 \cdot 10^{-3} \cdot Q_s + 36,85$$

$$H_{rmin} = 4,097 \cdot 10^{-5} \cdot (Q_s/i_p)^2 + 3,65432 \cdot 10^{-5} \cdot Q_s^2 + 7,53656 \cdot 10^{-3} \cdot Q_s + 32,90$$

Przy pracy 2 pomp równania mają prostszą postać:

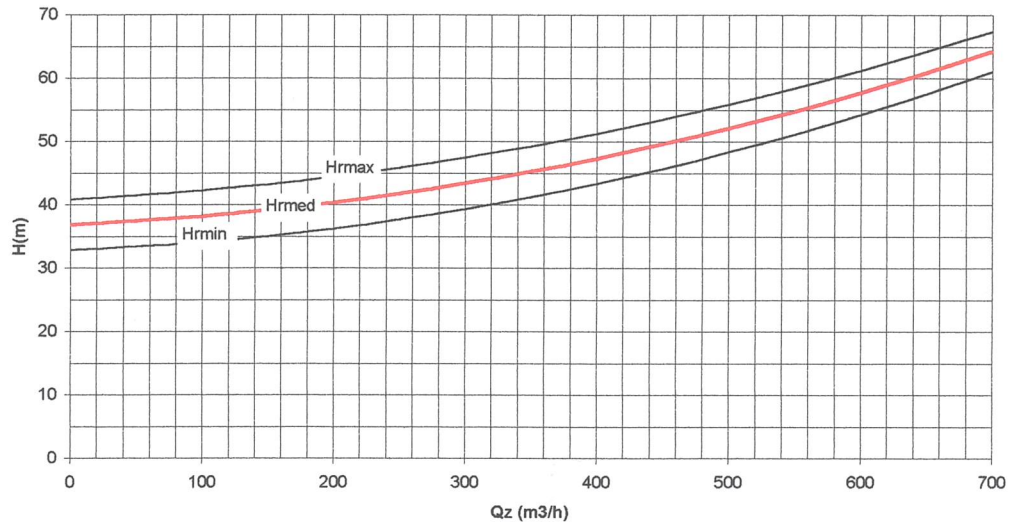
$$H_{rmax} = 3,92351 \cdot 10^{-5} \cdot Q_s^2 + 1,05747 \cdot 10^{-2} \cdot Q_s + 40,79$$

$$H_{rmed} = 4,30323 \cdot 10^{-5} \cdot Q_s^2 + 9,03360 \cdot 10^{-3} \cdot Q_s + 36,85$$

$$H_{rmin} = 4,67857 \cdot 10^{-5} \cdot Q_s^2 + 7,53656 \cdot 10^{-3} \cdot Q_s + 32,90$$

Przebieg charakterystyk pokazano na rys. 22.

Rys. 22. Charakterystyka oporów źródła i sieci $H_r=f(Q_z)$ dla pomp pracujących na obejście kotłów.



Na rysunku 23 pokazano proponowaną charakterystykę pompy sieciowej typu 15A40 oraz charakterystykę oporów. Parametry nominalne pompy powinny wynosić:

$$Q=280 \text{ m}^3/\text{h}$$

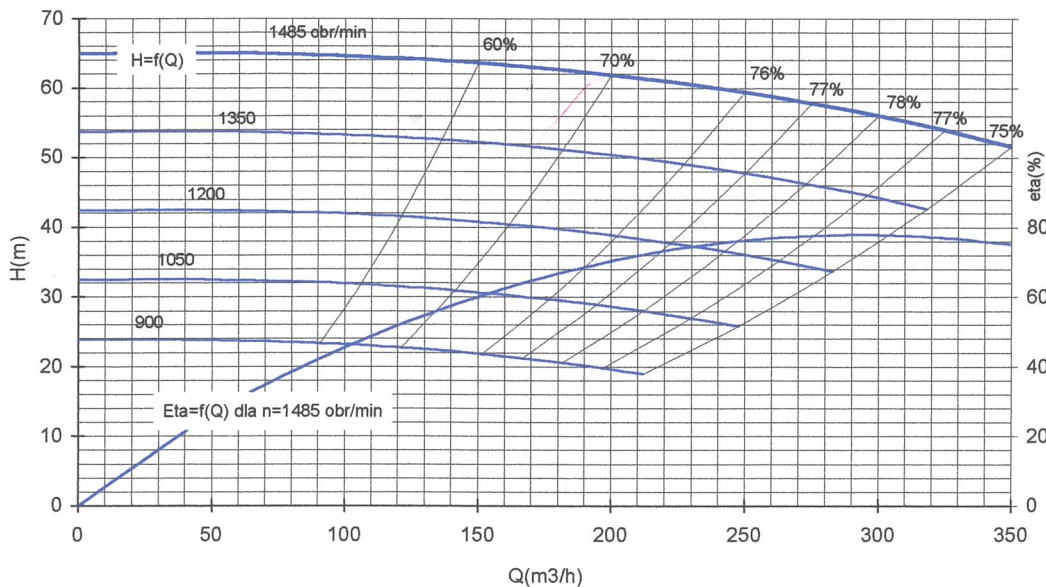
$$H=57 \text{ m}$$

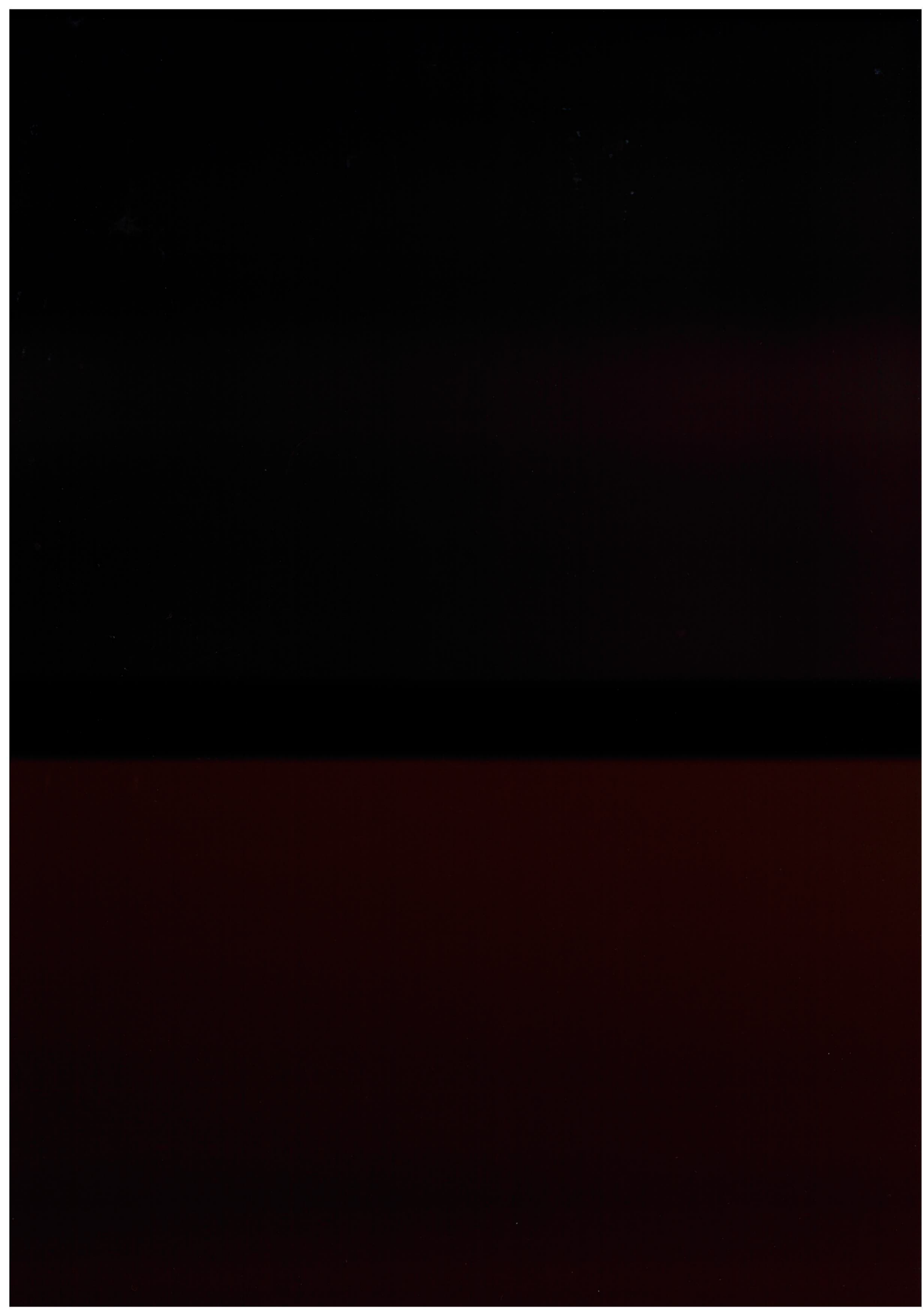
$$n=1485 \text{ obr}/\text{min}$$

$$\eta=77\%$$

a kształt powinien być zgodny z rysunkiem 23.

Rys.23. Charakterystyka regulacyjna pompy 15A40.
 $Q=280 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=57 \text{ m}$, $n=1485 \text{ obr}/\text{min}$.

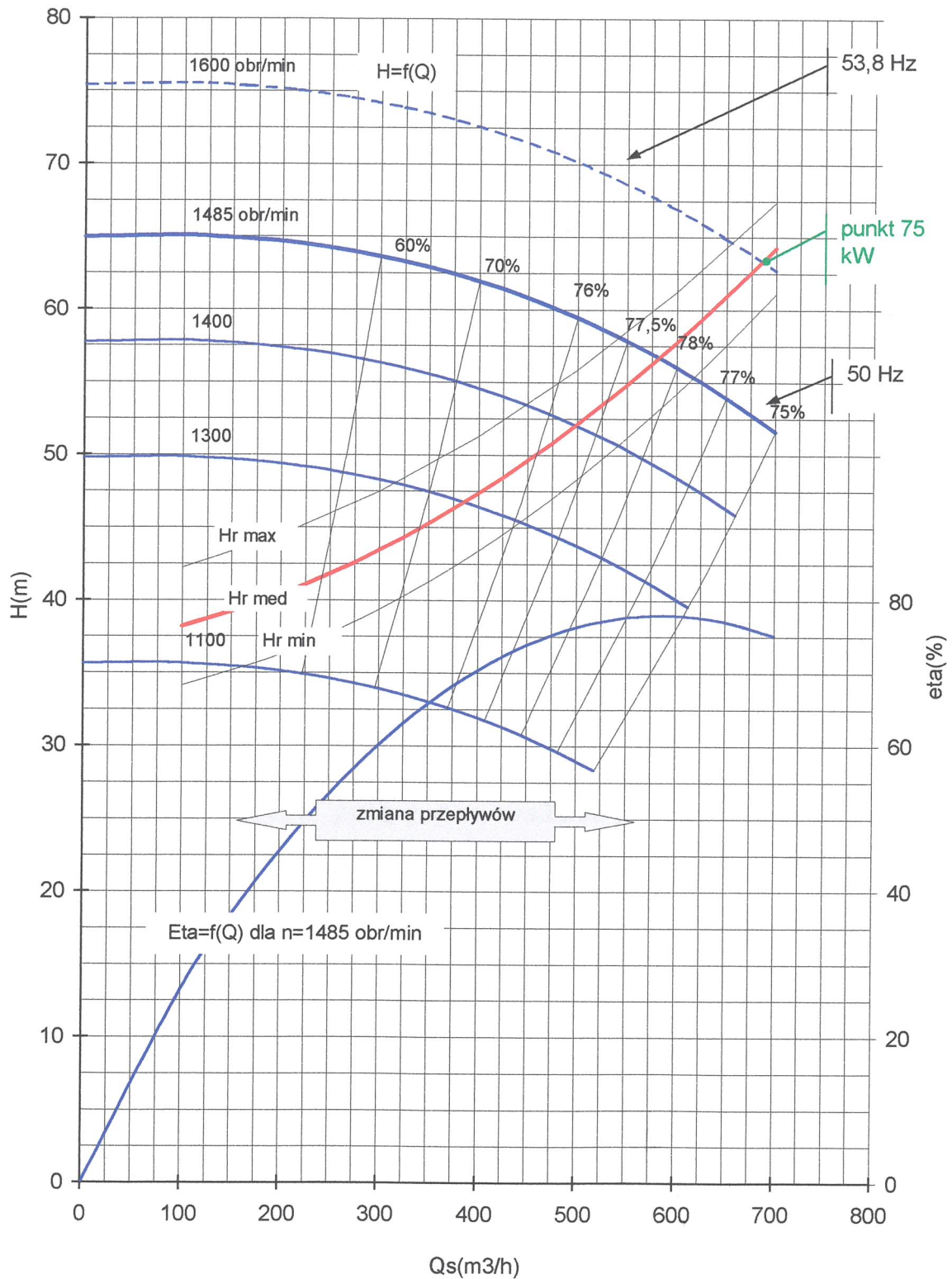




Należy zwrócić uwagę na bardzo dobry, stateczny kształt charakterystyki.

8.3.2 Współpraca pomp sieciowych.

Rys.24. Współpraca 2 pomp 15A40 regulowanych zmiennoobrotowo.



Układ dwóch pomp 15A40 wyposażonych w przetwornice częstotliwości (falowniki) bardzo dobrze współpracuje z siecią, uzyskując położenie obszaru sprawności maksymalnych w obszarze najczęściej występujących wydajności tj. od 330 do 530 m³/h.

Na uwagę zasługuje rezerwa mocy proponowanego układu. Zastosowanie napędu 75 KW (mimo, że dla przepływów do 560 m³/h) wystarczyłby napęd 55 kW) powoduje uzyskanie pewnego zapasu na ewentualne zwiększenie pola regulacji - krzywa przerywana na rysunku 24. Przy podniesieniu częstotliwości (a tym samym obrotów do ok. 1600 obr/min) układ dwóch pomp pozwala osiągnąć wydajność prawie 680 m³/h przy wysokości podnoszenia 63 m.

8.3.3 Pompy przewałowe i ich współpraca z instalacją kotłową.

Pompy przewałowe są zabudowane na rurociągach zasilających kotły. Za kotłem, ale przed zaworem regulacyjnym kotła, pobierana jest część wody i doprowadzana na rurociąg ssawny pompy przewałowej. W ten sposób realizowane jest zmieszanie gorące, indywidualnie na każdym kotle.

Ze względu na różne przepływy (i opory) kotłów WR10 i kotła WR 4.8 trzeba zastosować inne pompy przewałowe. Pompy te muszą pokonać nie tylko opór samego kotła, ale również instalacji kotłowej (tzn. rurociągu doprowadzającego i odprowadzającego wodę z kotła).

Kotły WR 10

Charakterystyka oporów pompy przewałowej jest sumą strat:

$$\Delta h_{rk} = \Delta h_3 + \Delta h_4 + \Delta h_5$$

gdzie:

Δh_3 - straty na rurociągu zasilającym kocioł WR10

Δh_4 - straty na kotle WR10

Δh_5 - straty na rurociągu odprowadzającym wodę z kotła WR10

Po podstawieniu otrzymujemy równanie strat w postaci

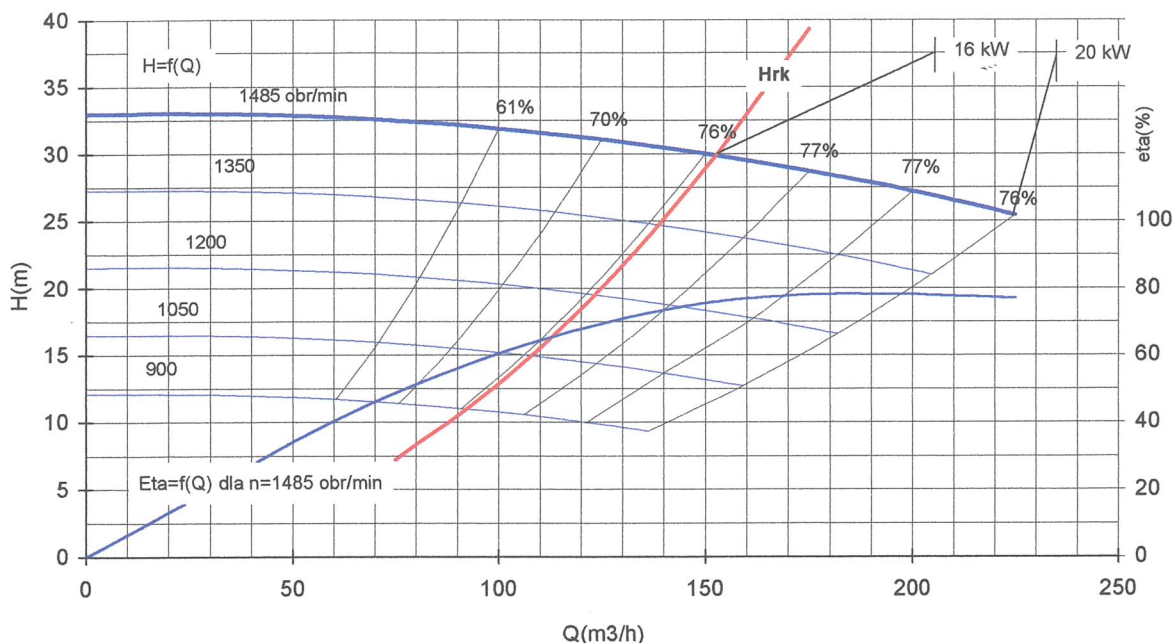
$$\Delta h_{rk} = 1,283 \cdot 10^{-3} \cdot Q_k^2$$

Dla przepływu maksymalnego wynoszącego 149,6 m³/h wymagana wysokość podnoszenia powinna być większa niż 28,7 m.

Stąd też minimalne parametry pompy przewałowej powinny wynosić: $Q = 150 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 30 \text{ m}$, $n = 1485 \text{ obr}/\text{min}$.

Charakterystyka pompy 12A32 współpracującej z kotłem WR10 pokazana jest na rysunku 25.

Rys.25. Charakterystyka regulacyjna pompy 12A32.
 $Q=150 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=30 \text{ m}$, $n=1485 \text{ obr}/\text{min}$.



Sprawdzenie warunku zapewnienia minimalnego ciśnienia za kotłem:

Układ szeregowo współpracujących pomp musi mieć wysokość podnoszenia co najmniej równą charakterystyce H_{pk150} pokazanej na rysunkach 12 i 15; dla przepływu maksymalnego $560 \text{ m}^3/\text{h}$, H_{pk150} wynosi 92 m.

Wysokość podnoszenia pompy sieciowej: 68 m (ok. 54 Hz)

Wysokość podnoszenia pompy przewałowej: 30 m (50 Hz)

Łączna wysokość podnoszenia pomp $> 92 \text{ m}$, zatem warunek jest spełniony.

Uwaga: wymaganą wysokość ciśnienia przy pracy z kotłem o temp. 150° C można osiągnąć również poprzez podniesienie prędkości obrotowej pompy przewałowej (w zakresie dopuszczalnej rezerwy napędu), co jest sposobem lepszym. Dla przepływu $150 \text{ m}^3/\text{h}$ można w ten sposób uzyskać wysokość podnoszenia 38-40 m (ok. 56 Hz), przy napędzie pompy o mocy 22 kW.

Kocioł WR4.8

Jak poprzednio charakterystyka oporów pompy przewałowej jest sumą strat:

$$\Delta h_{rk} = \Delta h_3 + \Delta h_4 + \Delta h_5$$

gdzie:

Δh_3 - straty na rurociągu zasilającym kocioł WR 4.8

Δh_4 - straty na kotle WR 4.8

Δh_5 - straty na rurociągu odprowadzającym wodę z kotła WR 4.8

Po podstawieniu otrzymujemy równanie strat w postaci

$$\Delta h_{rk} = 3,36 \cdot 10^{-3} \cdot Q_k^2$$

Dla przepływu maksymalnego wynoszącego $60 \text{ m}^3/\text{h}$ wymagana wysokość podnoszenia powinna być większa niż 12 m.

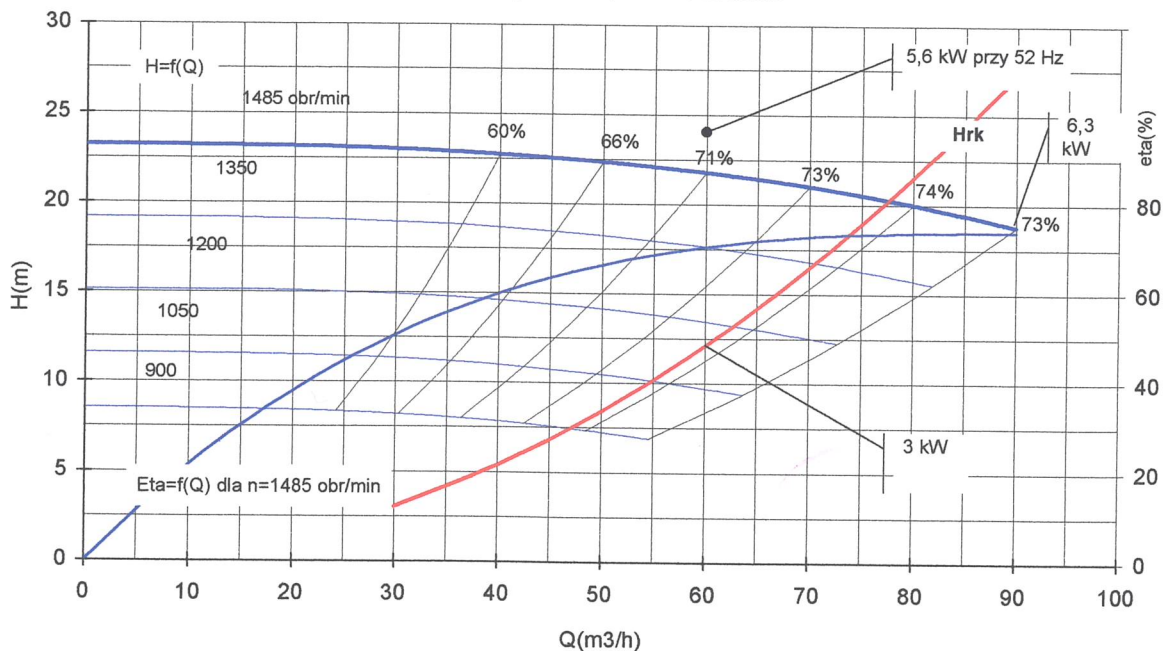
Stąd też minimalne parametry pompy przewałowej powinny wynosić: $Q=60 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=12 \text{ m}$, $n=1485 \text{ obr}/\text{min}$.

Jednakże ze względu na warunek minimalnego ciśnienia za kotłem parametry tej pompy muszą być wyższe i wynoszą:

$$\begin{aligned} Q &= 60 \text{ m}^3/\text{h} \\ H &= 22-24 \text{ m} \\ n &= 1485 \text{ obr}/\text{min} \end{aligned}$$

Charakterystyka pompy 8A25 współpracującej z kotłem WR4.8 pokazana jest na rysunku 26.

Rys.26. Charakterystyka regulacyjna pompy 8A25.
 $Q=60 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=22 \text{ m}$, $n=1485 \text{ obr}/\text{min}$.



8.3.4. Efekty regulacji.

Szacunek efektów wykonamy dla średnich przepływów jesiennych, zimowych i wiosennych.

W oparciu o informacje uzyskane z SPGK (patrz załącznik 1) przyjmujemy następujące średnie sposoby pracy źródła - tab.12

Tabela 12

Średnie przepływy źródła.

	jesienny	zimowy	wiosenny
kotły	WR10 + WR4.8	WR10+WR4.8+WR10	WR10 + WR4.8
przepływ przez kotły (m ³ /h)	131+54	131+54+131	131+54
przepływ Q _k (m ³ /h)*	185	316	185
przepływ na zmieszaniu gorącym (m ³ /h)	30	50	30
przepływ kotłowy do sieci (m ³ /h)	155	266	155
przepływ sieciowy (m ³ /h)	447	530	330
przepływ obejściem kotłów (m ³ /h)	292	264	175

*Uwaga: przy obliczeniach założono pracę kotłami z parametrami 150/70.

Tabela 10.

Wskaźniki energetyczne pracy pomp w wariantcie 3.

okres grzewczy		jesień	zima	wiosna
przepływ średni sieciowy (m ³ /h)		447	530	330
pompy sieciowe 15A40 2 szt.	przepływ (m ³ /h)	447	530	330
	wysokość podnoszenia (m)	49,5	53,7	44,5
	sprawność	0,734	0,746	0,685
	moc na wale pomp (kW)	82	104	58
pompa/-y przewałowa kotła WR10 12A32	przepływ (m ³ /h)	131	262	131
	wysokość podnoszenia (m)	22	22	22
	sprawność pompy	0,78	0,78	0,78
	moc na wale (kW)	10	20	10
pompa przewałowa kotła WR4.8 8A25	przepływ (m ³ /h)	54	54	54
	wysokość podnoszenia (m)	10	10	10
	sprawność pompy	0,71	0,71	0,71
	moc na wale (kW)	2	2	2
sumaryczna moc elektryczna zespołu pomp (kW)		108	144	82
współczynnik kosztu transportu K(kWh/m ³)		0,242	0,272	0,248

Tabela 11.

Porównanie wskaźników energetycznych: stan istniejący - wariant 3.

okres grzewczy	jesień	zima	wiosna
przepływ przez pompy (m ³ /h)	447	530	330
czas pracy (godz.)	2160	2160	1440
moc układu obecnego (kW)	207	231	145
moc układu zmodernizowanego (kW)	108	144	82
K(kWh/m ³) układ obecny	0,463	0,436	0,439
K(kWh/m ³) układ zmodernizowany	0,242	0,272	0,248
efekt energetyczny E(kWh)	213.380	187.747	90.763
suma efektu E(kWh)	491.890		
efekt finansowy (zł) (zał.22gr/kWh)	108.215		

Zainstalowanie pomp przewałowych regulowanych zmiennobrotowo powoduje odzyskanie znacznej ilości mocy traconej obecnie na układzie zmieszania zimnego.

Dodatkowo układ technologiczny staje się bardziej przejrzysty, zawsze pracuje tylko tyle pomp ile trzeba. Realizacja mieszania gorącego odbywa się praktycznie bez strat dławienia, potrzebna jest jedynie mała nadwyżka ciśnienia dla zapewnienia przepływu. Pompy sieciowe wyposażone są w napędy regulowane (falowniki), dzięki czemu w całym polu regulacji pracują w sposób optymalny wg charakterystyki dyspozycji.

9. Praca letnia.

Z danych otrzymanych z SPGK wynikają następujące parametry pracy z okresie letnim:

miesiące: V, VI, VII, VIII $Q_s = 141 - 261 \text{ m}^3/\text{h}$, $p_d = 0,3 \text{ Mpa}$

przy średniej temperaturze zasilania i powrotu $65^\circ/30^\circ \text{ C}$.

Latem pracuje tylko kocioł WR4.8. Sumaryczna wysokość oporów źródła i sieci jest praktycznie stała i wynosi (dla nominalnego obciążenia kotła $54 \text{ m}^3/\text{h}$) $31 + 9,8 = 40,8 \text{ m}$.

Obecnie w lecie pracuje pompa 250WL80 z przerobionym wirnikiem, która przy średniej wydajności $200 \text{ m}^3/\text{h}$ ma wysokość podnoszenia ok. 45 m przy sprawności ok. 60% . Nie można więc tutaj mówić o istotnej nadwyżce wysokości podnoszenia.

Moc na wale pompy 250WL80 wynosi 41 kW , moc elektryczna ok. **46 kW** a wskaźnik kosztu transportu wynosi **$0,23 \text{ kWh/m}^3$** .

Wymagane parametry okresu letniego można uzyskać zmodernizowanym układem pompowym w każdym z wcześniej zaprezentowanych wariantów.

Wariant 1 (rys. 14 i 15)

Pompa W18P-2 pracuje z parametrami $Q=200 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=45 \text{ m}$, $n=1050 \text{ obr/min}$ z poborem mocy elektrycznej **38 kW** .

Wariant 2 (rys. 19)

Rolę pompy sieciowej przejmuje pompa mieszania zimnego 15A40, która pracuje z parametrami $Q=200 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=45 \text{ m}$, $n=1280 \text{ obr/min}$ z poborem mocy również ok. **38 kW** .

Wariant 3 (rys. 23 i 26)

Pracuje pompa 15A40 z parametrami $Q=200 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=35 \text{ m}$, $n=1130 \text{ obr/min}$ z poborem mocy 28 kW oraz pompa 8A25 z parametrami $H=10 \text{ m}$, $Q=54 \text{ m}^3/\text{h}$, $n=1050 \text{ obr/min}$ z poborem mocy ok. 2,5 kW. Łącznie układ pracuje z mocą elektryczną ok. **31 kW**.

Efekty:

W każdym z wariantów można uzyskać zatem ok. 8-15 kW oszczędności. Nie są to wartości znaczące, w czasie sezonu letniego dają efekt na poziomie 23.000 - 43.000 kwh co daje efekt finansowy **5.000 - 9000 zł***.

* Uwaga: w powyższym bilansie nie uwzględniono mocy pompy mieszania gorącego.

10. Stabilizacja ciśnienia powrotu.

Dla poprawnej i stabilnej pracy układu ważne jest utrzymywanie stałego ciśnienia powrotu. Funkcję tą najlepiej spełni pompa regulowana zmiennoodrotowo i sterowana od ciśnienia w kolektorze ssawnym pomp sieciowych.

Z uzyskanych informacji dotyczących średnich wielkości uzupełnienia na poziomie $0,7 \text{ m}^3/\text{h}$ wynika, że parametry pompy z uwzględnieniem chwilowego zwiększenia zapotrzebowania powinny wynosić:

$$Q = 4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H = 50 \text{ m}$$

Warunki te dobrze spełnia np. pompa produkcji Leszczyńskiej Fabryki Pomp typu 32WR60-1,1 kW (532,- EUR) wyposażona w przetwornicę np. VLT 2811 (470 EUR).

11. Specyfikacja urządzeń dla poszczególnych wariantów.**Wariant 1****Tabela 12**

Zestawienie głównych urządzeń technologicznych.

lp.	Nazwa maszyny	Parametry	szt.	cena/szt. (zł)
1	Zmodernizowana pompa W18P-2	$Q=250 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=95 \text{ m}$ $n=1485 \text{ obr/min}$, 80°C $\eta=74\%$ $P_n=87 \text{ kW}$, $P_{\max}=110 \text{ kW}$	3	32.835
2	Silnik 2SG315M-4A (istniejący) z izolowanym łożyskiem	$P_s=132 \text{ kW}$ $n=1485 \text{ obr/min}$ $U=380\text{V}/660 \text{ V}$	2	1.500 (łożysko)