

zbliżają się do spadu przeciętnego 5,4‰. W Postołowie krzywa opracowana z przekroju i spadu daje za duże ilości wody, w czasie wyższych stanów, przyczem krzywa konsumcyjna wykazuje załom, nieuzasadniony zmianami w kształcie profilu poprzecznego. Przekrój ten, z dobrą liczbą obserwacji stanów nie dał się więc niestety użyć do wykresu objętości wielkich wód. W Skoczowie przeliczono krzywą konsumcyjną z profilu i przeciętnego spadu.

W podziałkach logarytmicznych naniesiono dwie wartości: bezwzględnych ilości wielkich wód, spływających na sekundę z dorzecza o pewnym obszarze, oraz spływów jednostkowych. Obliczone wartości współczynników dla krzywych prawdopodobieństwa, stany wodowskazowe odpowiadające pewnym prawdopodobieństwom pojawiania się oraz odpowiednie ilości wielkich wód są podane w zestawieniach. Z cyfr tych można wysnuć następujące wnioski.

Rozpiętość między współczynnikami dla wody corocznej (przeciętnej) i 1000-letniej wzrasta w miarę malenia dorzecza. Rozpiętość ta wynosi 1 : 3,3 dla Warszawy o dorzeczu 85,176 km<sup>2</sup>, natomiast dla Skoczowa o dorzeczu 297 km<sup>2</sup> zwiększa się do 1 : 7,84, a zatem przeszło dwukrotnie. Wysokość współczynników w żadnym wypadku nie osiąga cyfr, jakie otrzymano dla *M o l a r e* pod *G e n u a*, gdzie zdarzyła się ostatnio katastrofa przerwania zapory. Tam dla dorzecza 140 km<sup>2</sup> były obliczone przelewy i upusty na przepuszczenie 800 m<sup>3</sup>/s (6,25 m<sup>3</sup>/s z km<sup>2</sup>) i uważano tę wodę

za 20-letnią. Wielka woda, która spowodowała katastrofę, osiągnęła odpływ powyżej 2000 m<sup>3</sup>/s t. j. 15 m<sup>3</sup>/s z km<sup>2</sup>. Warunki opadowe na zachodnim skłonie Apenin tuż przy brzegu morskim są jednak odmienne niż w Karpatach, niewystawionych na bezpośrednie działanie wiatrów zachodnich, a następnie stoki Karpackie są mniej strome od stoków Apenińskich. Na wykresie podane punkty współczynników dla *M o l a r e* odbiegają znacznie od wartości dających się odczytać przez przedłużenie krzywych.

W świetle powyższych cyfr spór o objętość wielkiej wody, jaką Wisła prowadzi pod Krakowem przedstawia się w ten sposób, iż objętość 1815 m<sup>3</sup>/s wielkiej wody obliczonej przez b. Namiestnictwo odpowiada prawie dokładnie 10-letniej wielkiej wodzie podczas gdy 3889 m<sup>3</sup>/s, obliczaną przez b. Wydział Krajowy odpowiada około 250-letniej wielkiej wodzie, w końcu przez b. Ministr. R. P. we Wiedniu przyjęte 3300 m<sup>3</sup>/s odpowiada około 120-letniej wodzie. Z uwagi na niebezpieczeństwo, grożące Krakowowi na wypadek przepełnienia koryta wielkich wód w obrębie miasta, nie ulega żadnej wątpliwości, iż objętość podana przez b. Namiestnictwo była znacznie za mała i że właściwą do obliczenia profilu wielkich wód w Krakowie, jest objętość podana przez b. Wydział Krajowy, a co najmniej ta, jaką przyjęło b. Ministerstwo Wiedeńskie, zwłaszcza po wybudowaniu zbiorników retencyjnych na Sele, Skawie, Przemszy i Małej Wiśle.

**Inż. Dr. Kazimierz Wóycicki**

## Zasady projektowania urządzeń hydroforowych

(dokończenie)

Dla wzoru wyżej podanego obliczyłem załączony nomogram (rys. 5), z którego można łatwo otrzymać, dla odpowiednio przyjętych wartości  $t, Q, p_{max}, p_{min}$  — potrzebną pojemność całkowitą zbiornika wodno-powietrznego.

Zazwyczaj odprowadzenie wody z kotła powinno być umieszczone nieco wyżej dna. Pewną partję zbiornika pozostawia się na zbieranie się w niej osadu, który co pewien czas spłukuje się. Wykres daje pojemność nad miejscem odprowadzenia wody z kotła. Część nieużyteczną (spód) można przyjąć równą około 5‰ części obliczonej.

Korzystnem jest, co zresztą odpowiada przyjętym zasadom, instalowania nie jednego agregatu pomp, lecz dwu z trzecim rezerwowym, lub trzech z czwartym rezerwowym. W ten sposób dostosowujemy się w pewnym stopniu do zwiększenia się, w miarę czasu istnienia wodociągu, rozbioru wody, ustawiając następny agregat dopiero po odpowiednim wzroście rozbioru wody. Podział pracy na kilka pomp pozwala przy nierównomiernym rozbiorze na zmniejszenie potrzebnej wielkości zbiornika hydroforowego.

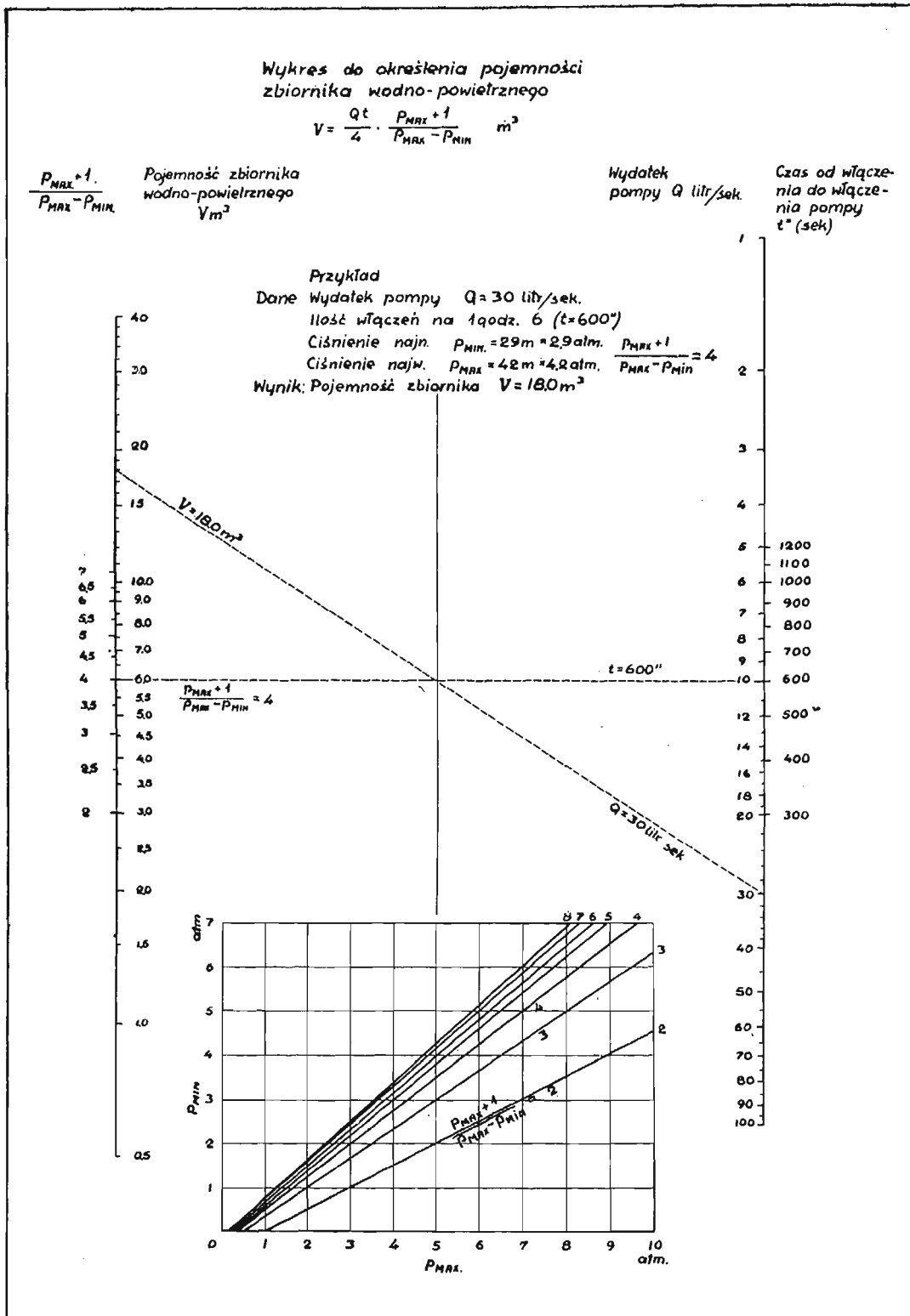
Każda nowa jednostka musi posiadać swój automat i należy je tak nastawiać, by włączały one dalsze pompy stopniowo przy nieco mniejszym ciśnieniu, wyłączały też stopniowo przy osiągnięciu pewnych niższych, ale o niewiele różniących się ciśnień.

Uzyskujemy wówczas dwa cele, przede wszystkim unikamy sumowania się jednoczesnego kilku maksimum mocy, pobieranej w chwil rozruchu, a następnie pozwalamy w okresie małego rozbioru wody pracować tylko jednej pompie, zmniejszając tem ilość włączeń. W okresie dużego rozbioru pracuje stale jedna pompa (względnie dwie), a przerywanie druga pompa, znowu przy wydatnie zmniejszonej ilości włączeń (rys. 6). W godzinach małego rozbioru pracuje tylko jedna pompa.

Jeśli na przykład przyjęliśmy wydatek pompy 30 litr/sek, dopuszczalną ilość włączeń 6 na godzinę, a graniczne ciśnienia 3,5 i 5 atmosfer to pojemność zbiornika wodno-powietrznego określi się na 18 m<sup>3</sup>. Przyczem pojemność użytkowa wyniesie

$$V_u = \frac{18000 (p_{max} - p_{min})}{p_{max} + 1} = \frac{18000 (5 - 3,5)}{5 + 1} = 4500 \text{ litr} = 4,5 \text{ m}^3$$

Jeżeli natomiast zainstalujemy zamiast jednej pompy, jak przyjęliśmy wyżej, dwie, o wydatku równym po 15 litrów/sek, przyczem praca drugiej pompy będzie odbywała się w granicach ciśnień 3,4 i 4,9 atmosfer, t. j. pompa druga będzie włączona automatycznie, gdy przy wzmożonym rozbiorze pompa pierwsza nie będzie w stanie pokryć zapotrzebo-



Rys. 5.

wania i ciśnienie znacznie spadać, wyłączona zaś będzie, gdy ciśnienie dojdzie prawie do najwyższej normy, wówczas pojemność zbiornika określimy tak, aby żadna z pomp nie była włączona częściej, niż 6 razy na godzinę.

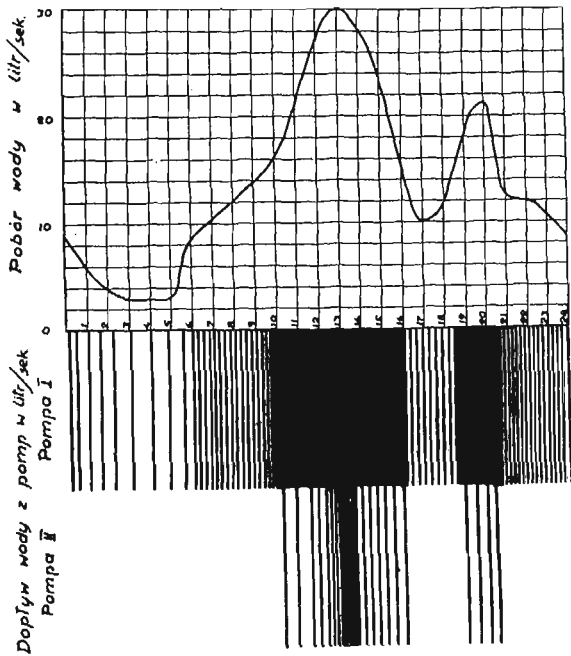
Pompa pierwsza pracuje przy mniej korzystnym ciśnieniu, oraz dla niej pojemność części powietrznej zbiornika jest mniejszą, przedewszystkiem więc ze względu na nią należy określić pojem-

ność kotła. Otrzymamy oczywiście pojemność  $V$  dwa razy mniejszą od poprzedniej, tj.  $9,0 \text{ m}^3$ . Pojemność tę należy skorygować, nieco ją powiększając z uwagi na najniższe dopuszczalne ciśnienie dla pompy drugiej ( $3,4 \text{ atm}$ ). Dla tego najniższego ciśnienia musimy nadać pojemność kotła

$$V' = V \frac{3,5 + 1}{3,4 + 1} = 9 \frac{4,5}{4,4} \approx 9,2 \text{ m}^3.$$

Pojemność użytkowa

$$V'' = \frac{9200 \cdot 1,5}{5,9} \approx 2340 \text{ litr.,}$$



Rys. 6.

a czas cyklu pracy drugiej pompy będzie

$$t = \frac{4.2340}{15} = 622 \text{ sek,}$$

czyli mniejszy od tego, który przyjęty był za dopuszczalny. Dwie pompy o jednakowym wydatku zmniejszyły objętość kotła do  $\sim 51\%$ . Dla niejednakowego wydatku pomp, jak łatwo się przekonać, pojemność zbiornika przy utrzymaniu  $t = 600$  sek. wzrasta. Dla trzech pomp do 10 litr/sek. otrzymujemy  $V = 6,0 \text{ m}^3$ ;

$$V' = 6 \frac{3,5 + 1}{3,3 + 1} \approx 6,3 \text{ m}^3; \quad V'' = \frac{6300 \cdot 1,5}{5,8} = 1630$$

$$\text{litr; } t = \frac{4 \cdot 1630}{10} = 652''$$

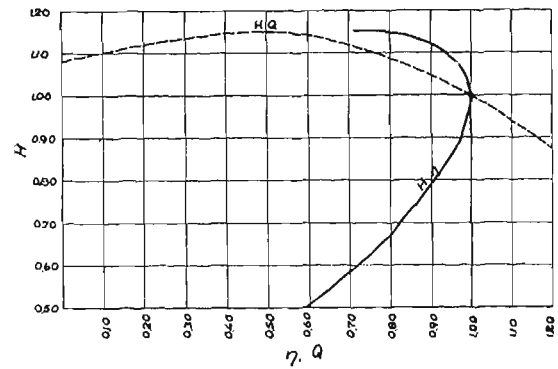
Pojemność zmalała do  $\sim 35\%$  pierwotnej.

Należy tu zwrócić uwagę na zmniejszenie się współczynnika sprawności pomp przy ich włączeniu równoległym. Pompy o tej samej charakterystyce przy włączeniu równoległym wykazują spadek sprawności o kilka do kilkunastu procent. Ten spadek sprawności wymaga od nas odpowiedniego doboru wydatku pomp, aby suma  $Q$  przy równoległej pracy pomp nie była niższą od maksymalnego rozbioru.

Z powyższego przykładu widać jak zwiększenie ilości agregatów pomp, stopniowo włączanych i wyłączanych, wpływa na zmniejszenie pojemności zbiornika wodno - powietrznego. Oczywiście jak daleko iść, ile dobrać jednostek, a przez to odpowied-

nie zmniejszyć pojemność zbiornika i pomieszczenia, zdecydować musi kalkulacja każdorazowa kosztów i wybrane rozwiązanie najekonomiczniejsze.

Przy wyborze granicznych ciśnień dla pracy urządzenia trzeba zwrócić uwagę na to, że im granice stosunku ciśnienia maksymalnego i minimalnego większe tem bardziej pogarsza się średnia wartość współczynnika sprawności, z jaką pompą pracuje. Wykres sprawności pompy w zależności od wysokości tłoczenia przedstawiony jest na rys. 7, w

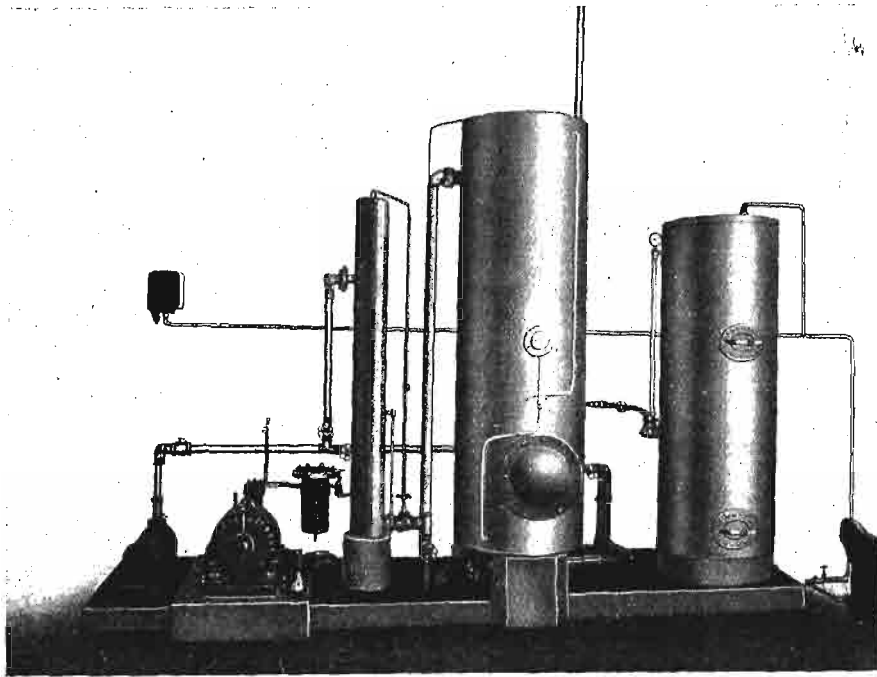


Rys. 7.

przyjęciu maksymalnej sprawności jako 1 i odpowiadającej tej sprawności wysokości tłoczenia równej jednostce. Urządzenie hydroforowe nie może pracować z całą sprawnością pompy stale, lecz zmiennie od największej, przy pewnym ciśnieniu średnim, do zmniejszającej się, dla ciśnień większych i mniejszych. Mając wykres, ujmujący w ten sposób sprawność pompy, łatwo zorientować się, z jaką średnią sprawnością będziemy pracować i w jakim stopniu przez przesunięcie granic ciśnień zmieni się średnia sprawność.

Przy zadanej dolnej granicy ciśnień (decydują o tem warunki miejscowe), im wyższy stosunek  $p_{max} : p_{min}$ , tem wyżej dotłoczyć wodę musimy. Wspólnie z poprzednim odbija się to na pracy zakładu w ten sposób, że na przetłoczenie  $1 \text{ m}^3$  wody zużyć trzeba większą ilość energii. Przy popędzie elektrycznym miarodajną mocą dla zaprojektowania motoru jest moc przy maksymalnym ciśnieniu w sieci. Agregat, pracując na zmiennym ciśnieniu, będzie prawie niezależnie od ciśnienia obciążał sieć prądu jednakową mocą, przez co przy ciśnieniach u dolnej granicy energia będzie zużywana bardzo nieekonomicznie. Wybór granic ciśnień powinien być taki, aby urządzenie pracowało w warunkach najbardziej korzystnych. Zbadana więc być musi suma rocznych kosztów ruchu urządzenia, na którą składać się będą z jednej strony oprocentowanie, amortyzacja, utrzymanie i konserwacja instalacji zbiorników, z drugiej strony koszt energii elektrycznej za przetłoczoną wodę. Minimum sumy tych wartości wskaże rozwiązanie najekonomiczniejsze. Miejsce położenia minimum sumy rocznych wydatków zależy przede wszystkim od kosztów prądu (im wyższe tem korzystniej jest iść w kierunku większej wartości stosunku  $p_{min} : p_{max}$ ), oraz do sumy godzin pracy pompy (przedłużenie czasu pracy również wymaga zwiększenia  $p_{min} : p_{max}$ ), a następnie od okresu trwałości zbiorników, tj. okresu amortyzacji urządzenia.

Dla przykładu podaję na rys. 8 krzywą zsumowanych kosztów rocznych dla różnych stosunków  $p_{min} : p_{max}$ , przy przyjęciu wydatku  $Q = 30$  ltr/sek,  $p_{min} = 35$  m, 8-o godzinowego ruchu pompy na dobę, współczynnika sprawności całego urzą-

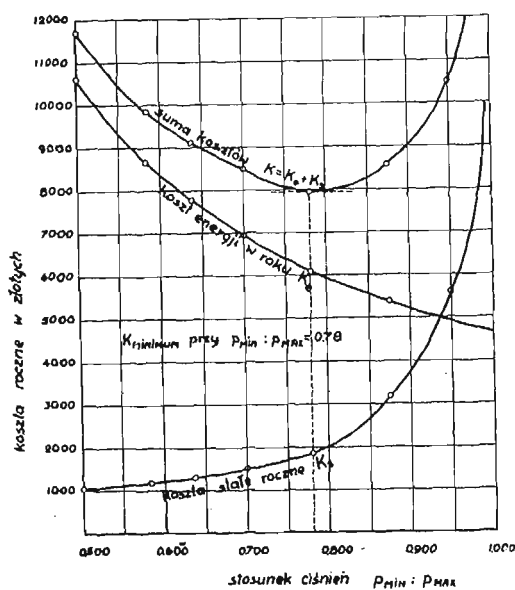


Rys. 7a.

Stacja wodociągu pneumatycznego z urządzeniem do odzielania wody wg, konstrukcji inż. B. Rudzińskiego.

dzenia 0,65, kosztu energii 10 gr/kWh, 15-letniego okresu amortyzacyjnego, wysokości stopy procentowej 6%, kosztów konserwacji 3%. Dla takich przyjęć otrzymuje się minimum kosztów rocznych przy wartości stosunku  $p_{min} : p_{max} = 0,78$ .

Co do wskazówek przy jakich stosunkach granicznych ciśnień należy pracować, istnieją dość różne zdania i tak podają: O c o l i c s a n y i  $p_{min} : p_{max}$



Rys. 8.

dopuszczalne aż do wartości 0,5, prof. P o m i a n o w s k i zaleca jako najstosowniejszy stosunek  $p_{max} : p_{min} = 1,5$  względnie  $p_{min} : p_{max} = 0,67$ , S e g e l k e n  $p_{min} : p_{max}$  dla mniejszych gmin równe 0,75 dla większych 0,85. Dla właściwego wyboru powyższego stosunku najodpowiedniej będzie przeprowadzić kalkulację jak wskazano w ustępie poprzednim.

Należy zwrócić uwagę, że w niektórych wypadkach ze względów taryfowych, gdy w wieczornych godzinach ograniczeni jesteśmy co do wysokości szczytów i przekroczenie ich powoduje przesunięcie opłat za energię elektryczną do taryfy droższej, może opłacać się zainstalowanie dodatkowej pompki o wydajności odpowiednio dobranej do zapotrzebowania w godzinach wieczornych i mocy niewielkiej, aby przy włączaniu pompy nie przekraczać oznaczonych taryfą granicznych mocy. Oczywiście stosuje się to do gmin zaopatrywanych w prąd elektryczny nie z własnej elektrowni, a z centrali okręgowych i tylko dla gmin mniejszych lub średniej wielkości. Koszt instalacji małej

pompy jest stosunkowo nieduży, tembardziej, że odpada dość znaczny koszt zbytecznego tu rozrusznika, gdyż motor może w tym wypadku być krótko zwarty.

Zbiornik wodociągowy prócz zadania wyrównawczego ma jednocześnie służyć jako rezerwa pożarowa. W instalacji hydroforowej oczywiście z takiej rezerwy pożarowej jesteśmy zmuszeni zrezygnować, możemy ją jednak zastąpić przewidując na stacji pomp możliwość włączenia w przewody lewarowy i tłoczny motopompy, uruchamianej w koniecznym wypadku, przyczem mamy tu tę korzyść, że możemy w chwili potrzebnej podnieść czasowo ciśnienie w sieci, wyłączając hydrofor i pompując wodę bezpośrednio do sieci.

W końcu dla uzupełnienia uwag dodaję, że w razie obawy krócej lub dłużej trwającej przerwy w dostawie prądu, spowodowanej jakimś wypadkiem na linii, można zabezpieczyć się ustawianiem na stacji pomp silnika spalinowego z generatorem, uruchamianego momentalnie i na czas stosunkowo bardzo krótki we wspomnianych wypadkach. Oczywiście wielkość tego agregatu obliczona być powinna nie na uruchomienie całej liczby pomp, lecz tylko jednej z nich, dla ograniczonego z konieczności w tym czasie zużycia wody. Koszt takiego urządzenia jest wielokrotnie mniejszy od kosztu zbiornika.