

Jan Umiński

BADANIA MAKSYMALNEJ PRZEPUSTOWOŚCI HYDRAULICZNEJ
ELEMENTÓW I URZĄDZEŃ CZYNNEJ STACJI WODOCIĄGOWEJ

Streszczenie. Artykuł nawiązuje do zagadnienia ustalania maksymalnej przepustowości hydraulicznej istniejących urządzeń wodociągowych. Eksploatowane urządzenia mogą posiadać niekiedy pewne rezerwy wydajności, których określenie i ewentualne wykorzystanie może mieć istotne znaczenie. Drogą do ustalenia takich rezerw jest szczególnie analiza hydraulicznych i technologicznych warunków pracy układu współpracujących ze sobą urządzeń wodociągowych.

W artykule przedstawiono metodykę oraz wyniki badań maksymalnej przepustowości hydraulicznej jednej ze stacji uzdatniania wody.

Eksploatowane urządzenia wodociągowe posiadają niekiedy pewne rezerwy wydajności, których wykorzystanie może mieć istotne znaczenie. Określenie takich rezerw wiązać się musi z ustaleniem maksymalnej zdolności produkcyjnej danego urządzenia lub też całego układu współpracujących ze sobą urządzeń. Przez porównanie określonej badaniami wydajności maksymalnej z obecną możemy ustalić rezerwę aktualną; przez porównanie zaś z zapotrzebowaniem perspektywicznym - rezerwę perspektywiczną (ewentualnie przyszły deficyt).

Potrzebne dane możemy przy tym uzyskiwać dwoma sposobami:

1. Drogą bezpośrednich pomiarów (np. na rurociągu - przez zainstalowanie manometrów na hydrantach, zastosowanie przepływomierza);
2. Drogą innych ustaleń (np. określenie wymaganej rzędnej linii ciśnienia na podstawie danych urbanistycznych i geodezyjnych, dopuszczalnego ciśnienia - przez uwzględnienie rodzaju materiału rurociągu, określenie maksymalnej wysokości podnoszenia pomp - na podstawie projektu ewentualnej modernizacji pompowni itp.).

Przy ustalaniu maksymalnej zdolności produkcyjnej zespołu urządzeń wodociągowych należy oczywiście dokonać kompleksowej analizy wszystkich danych z uwzględnieniem współpracy i współzależności wszystkich urządzeń wchodzących w skład danego zespołu. Niezależnie od tego - w każdym przypadku, w którym zwiększenie wydajności wymaga rekonstrukcji urządzeń istniejących konieczne jest również uwzględnienie techniczno-ekonomicznej strony zagadnienia, która może deocydować o uzasadnieniu ewentualnej rekonstrukcji.

Praktycznie - sposób określenia maksymalnej wydajności istniejących urządzeń wodociągowych może zależeć od ich rodzaju (ujęcia, pompownie, rurociągi i sieć wodociągowa, urządzenia do uzdatniania wody), wymaganej do

kładności badań, od możliwości przeprowadzenia niezbędnych pomiarów itd. Przykładowo – największy, możliwy do uzyskania wydatek rurociągu magistralnego można ustalić po określeniu: maksymalnego, dopuszczalnego ciśnienia na początku rurociągu, obecnej (przewidywanej) oporności, dopuszczalnej straty ciśnienia na całej długości lub rozpatrywanym odcinku wreszcie po określeniu dopuszczalnej prędkości przepływu. Natomiast maksymalną wydajność urządzenia uzdatniającego będziemy mogli określić po ustaleniu minimalnego czasu przepływu zapewniającego wymagany efekt technologiczny oraz określeniu maksymalnej przepustowości hydraulicznej urządzenia, o której decydować może np. dopuszczalna różnica zwierciadeł wody (ciśnien) na dopływie i odpływie.

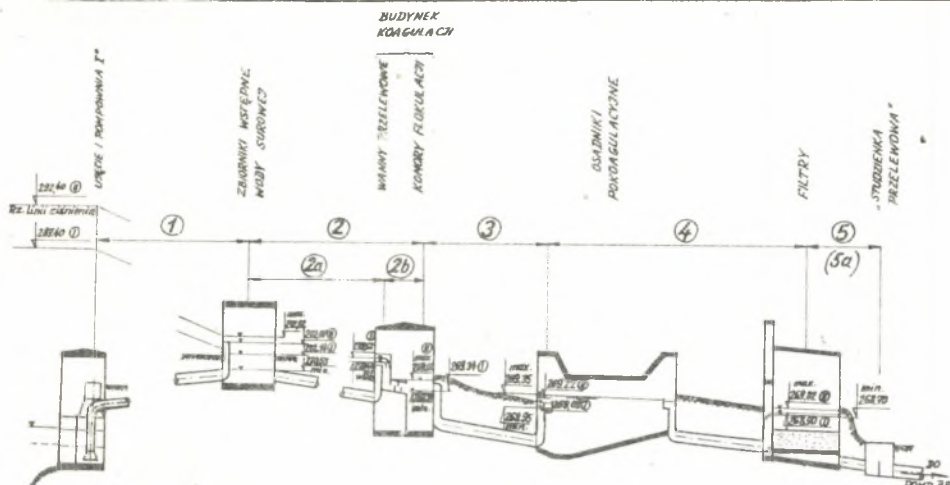
Przez maksymalną przepustowość hydrauliczną rozumiemy będziemy największe, możliwe do uzyskania natężenie przepływu przez urządzenie (w najbardziej korzystnych warunkach hydraulicznych) z pominięciem efektu technologicznego pracy tego urządzenia.

W przypadku urządzeń do uzdatniania wody o maksymalnej wydajności decydować może w równym stopniu sprawność technologiczna co i maksymalna przepustowość urządzenia zdeterminowana warunkami hydraulicznymi. W istniejących stacjach uzdatniania wody, gdzie mamy do czynienia z kompleksem współpracujących ze sobą urządzeń wodociągowych często się zdarza, że o możliwościach zwiększenia wydajności danej stacji – decyduje wyłącznie przepustowość hydrauliczna. Dotyczy to szczególnie istniejących stacji z urządzeniami typu otwartego, gdzie na ogół mamy ograniczone możliwości zmiany hydraulicznych warunków grawitacyjnego przepływu wody między urządzeniami lub też w samych urządzeniach.

W niniejszym opracowaniu przedstawimy wyniki badań przepustowości hydraulicznej jednej ze stacji uzdatniania wody przeprowadzonych przez Zespół Zaopatrzenia w Wodę Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Zastosowana metodyka może stanowić propozycję postępowania w analogicznych przypadkach ustalania rezerw w istniejących urządzeniach wodociągowych.

Rozpatrywana stacja zasilana jest z ujęcia wody powierzchniowej i składa się z urządzeń typu otwartego. Pompownia I stopnia (x s. 1) przetłacza wodę do zbiorników wstępnych, skąd woda spływa grawitacyjnie do budynku koagulacji. W budynku tym znajdują się tzw. wanny przelewowe, skąd woda rozprowadzana jest – poprzez szybkie mieszacze – do komór flokulacji z mieszaniem mechanicznym. Stamtąd woda doprowadzana jest na osadniki po-koagulacyjne, a następnie – na filtry pospieszne. Woda przefiltrowana odpływa do tzw. studzienki przelewowej (przed którą znajduje się punkt chlorowania wody), a następnie rurociągiem grawitacyjnym do pompowni II stopnia, która przetłacza wodę uzdatnioną do zbiorników sieciowych.

Aby ustalić maksymalną przepustowość hydrauliczną stacji – osobnym badaniem poddano rurociągi łączące poszczególne urządzenia, osobnym zaś – pracę samych urządzeń uzdatniających.



Rys. 1. Schemat wysokościowy stacji wodociągowej:

- ⊕ rzędne z I serii pomiarów ($Q_{\text{śr}} = 1,97 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$);
- ⊕ rzędne z II serii pomiarów ($Q_{\text{śr}} = 2,03 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)

Przewody łączące poszczególne obiekty i urządzenia stacji wodociągowej poddano szczegółowej analizie hydraulicznej. W pierwszym etapie dokonano parokrotnych pomiarów niwelacyjnych dla uzyskania rzędnych zwierciadeł wody w urządzeniach. Przy ustalaniu rzędnych wykorzystano aktualne pomiary geodezyjne zarówno terenu stacji jak i charakterystycznych punktów wewnątrz obiektów i urządzeń. Położenie zwierciadeł określono przy oalkowicie otwartych zasuwach na odcinku zbiorniki wody surowej - filtry oraz po stwierdzeniu, że przepływ wody przez stację ma w przybliżeniu charakter ustalony. Na podstawie odczytów wodomierzowych w pompowni na ujęciu dla każdej serii badań ustalono średnie natężenie przepływu wody przez stację oraz wysokości podnoszenia pomp w czasie pomiarów. Stwierdzone w ten sposób różnice wysokości położenia zwierciadeł wody oraz aktualna wydajność stacji pozwoliły na określenie oporności głównych przewodów łączących kolejne obiekty stacji.

Pewnego wyjaśnienia wymagają podstawy przeprowadzonych obliczeń hydraulicznych. Obliczenia te oparto na wzorze:

$$\Delta h = \sum C \cdot Q^2, \quad (1)$$

gdzie:

- Δh - całkowite straty energetyczne na rozpatrywanym odcinku,
- Q - natężenie przepływu wody przez stację,
- $\sum C$ - oporność oalkowita odcinka między urządzeniami.

Wzór (1) otrzymać możemy ze znanego wzoru:

$$\Delta h = \left(\sum Z + \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{v^2}{2g}, \quad (2)$$

gdzie:

- $\sum Z$ - oznacza sumę współczynników strat miejscowych,
- λ - współczynnik oporów liniowych,
- l - długość przewodu,
- d - średnica,
- v - prędkość przepływu w przewodzie.

Podstawiając do (2) $v = \frac{Q}{A}$, gdzie A - pole powierzchni przekroju przepływowego oraz $\frac{\sum Z + \lambda \frac{l}{d}}{2g A^2} = C$ mamy postać wzoru (1). Możemy przy tym stwierdzić, że C jest - dla danego przewodu wartością stałą (pomijając nieznaczną zależność λ od prędkości).

Na ogół jednak - na odcinku między urządzeniami - mamy do czynienia z kilkoma przewodami współpracującymi szeregowo i równolegle (tak też było w omawianym przypadku). Przykład typowej sytuacji pokazuje rys. 2: przewód rozgałęzia się za pośrednictwem studzienki rozdzielczej na kilka przewodów rozprowadzających wodę do poszczególnych urządzeń. Przy tym przewody rozprowadzające mogą być:

- a) o jednakowych długościach i średnicach,
- b) o jednakowych średnicach, ale różnych długościach,
- c) o różnych średnicach i długościach.

Można wykazać, że w każdym z powyższych przypadków suma strat energetycznych między urządzeniami może być uzależniona od Q a λ k o w i t e g o natężenia przepływu Q oraz, że suma współczynników $C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum C$ jest wartością stałą. W rozpatrywanej stacji występuje najczęściej przypadek 2, tj., gdy $d_1 = d_2 = d_3 = d$, lecz $l_1 \neq l_2 \neq l_3$. Oporności jednostkowe dla równolegle pracujących rurociągów są wtedy jednakowe, na skutek czego porównując straty między studzienką rozdzielczą a urządzeniem II otrzymamy:

$$Q_1^2 l_1 = Q_2^2 l_2 \quad \text{a stąd} \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{l_2}{l_1}} \quad \text{czyli} \quad Q_1 = Q_2 \sqrt{\frac{l_2}{l_1}}$$

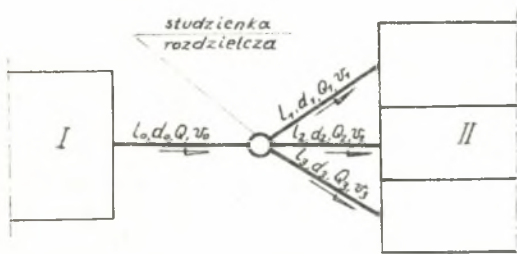
oraz

$$Q_2^2 l_2 = Q_3^2 l_3 \quad \text{a stąd} \quad \frac{Q_2}{Q_3} = \sqrt{\frac{l_3}{l_2}} \quad \text{czyli} \quad Q_3 = Q_2 \sqrt{\frac{l_2}{l_3}}.$$

Ponieważ

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_2 \sqrt{\frac{1_2}{1_1}} + Q_2 + Q_2 \sqrt{\frac{1_2}{1_3}} = Q,$$

możemy obliczyć wydatek jednego z przewodów rozdzielczych w zależności od wydatku całkowitego Q:



$$Q_2 = \frac{Q}{1 + \sqrt{\frac{1_2}{1_1}} + \sqrt{\frac{1_2}{1_3}}} = \frac{Q}{b},$$

gdzie

$$b = 1 + \sqrt{\frac{1_2}{1_1}} + \sqrt{\frac{1_2}{1_3}}.$$

Rys. 2. Przykładowy schemat rurociągów łączących urządzenia wodociągowe

Jeśli więc całkowitą stratę na odcinku między urządzeniami

$$\Delta h = \left(\sum Z_0 + \lambda_0 \frac{1_0}{d_0} \right) \frac{v_0^2}{2g} + \left(\sum Z_2 + \lambda_2 \frac{1_2}{d_2} \right) \frac{v_2^2}{2g} \quad (4)$$

choemy przedstawić w funkcji całkowitego wydatku Q, to po podstawieniu za

$$v_0 = \frac{Q}{A_0} \quad \text{oraz} \quad v_2 = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{Q}{b A_2} \quad \text{otrzymamy:}$$

$$\Delta h = \frac{\sum Z_0 + \lambda_0 \frac{1_0}{d_0}}{2g A_0^2} Q^2 + \frac{\sum Z_2 + \lambda_2 \frac{1_2}{d_2}}{2g A_2^2 b^2} Q^2 = (C_0 + C_2) Q^2 = \sum C Q^2.$$

Widzimy więc, że w rozpatrywanym przypadku $\sum C = \text{const}$, czyli wzór (1) stanowi pełną podstawę do ustalania charakterystyk różnorodnych połączeń między urządzeniami stacji.

W oparciu o wyniki pomiarów rzędnych zwierciadeł wody w urządzeniach (rys. 1) ustalono straty energetyczne Δh na poszczególnych połączeniach. Przy określonej wydajności stacji Q dało to możliwość obliczenia sumy współczynników oporności dla każdego z odcinków:

$$\sum C = \frac{\Delta h}{Q^2} \quad (5)$$

Średnie wartości ΣC przedstawiono w tabeli 1, przy czym dla skrócenia określeń przyjęto numerację poszczególnych odcinków jak na rys. 1. Znane wartości ΣC pozwoliły na określenie przepustowości odpowiadających charakterystycznym (np. maksymalnym i minimalnym) położeniom zwierciadeł wody w urządzeniach.

Tabela 1

Numer odcinka	1	2	2a	2b	3	4	5
Oporność ΣC $\left[\frac{g^2}{m^5} \right]$	4,00	0,744	0,478	0,266	0,0675	0,0475	0,375

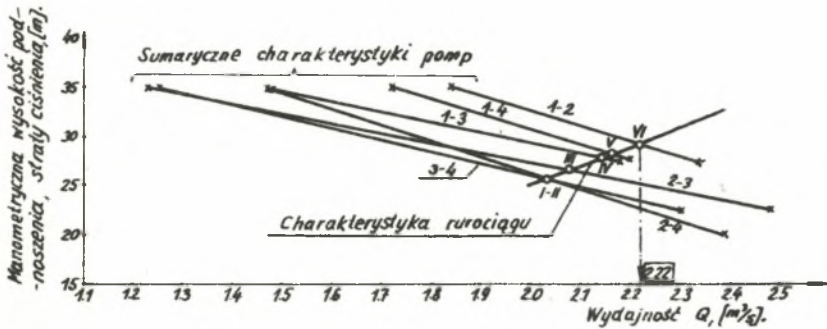
W pierwszym etapie dokonano analizy przepustowości każdego odcinka oddzielnie, jak również uwzględniono wpływ ewentualnych proponowanych przeróbek konstrukcyjnych na zwiększenie przepustowości. Przeanalizowano też skutki ewentualnego zainstalowania przyrządów pomiarowych i regulacyjnych przewidywanych w związku z planowaną modernizacją stacji wodociągowej. Natomiast w drugim etapie dokonano zbiorczej oceny maksymalnej przepustowości hydraulicznej całej stacji.

Szczegółowa analiza poszczególnych odcinków przebiegała w następujący sposób.

O d c i n e k 1: pompownia I stopnia - zbiorniki wody surowej

Przepustowość tego odcinka charakteryzują w sposób pośredni parametry pracy pomp na ujęciu. Dla zbadania ewentualnych rezerw w tych parametrach odtworzono charakterystyki poszczególnych zespołów na podstawie odczytów wodomierzowych i manometrycznych notowanych w raportach służby eksploatacyjnej w różnych okresach pracy pompowni. Ponieważ okazało się, że wszystkie (cztery) zespoły pompowe pracowały przy różnych zakresach wydajności i wysokości podnoszenia (przy różnych poziomach wody na ujęciu i w zbiornikach, w warunkach dławienia przepływu itp.) można było stwierdzić, że zestawione punkty pracy odpowiadają rzeczywistym charakterystykom $H=f(Q)$. Z czterech pomp dwie są robocze, zaś dwie - rezerwowe. Istnieje więc sześć możliwych kombinacji składu zespołów roboczych. Na podstawie charakterystyk indywidualnych sporządzono sumaryczne charakterystyki poszczególnych par zespołów pompowych, po czym zestawiono je z charakterystyką rurociągu opisaną wzorem $\Delta h = 4 Q^2$ (rys. 3 oraz tab. 1). Otrzymano w ten sposób sześć punktów współpracy pomp z rurociągiem, w których wydajność waha się w granicach 2,04 - 2,22 $\frac{m^3}{s}$. Charakterystyki sumaryczne na wykresie przedstawiono w sposób uproszczony jako odcinki prostej między punktami skrajnymi. Ponieważ w rzeczywistości charakterystyki te są parabolami i maksymalne, możliwe do uzyskania wydajności zespołów roboczych mogą być nieco

większe - wydajność $2,22 \pm 2,25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ można było uznać za możliwą do osiągnięcia na omawianym odcinku.



Rys. 3. Wykresy współpracy poszczególnych par zespołów pompowych z rurociągiem pompownia - zbiornik wody surowej

O d o i n e k 2: zbiorniki wody surowej - komory flokulacji

Biorąc za punkt wyjścia oporność odcinka 2 równą $0,744 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ (tab. 1) otrzymano maksymalną przepustowość odpowiadającą największej możliwej różnicy poziomów wody w zbiorniku i komorach flokulacji $\Delta h_{\max} = 3,51 \text{ m}$:

$$Q_{\max} = \left(\frac{\Delta h_{\max}}{\Sigma C_2} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{3,51}{0,744} \right)^{\frac{1}{2}} = 2,18 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}.$$

Dla środkowych położenia zwierciadeł wody (między maksymalnym i minimalnym) w zbiornikach i komorach flokulacji otrzymano $Q = 1,77 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, zaś dla skrajnie niekorzystnego układu poziomów (minimalnego w zbiornikach i maksymalnego w komorach) $Q_{\min} = 1,19 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

Odcinek 2 wykazał dość znaczną oporność; decyduje o tym częściowo średnica rurociągu między zbiornikami a studzienką rozdzielczą, będąca przyczyną dużych oporów hydraulicznych (przy normalnej wydajności stacji prędkość $v \approx 1,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$). Jednak największa stosunkowo strata energii następuje w wannach przelewowych. Stratę tę charakteryzuje oporność odcinka 2b (wann - komory flokulacji) równa $0,266 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$. W tej sytuacji przeanalizowano możliwość zmniejszenia oporności odcinka 2b przez przebudowę połączeń (przewodów z mieszaczami) w miejscach istnienia waniek przelewowych. Tylko przy założeniu, że oporność jednostkowa odcinka 2b będzie po przebudowie taka sama, jak obecnie na odcinku 2a otrzymano całkowitą oporność odcinka 2b równą $0,07 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$, zaś dla całego odcinka drugiego $\Sigma C = 0,548 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$. Wówczas

przepustowość maksymalna całego odcinka zbiorniki - komory flokulacji zwiększy się 1 będzie wynosić

$$Q'_{\max} = \left(\frac{3,51}{0,548} \right)^{\frac{1}{2}} = 2,50 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} ;$$

odpowiednio: $Q' = 2,05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, zaś $Q'_{\min} = 1,36 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

Jednocześnie rozważono możliwość zainstalowania na przewodach - podczas przebudowy połączeń - zwężek Venturiego - do pomiaru natężenia przepływu wody oraz sterowania układem proporcjonalnego dozowania reagentów. Obliczenia wykazały, że spowodowałyby to zwiększenie oporności odcinka 2 o $0,075 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^5}$ i tym samym przepustowość maksymalna zmalałaby do wartości

$$Q''_{\max} = \left(\frac{3,51}{0,548+0,075} \right)^{\frac{1}{2}} = 2,38 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} .$$

W analogiczny sposób przeanalizowano przepustowość pozostałych odcinków ustalając:

- na odcinku trzecim (komory flokulacji - osadniki) $Q_{\max} = 3,10 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$;
- na odcinku czwartym (osadniki - filtry) $Q_{\max} = 3,70 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

Przewód na odcinku piątym (filtry - studzienka przelewowa) pracuje - wbrew założeniom projektowym - pod ciśnieniem a nie przy swobodnym zwierciadle wody. Na skutek tego przepustowość wspomnianego odcinka nie można było rozpatrywać oddzielnie, lecz należało rozpatrywać generalnie przepustowość całego rurociągu grawitacyjnego, którym woda czysta odprowadzana jest do - znajdującej się w znacznej odległości - pompowni II stopnia. Aktualny wydatek tego rurociągu ($\sim 2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$) okazał się górną granicą jego przepustowości przy obecnym poziomie linii ciśnienia przed pompownią. Niemniej jednak udało się ustalić w przybliżeniu oporność odcinka filtry - studzienka przelewowa na podstawie rzędnej zwierciadła wody na filtrach, odczytu manometrycznego ciśnienia w rurociągu zbiorczym filtratu oraz pewnych danych eksploatacyjnych.

W przyszłości na terenie rozpatrywanej stacji zostanie wybudowany zbiornik wody czystej, do którego podłączone będą istniejące filtry. Maksymalny poziom zwierciadła wody w zbiorniku znajdować się będzie o 3,5 m niżej od aktualnej rzędnej linii ciśnienia w studziencie "przelewowej". Stworzy to możliwość powiększenia przepustowości odcinka filtry - projektowany zbiornik wody czystej (według przyjętej numeracji - odcinka 5a) w porównaniu z istniejącym odcinkiem 5. Dla orientacyjnego ustalenia tej przepustowości założono, że oporność odcinka 5a będzie równa oporności od

oinka 5, tj. $0,375 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$. Przy maksymalnym położeniu zwierciadła wody na filtrach dyspozycyjna strata ciśnienia na całym odcinku 5a wyniesie 5,02m przy minimalnym zaś 4,70 m. Obliczona na tej podstawie przepustowość odcinka 5a wynosi

$$q'_{\max} = \left[\frac{5,02}{0,375} \right]^{1/2} = 3,68 \frac{\text{m}^3}{\text{s}};$$

oraz

$$q' = \left[\frac{4,70}{0,375} \right]^{1/2} = 3,54 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}.$$

Bliższa analiza wykazała jednak, że przepustowość tego rzędu nie może gwarantować prawidłowej pracy filtrów. Ustalonej na odcinku 5 oporności $0,375 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ odpowiada bowiem całkowita strata ciśnienia 1,5 m, w tym średnia strata na samych filtrach $0,9\text{m}$ ($\sum C = 0,224 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$) oraz strata w rurociągu prowadzącym do studzienki "przelewowej" ok. $0,6 \text{ m}$ ($\sum C = 0,151 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$).

Ponieważ ciśnienie w rurociągu odprowadzającym filtrat - w warunkach omawianej stacji - jest za duże, dyspozycyjna strata ciśnienia na złożu filtracyjnym wynosi tylko ok. 1 m. Nie sprzyja to należytej eksploatacji filtrów (m.in. występuje zbyt duża częstotliwość płukania złożów) oraz praktycznie uniemożliwia zwiększenie prędkości filtracji i wydajności filtrów.

Obniżony poziom wody w projektowanym zbiorniku umożliwi stworzenie właściwych warunków pracy złożów filtracyjnych; przy analizie przepustowości odcinka 5a przyjęto zatem stratę ciśnienia na złożu w granicach 2,4-2,7 m na jaką pozwala konstrukcja istniejących filtrów. Wartości te otrzymano odejmując rzędną górnej powierzchni płyty drenażowej od rzędnych obu skrajnych, dopuszczalnych poziomów wody na filtrze.

Gdyby przy stwierdzonej w czasie pomiarów wydajności (ok. $2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$) średnia strata ciśnienia na filtrach mogła wynosić 2,4 m (przy czym przyrost tej straty byłby spowodowany wyłącznie większym stopniem zanieczyszczenia złożów) wówczas oporność samych filtrów byłaby większa od stwierdzonej w omawianych badaniach i wynosiłaby:

$$\sum C' = \frac{2,4 \cdot 0,224}{0,9} = 0,598 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}.$$

Przyjmując tę wartość do analizy przepustowości odcinka 5a otrzymujemy całkowitą oporność odcinka

$$\Sigma C = 0,598 + 0,151 \approx 0,75 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3},$$

zaś charakterystyczne przepustowości

$$Q'_{\max} = \left(\frac{5,02}{0,75} \right)^{1/2} = 2,59 \frac{\text{m}^3}{\text{s}};$$

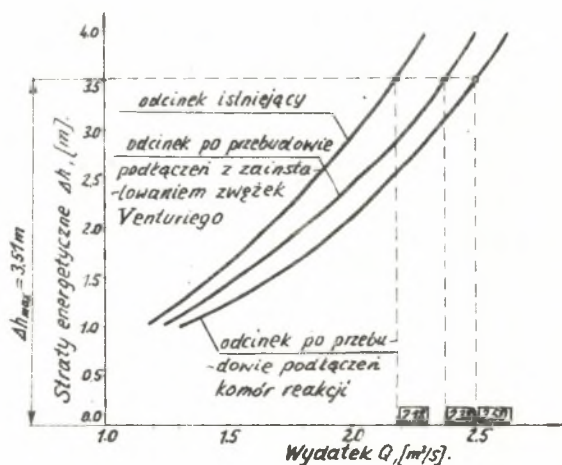
1

$$Q' = \left(\frac{4,70}{0,75} \right)^{1/2} = 2,50 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}.$$

Analogiczne obliczenia przy założeniu straty na złożu filtracyjnym równej 2,7 m dają następujące wyniki:

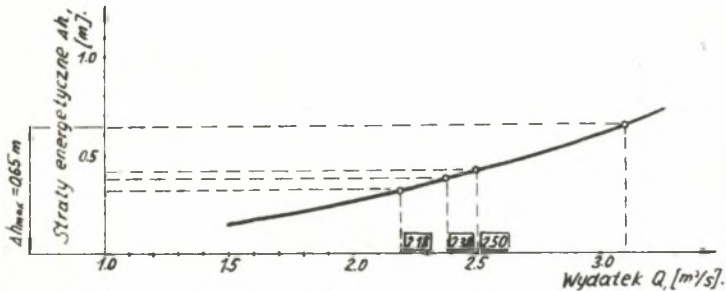
$$Q'_{\max} = 2,49 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{1} \quad Q' = 2,39 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}.$$

Stałe straty ciśnienia na filtrach będą w przyszłości utrzymywane za pomocą regulatorów prędkości filtracji. Obliczenia wykazały, że dodatkowe straty ciśnienia związane z zainstalowaniem regulatorów nie spowodują istotnej obniżki obliczonych wyżej przepustowości.

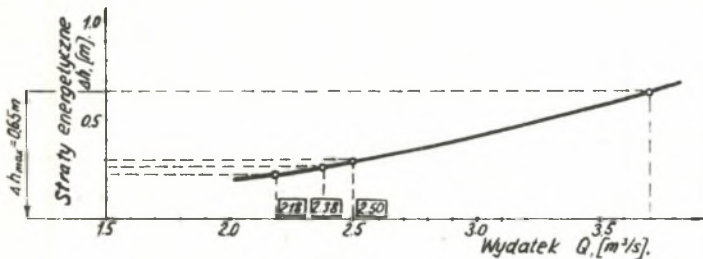


Rys. 4. Charakterystyka odcinka zbiornik - komory flokulacji

Na tej podstawie określono orientacyjną, maksymalną przepustowość odcinka filtra - projektowany zbiornik wody oczystej jako równą w przybliżeniu $2,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$. Odpowiadające jej prędkości filtracji wahają się w granicach od $8,3 \frac{\text{m}}{\text{godz}}$ (przy pracy wszystkich złożów) do $9,1 \frac{\text{m}}{\text{godz}}$ (przy dwóch złożach wyłączonych).



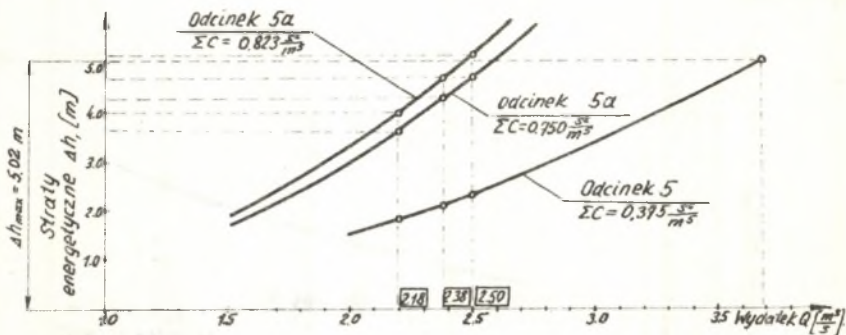
Rys. 5. Charakterystyka odcinka komory flokulacji - osadniki



Rys. 6. Charakterystyka odcinka osadniki - filtry

Przeprowadzona analiza przepustowości poszczególnych fragmentów ciągu hydraulicznego stacji pozwoliła na wykreślenie charakterystyk z zaznaczeniem dopuszczalnych strat ciśnienia między kolejnymi urządzeniami stacji (rys. 4+7). Ułatwiło to z kolei zbiorczą ocenę maksymalnej przepustowości hydraulicznej całej stacji i wyoiągnięcie następujących wniosków. Najmniejszą z ustalonych dla poszczególnych odcinków maksymalnych przepustowości wykazał rurociąg grawitacyjny filtra - pompownia II stopnia - ok. $2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$. Wielkość ta odpowiada wydajności stacji netto, tj. bez zużycia na cele własne zakładu wodociągowego, gdyż woda na te cele jest pobierana z pozostałkowego punktu rurociągu. Przepustowość ta odpowiada jednocześnie wydatkowi $2,18 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ na odcinku 2 (wydajności stacji brutto). Jest to więc największa przepustowość hydrauliczna omawianej stacji wodociągowej. Przez naniesienie na krzywe charakterystyk (rys. 4 - 7) punktów odpowiadających

$Q = 2,18 \frac{m^3}{s}$ i odrzutowanie ich na osie pionowe otrzymamy odpowiadające tej wydajności straty energetyczne i w dalszej kolejności - rzędne zwierciadeł wody w urządzeniach dla danego napełnienia w zbiorniku wstępnym (zasilającym).



Rys. 7. Przybliżona charakterystyka odcinków filtry - studzienka przelewowa (5) oraz filtry - projektowany zbiornik wody czystej (5a)

W przypadku przebudowy połączeń rurociągów na odcinku 2 - pod kątem zmniejszenia ich oporów hydraulicznych - maksymalna przepustowość między zbiornikami wody surowej a filtrami zwiększa się do $2,53 \frac{m^3}{s}$, zaś ewentualne umieszczenie na tym odcinku przepływomierzy zwężkowych ogranicza maksymalną przepustowość do $2,38 \frac{m^3}{s}$. Obydwie te wartości przekraczają obecną wydajność brutto stacji.

Reasumując - przeprowadzone badania wykazały, że przepustowość hydrauliczna omawianych urządzeń pozwala na zwiększenie wydajności stacji wodociągowej pod warunkiem pozytywnego wyniku analizy procesu technologicznego na urządzeniach stacji przy zwiększonej wydajności.

Przedstawiony wyżej sposób postępowania może być przydatny przy ustalaniu rezerw w istniejących urządzeniach wodociągowych. Można wymienić następujące zalety zastosowanej metodyki:

1. Pomaga określić lokalizację tzw. krytycznych odcinków ciągu współpracujących ze sobą urządzeń wodociągowych i sposoby ich modernizacji pod kątem ewentualnego zwiększenia wydajności i poprawy warunków eksploatacji urządzeń;

2. Ułatwia ustalenie optymalnych reżymów hydraulicznych pracy poszczególnych urządzeń (parametry pracy pomp, napełnienia, wahania zwierciadeł, prędkości przepływu, filtracji itp.) - dla danej wydajności stacji. Z kolei - określenie takich reżymów przyczynić się może do zmniejszenia strat wody na przelewach, zapobiegania uderzeniom wodnym a poza tym - może być konieczne przy wprowadzaniu automatyzacji pracy urządzeń wodociągowych;

3. Pozwala przewidzieć miejsca ewentualnego zainstalowania aparatury pomiarowej i regulacyjnej - najkorzystniejsze z punktu widzenia uzyskania maksymalnej przepustowości hydraulicznej.

LITERATURA

- [1] Drewnowski J., Mołoniwicz J.: Określenie rezerw w urządzeniach wodociągowych i kanalizacyjnych - "Miasto" nr 10 - 1969 r. s. 15 - 19.
- [2] Studium perspektywicznego rozwoju i modernizacji wodociągu grupowego WPWK. Opracowanie Zespołu Zaopatrzenia w Wodę Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Śląskiej w Gliwicach, 1972 r.

ИССЛЕДОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РАБОТАЮЩЕЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СТАНЦИИ

Р е з ю м е

Статья касается проблемы определения максимальной пропускной способности работающих водопроводных устройств. Применяемые устройства могут обладать некоторыми резервами производительности, которых определение и использование может иметь большое значение. Определение этих резервов проводится путём точного анализа гидравлических и технологических условий работы системы совместного работающих водопроводных устройств.

В статье представлена методика и результаты исследований максимальной гидравлической пропускной способности одной из станций обработки воды.

S u m m a r y

The paper is referring to the problem of setting up the top hydraulic capacity of the water-supply system. The running installations may contain some output reserves. The using and defining of those reserves can-be of autmost importance. The defining is enabled by means of detailed analysis of the hydraulic and technological conditions of the water-supplying devices being in cooperation.

The method and the testing results of the top hydraulic capacity of one water utilization station have been described.