

Zbigniew Hrynkiewicz

OKREŚLENIE EFEKTYWNYCH PARAMETRÓW
PROCESU PŁUKANIA FILTRÓW POŚPIESZNYCH

Streszczenie

Praktyka wykazuje, że skład fizyko-chemiczny uzdatnionej wody, rodzaj i dawka stosowanego koagulantu ma znaczny wpływ na działanie filtru w tym na parametry płukania złoża (czas płukania, intensywność płukania). Przedstawiono sposób określania wartości tych parametrów na podstawie analizy stężenia zanieczyszczeń i mętności w popłuczynach oraz dokonano analizy porównawczej modeli matematycznych stosowanych do określania wysokości ekspansji złoża w funkcji prędkości przepływu wody płuczącej.

Wstęp

Przemywanie strumieniem wody lub wody i powietrza jest jednym z najbardziej efektywnych sposobów płukania złoża filtracyjnych filtrów pośpiesznych wykorzystywanych w konwencjonalnych metodach uzdatniania i odnowy wody. Właściwie zaprojektowany i prowadzony proces płukania złoża filtracyjnych podnosi jakość produkowanej wody, przedłuża zdolność filtracyjną złoża, obniża koszty uzdatniania wody.

Obserwacje w eksploatacji oraz obszernie badania umożliwiły ustalenie kilku zasadniczych czynników mających wpływ na efektywność wypłukiwania zanieczyszczeń ze złoża filtracyjnych.

Są to:

- charakterystyka materiału filtracyjnego i czynnika płuczącego,
- intensywność i czas płukania wodą i powietrzem,
- warunki flokulacji zanieczyszczeń w złożu,
- parametry pracy filtrów,
- parametry konstrukcyjne filtrów (np. typ drenażu, wysokościowe usytuowanie krawędzi przelewowych dla odbioru popłuczyn),
- charakterystyka i właściwości wypłukiwanych zawiesin i związków.

Wielkość niektórych czynników i zakres ich wpływu na efekty płukania filtrów mogą okazać się różne dla poszczególnych zakładów oczyszczania wody, co zależy między innymi od:

- sposobu oczyszczania wody (np. ilość i rodzaj stosowanych koagulantów),
- składu wody (zabarwiona, mętna, zmiękczone).

Czynniki te są wzajemnie powiązane i utrudniają wyciągnięcie ostatecznych wniosków co do doboru najlepszych parametrów projektowych procesu płukania filtrów. Fakt, że tak wiele zmiennych trzeba brać pod uwagę prawdopodobnie wyjaśnia, dlaczego ta sama procedura oczyszczania wody może być sukcesem w jednym zakładzie a niepowodzeniem w innym.

Przedmiot badań

Dotychczasowe prace badawcze i teoretyczne [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]; podejmowane głównie w kierunku intensyfikacji procesu płukania na drodze doboru takich parametrów jak:

- intensywność płukania,
 - ekspansja złoza,
 - czas płukania,
- oraz dotyczyły głównie
- parametrów czynnika płuczącego,
 - złoza.

Wyznaczanie efektywnego natężenia płukania najczęściej przeprowadzano przyjmując za podstawę dopuszczalną wysokość spulchnienia złoza (ekspansja), maksymalną liczbę zderzeń ziaren złoza i maksymalną wartość siły ścinającej lub w oparciu o analizę wyników eksploatacyjnych. Najczęściej starano się znaleźć właściwy model opisujący zależność ekspansji złoza od prędkości przepływu wody i rodzaju złoza lub zależność współczynnika oporu od liczby Reynoldsa. Różnorodność form tych zależności przedstawionych przez poszczególnych autorów i cytowanych w literaturze, prowadzi często do rozbieżności wyników. Spowodowane to jest m.in. przez: prowadzenie badań w niejednakowych warunkach, stosowanie różnych założeń upraszczających, brak ścisłych modeli matematycznych opisujących zjawiska przepływowe w procesie płukania ziół filtracyjnych. Do obliczeń przyjmowano najczęściej czyste zioło, czystą wodę, określony w całej masie kształt ziaren.

Zakładano przy tym występowanie fluidyzacji jednorodnej w całej objętości złoza, dla której porowatość złoza jest w przybliżeniu stała w każdym jego punkcie. Proces ekspansji złoza nie jest jednoznaczny z jego myciem.

Wyników badań i pomiarów dokonanych na czystych ziołach nie można bezkrytycznie wykorzystywać do określania efektywnych parametrów wymywania osadów ze złoza, a właściwie usunięcie zgromadzonych w ziołu zanieczyszczeń jest głównym celem płukania. Wielkość ekspansji nie może więc być jedynym wskaźnikiem efektywnego płukania ziół. Różny i zmienny w czasie skład fizyczno-chemiczny uzdatnianej wody, różne technologie uzdatniania (np. rodzaj i dawka koagulantów) powodują, że w praktyce zioła zakolmatowywane są osadami o różnych właściwościach fizycznych i chemicznych takich jak:

- wzajemne oddziaływanie między cząsteczkami zawieszin i powierzchnią ziaren,
- ściślność,
- lepkość,
- opór właściwy.

Należy przypuszczać, że osady zatrzymywane w ziołu jedynie dzięki mechanizmom fizycznym nie tworząc silnych wiązań w ośrodkach filtracyjnych będą odpłukiwały się w tych samych warunkach lepiej niż osady zatrzymywane w ziołu również dzięki siłom chemicznym (np. osady powstałe w procesie załączenia wody). Należy zwrócić uwagę, że stosowanie polielektrolitów zwiększa "przyczepność" zanieczyszczeń do ziaren. Poza tym zioła filtracyjne po pewnym czasie pracy filtru zmieniają swoje właściwości

hydrauliczne w wyniku obrastania ziaren piasku osadami (np. tlenki manganu, węglany wapnia), powodując powiększanie ich średnic i zmianę kształtu. Nieuwzględnienie tych czynników powoduje, że w praktyce wodociągowej mamy przykłady dużych strat spowodowanych np. zużyciem nadmiernych ilości czynnika płuczającego.

Zużycie czynnika płuczającego oprócz znanych parametrów takich jak:

- uziarnienie materiału filtracyjnego,
- wysokość złoża,
- intensywność podawania tego czynnika,

jest również funkcją jakości i rodzaju zatrzymywanych w złożu zanieczyszczeń.

Jako wskaźnik właściwego wypłukania złoża filtracyjnego często przyjmuje się mętność popłuczyn, zakładając przy tym liniową zależność między mętnością a zawartością zawieszin w popłuczynach. Analiza zmian mętności popłuczyn jako wymiar pośredni może prowadzić do niemiarodajnych wyników. Zmniejszenie np. intensywności płukania bądź awaria części systemu drenażu może doprowadzić do scementowania się złoża lub jego części. Uczyszczane są wówczas tylko fragmenty filtrów i popłuczyny szybko osiągną dopuszczalną mętność, mimo, że całe złożo nie jest wystarczająco wypłukane. Często w celu zwiększenia wydajności stacji uzdatniania wody zwiększa się prędkość filtracji. Następuje wówczas głębsza penetracja zanieczyszczeń w złożo. Płukanie filtrów z zaprojektowaną intensywnością może powodować tylko częściowe oczyszczanie złoża. Część zanieczyszczeń przemieści się jedynie do wyższych warstw.

Cel i zakres badań doświadczalnych

Dla potwierdzenia przedstawionych wyżej problemów przeprowadzono odpowiednie badania, które stanowią część szerszego studium oczyszczania filtrów rozważającego wiele aspektów optymalnego oczyszczenia filtrów pospiesznych.

Celem badań było:

1. Sprawdzenie zbieżności ogólnie stosowanych modeli matematycznych opisujących zależności ekspansji od prędkości płukania.
2. Ocena wpływu właściwości zatrzymywanych w złożo filtracyjnym zanieczyszczeń na efekt jego płukania.

Zakresem badań objęto filtrację pospieszną przez złożo piaskowe, o przepływie góra - dół, ponieważ dominuje ona w praktyce oczyszczania wody.

Płukano złożo, przez które filtrowano:

- A. wodę powierzchniową po objętościowej koagulacji siarczanem glinowym,
- B. wodę powierzchniową zmieszaną z wodą podziemną w stosunku 3 : 1 o dużej zawartości żelaza po koagulacji siarczanem glinowym,
- C. j.w. po koagulacji wodorotlenkiem wapniowym.

Technologia zastosowania powyższych układów badawczych (A, B, C) podyktowana była możliwością zokolmatowania złoża osadami o różnych właściwościach.

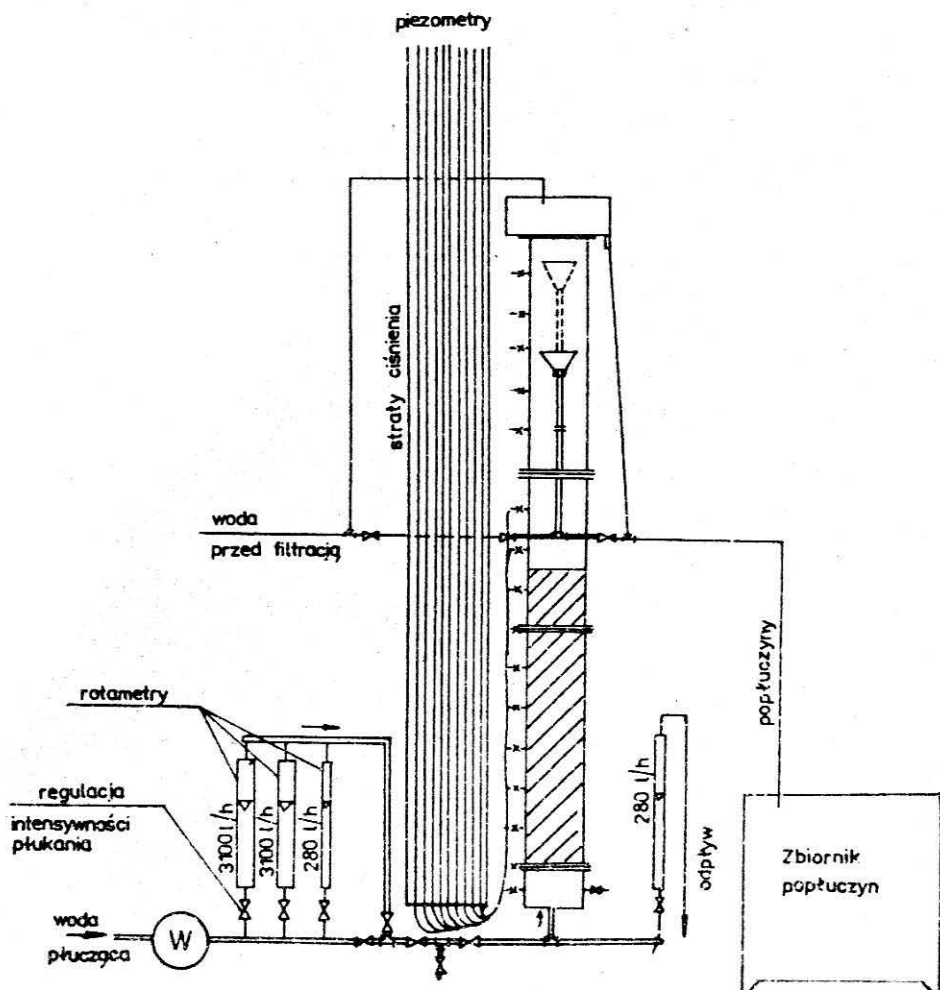
Instalacja modelowa i sposób prowadzenia badań

Instalacja modelowa (rys. 1) została zamontowana w techniczny układ oczyszczania wody dla m. Zielonej Góry, który składa się z:

- ujęć wody powierzchniowej i podziemnej,
- koagulacji objętościowej i sedymentacji w akceleratorach,
- filtracji na filtrach pośpiesznych, piaskowych.

Rura stalowa o średnicy $D_f = 18 \cdot 10^{-2}$ m i wysokości $H_f = 2,7$ m stanowiła model filtra. Zastosowano złożo o następujących parametrach: $d_{10} = 0,6$ mm, $d_{60} = 0,9$ mm, $H_0 = 1,3$ m w tym 0,3 m stanowiły warstwy podtrzymujące.

W czasie badań wykonywano analizy składu fizyczno-chemicznego wody surowej, mierzone wysokość złoża w stanie spoczynku i w czasie ekspansji, wielkość strat hydraulicznych oraz natężenie przepływu wody płuczającej i filtrowanej. Modę filtrowano ze stałą prędkością $V_f = 7,0$ m/h każdorazowo przez ok. 16 godzin. Dla wykonania bilansu masowego oznaczono stężenie zawiesin i mętności w wodzie dopływającej na filtr i w płuczynach w odpowiednich przedziałach czasowych z dokładnością do $\pm 1,0$ sek.



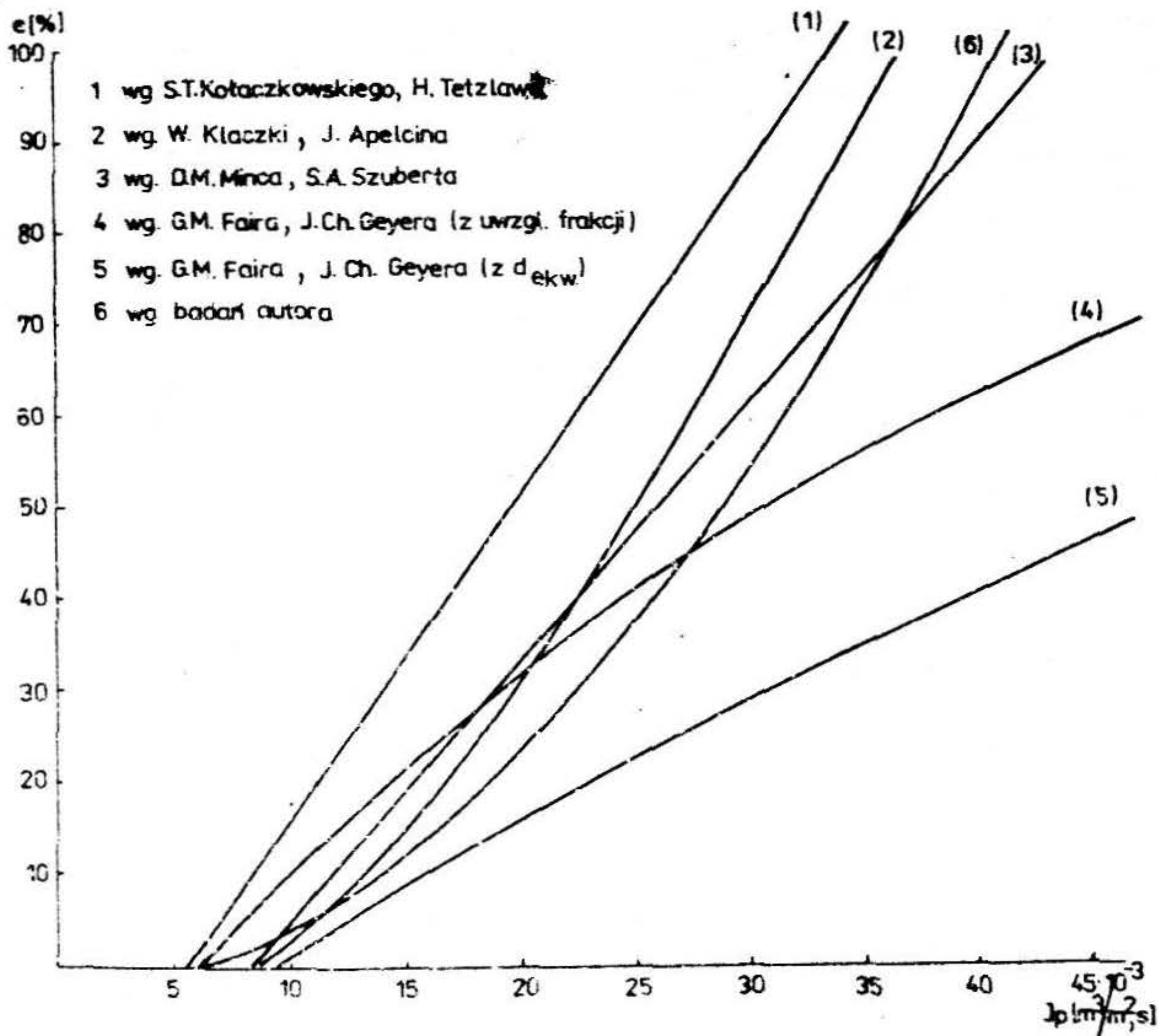
Rys. 1. Instalacja modelowa schemat

Pomiar wielkości ekspansji złoża dokonano przy przepływie wody czystej przez czyste złożo. W celu maksymalnego wyeliminowania wpływu pozostałych czynników warunkujących efektywność płukania złoża filtracyjnych starano się zachować powtarzalność poszczególnych cykli badawczych.

Interpretacja wyników badań

W okresie badań woda miała w przybliżeniu stałą temperaturę równą 284°K . Zmieniała była mętność i zawartość zawiesin w wodzie filtrowanej. Jako miarodajne przyjęto ich średnie wartości z pomiarów wykonywanych co 1 godz.

Na rys. 2 pokazano wykresy funkcji $e = f(V_p)$ określone w oparciu o znane modele matematyczne cytowane w literaturze technicznej i podręcznikowej oraz wyniki własnych pomiarów.



Rys. 2. Wpływ intensywności płukania na ekspansję złoża dla piasku $d_{10} = 0,6 \text{ mm}$, $WR = 1,5$

Z porównania tego wyniku, że przy stosunkowo niewielkich wartościach liczb Reynoldsa (strefa przepływów laminarnych) otrzymane zależności są zbliżone, natomiast przy większych wartościach tych liczb różnice między otrzymanymi wynikami dochodzą

do kilkudziesięciu procent. Każdy z badanych modeli powinien mieć ściśle określony przedział stosowności opisany np. liczbami Reynoldsa. Najbardziej zbliżonym do wyników doświadczalnych jest model opracowany przez D.M. Minca i S.A. Szuberta [5].

Do analizy porównawczej przyjęto wzory, które charakteryzują się dużym stopniem uogólnienia, są stosunkowo proste w praktycznych obliczeniach oraz zostały określone w warunkach zbliżonych do warunków w jakich przeprowadzono badania porównawcze.

Badanie efektywności wymywania osadów ze złoża filtracyjnego

Złoża filtracyjne pracujące w trzech różnych układach technologicznych oczyszczania wody płukano strumieniem wody z dołu do góry.

Wysokość słupa wody nad złożem w czasie płukania wynosiła $H_w = 0,55$ m, ekspansja $e = 30\%$, intensywność płukania wodą $I_p = 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Na rys. 3 i 4 przedstawiono tzw. charakterystyki płukania, określone w oparciu o pomiar mętności i zawartości zawiesin w popłuczynach. Na ich podstawie wyznaczono metodą graficzną wg Eckenfeldera [7] czas odpowiadający zakończeniu płukania (T_{ef}), czyli efektywny czas płukania przy zadanej końcowej wartości mętności $M = 0,005 \text{ kg m}^{-3} \text{ SiO}_2$ oraz zawartości zawiesin $Z = 0,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (tabela 1). Efektywne czasy płukania a w konsekwencji efektywne objętości wody zużywanej do płukania przyjmują różne wartości dla poszczególnych układów. Według tego kryterium najszybciej odzyskiwały się osady powstałe przy koagulacji wody mieszanej siarczanem glinowym i odpowiednio dłużej przy koagulacji tych wód wodorotlenkiem wapniowym i koagulacji siarczanem glinowym wody powierzchniowej. Efektywne czasy płukania określono na podstawie zmian mętności wody popłucznej, przyjmując większe wartości od tych samych parametrów określonych na podstawie zmian zawartości zawiesin w wodzie popłucznej. Określenie T_{ef} na podstawie analizy zmian mętności popłuczyn może w praktyce prowadzić do nieekonomicznego czasu płukania i zużycia większej ilości wody popłucznej.

Do oceny efektu płukania filtra wykorzystano także matematyczny model P.A. Grabowskiego [1] opisujący zmianę stężenia zawiesin w wodzie popłucznej na wysokości i w czasie.

Ma on następującą postać ogólną:

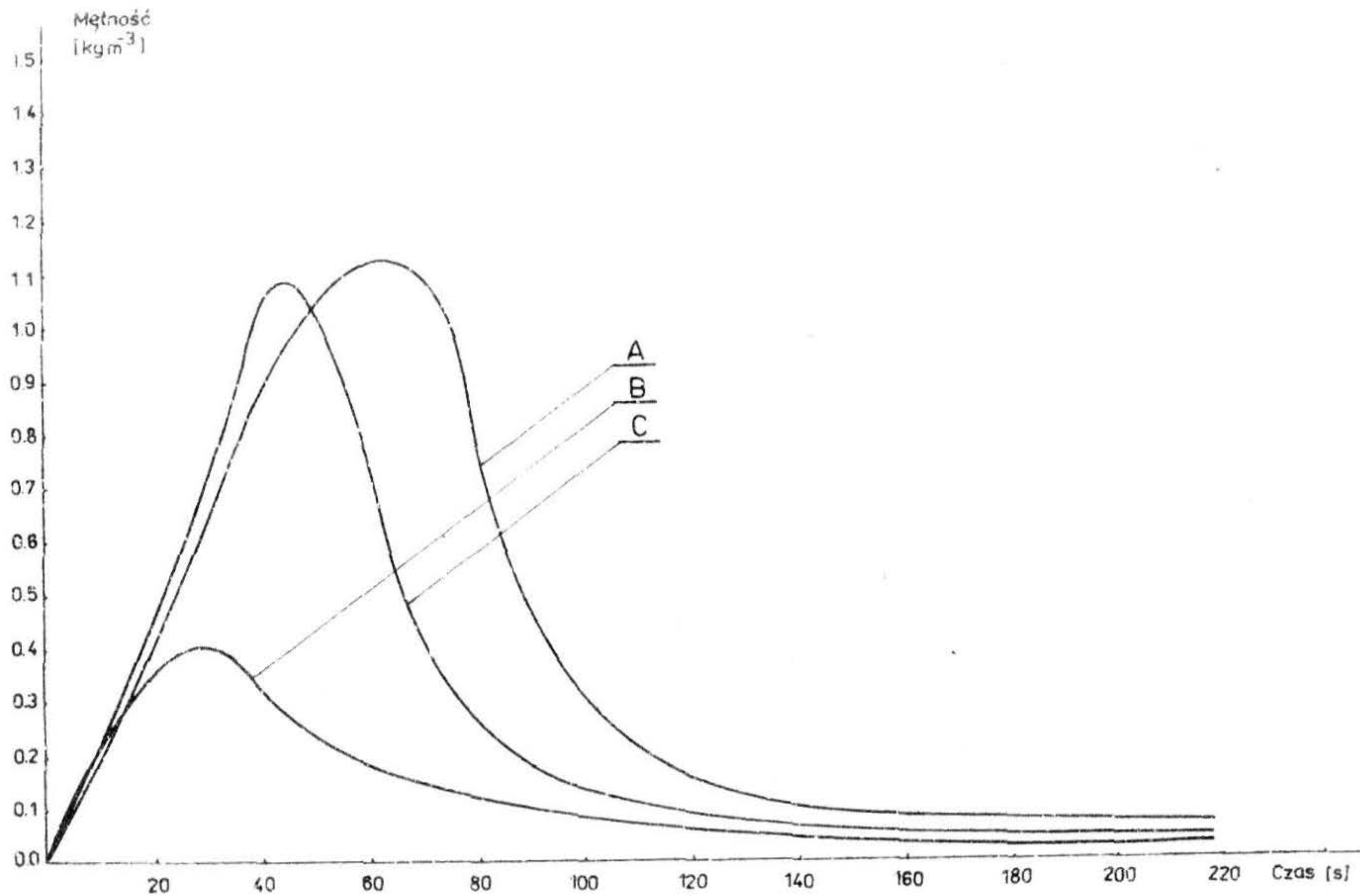
$$z = z_0 \cdot e^{-a \cdot t} \quad (1)$$

gdzie:

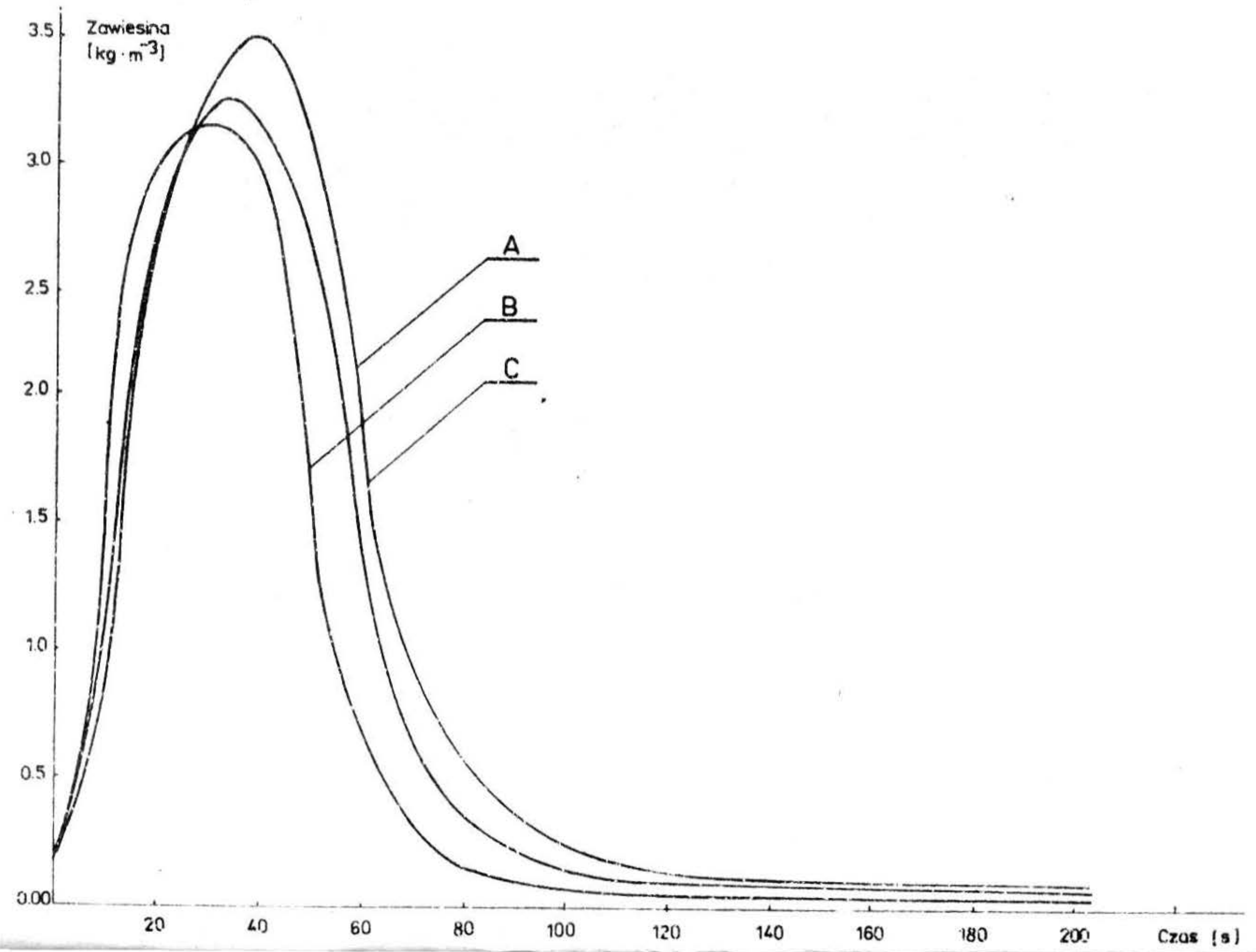
- z - stężenie zawiesin w złożu (tj. ilość zanieczyszczeń w jednostce objętości złoża), g cm^{-3} ;
- z_0 - stężenie zawiesin w złożu na początku płukania dla $T = 0$, g/cm^{-3} ;
- t - czas do rozpoczęcia płukania, s;
- a - współczynnik wyrażający intensywność odrywania zanieczyszczeń od ziaren złoża, s^{-1} .

Efekt płukania został określony następującą funkcją:

$$E_p = 1 - \frac{1}{1-A} \left(e^{-a\bar{t}} - \frac{H_0}{Ae} \bar{t} \right) \quad (2)$$



Rys. 3. Zmiana mętności w wodzie popłucznej



Rys. 4. Zielona stężenia zawiesiny w wodzie przepływającej

Tabela 1

L.p.	Sposób uzdatniania wody	Współczynnik intensywności odrywania zawiesin „a” określony na podstawie		Efektywny czas płukania T_{ef} określony na podstawie	
		zmian mętności	zmian ilości zawieszin	zmian mętności	zmian ilości zawieszin
		s^{-1}	s^{-1}	s	s
1.	Woda powierzchniowa - koagulacja $Al_2(SO_4)_3$	0,015	0,021	130	105
2.	Woda powierzchniowa + podziemna - koagulacja $Ca(OH)_2$	0,018	0,031	105	92
3.	Woda powierzchniowa + podziemna - koagulacja $Al_2(SO_4)_3$	0,019	0,038	95	80

gdzie:

$$A = \frac{a \cdot H}{V_p} \quad \text{i} \quad \bar{a} = \frac{a \cdot H_0}{V_p}$$

- są bezwymiarowymi parametrami,

$$t = \frac{V_p \cdot t}{H_0}$$

- bezwymiarowy parametr mający fizyczny sens krotności wymiany tj. stosunku objętości wody płuczającej do objętości złoża,

 H_0

- wysokość złoża w czasie filtracji, cm;

 H

- wysokość złoża w czasie płukania, cm;

 V_p

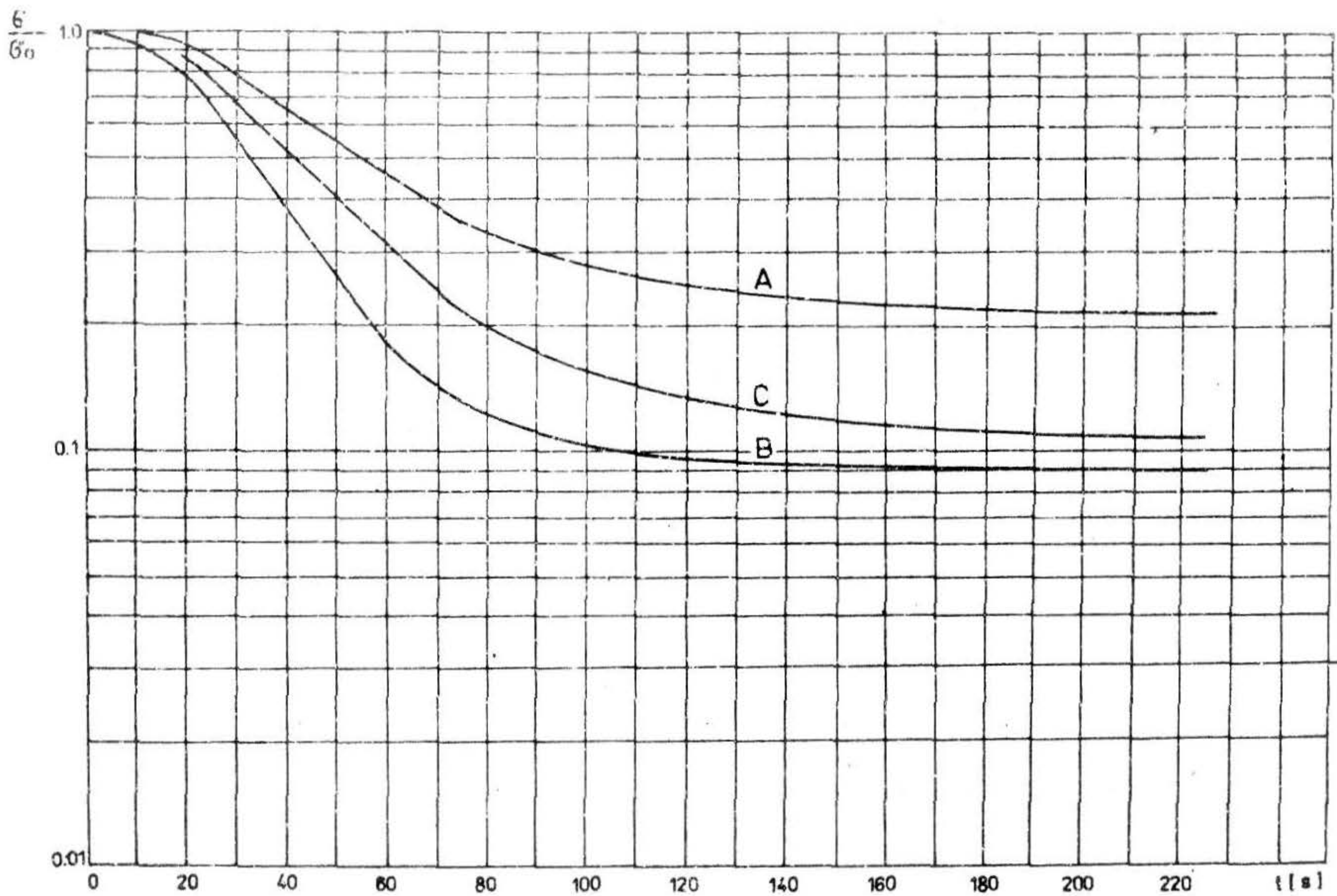
- prędkość przepływu wody płuczającej.

Zgodnie z wzorami (1) i (2) obliczono stopień dekolmatacji złoża w czasie oraz wartość współczynnika "a" dla osadów z poszczególnych układów. Zilustrowano to na rys. 5 i 6, a wartość współczynnika "a" podano w tab. 1. Efekt płukania wg równania (2) przedstawiono na rys. 7 i 8.

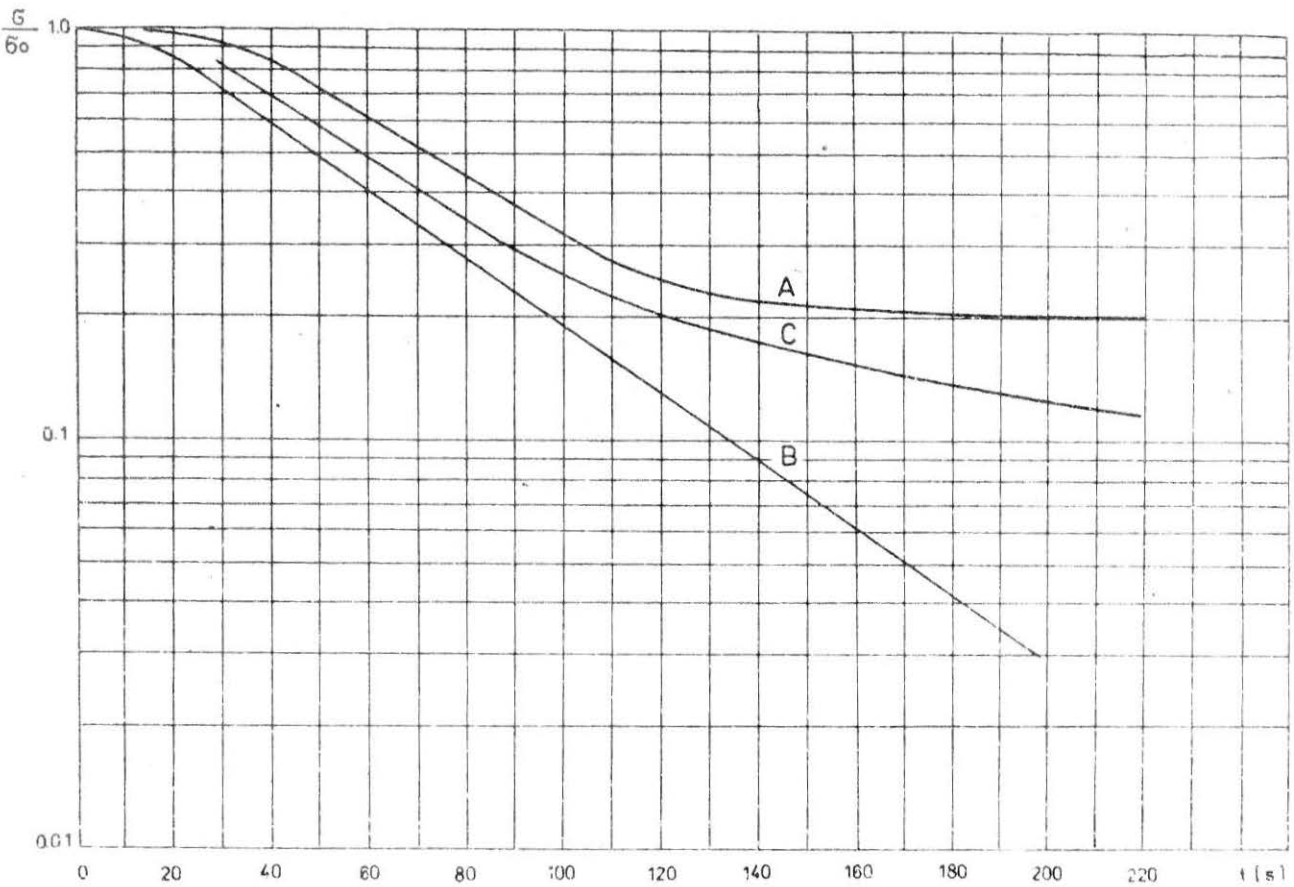
Analizując te wykresy oraz wartości współczynnika "a" można stwierdzić, że najłatwiej odpłukują się zanieczyszczenia zatrzymane w złożu przy filtracji wody mieszanej koagulowanej siarczanem glinowym, następnie wody mieszanej koagulowanej siarczanem glinowym, następnie wody mieszanej koagulowanej wodorotlenkiem wapniowym, a najdłużej wypłukują się osady powstałe przy koagulacji siarczanem glinowym wody powierzchniowej.

Wnioski

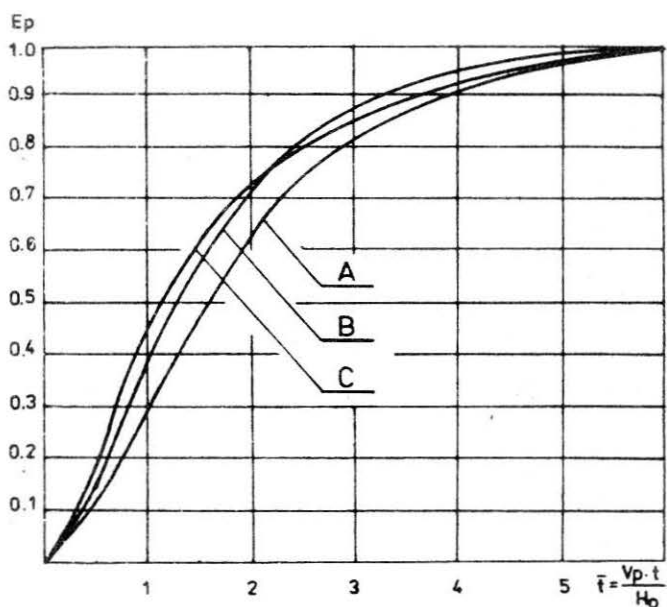
1. Przedstawione zależności $e = f(V_p)$ wg różnych źródeł wykazują mały stopień uogólnienia. Powszechnie stosowane kryterium ekspansji złoża jako jedynego miarodajnego warunku skutecznego płukania złoża może być niewystarczające. Dla danego układu uzdatniania wody zależność ta powinna być określona doświadczalnie.
2. Różnice efektywności płukania złoż filtracyjnych wynikają z różnych właściwości osadów uzyskiwanych w poszczególnych procesach technologicznych. Potwierdza to konieczność indywidualnego określania efektywnych parametrów płukania filtrów, które okazują się różne w różnych układach technologicznych.
3. Stosowanie zbyt niskich intensywności płukania powoduje wydłużenie czasu płukania, większe zużycie wody, mimo uzyskania podobnych końcowych efektów płukania.
4. Miarodajnym sposobem określania efektywnych parametrów płukania filtrów jest pomiar stężenia zawiesin w popłuczynach.
5. Korekta parametrów płukania filtrów w czasie eksploatacji pozwoli na właściwe i ekonomiczne prowadzenie procesu filtracji wody oraz wykorzystać te dane jako wytyczne do projektowania podobnych układów.



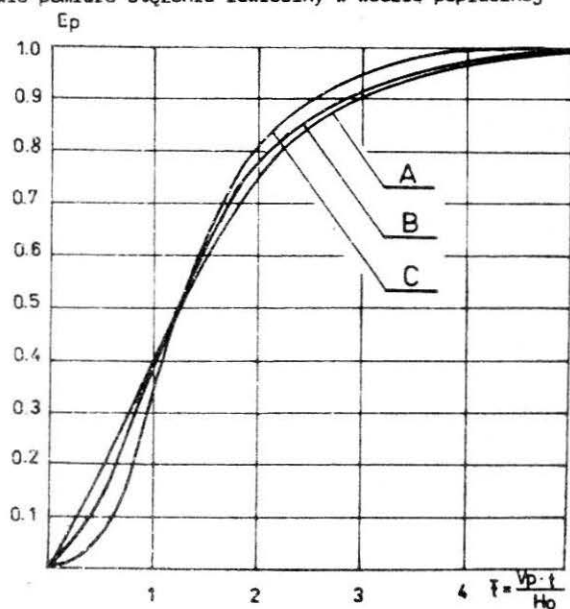
Rys. 5. Dekomatacja złoża określona na podstawie pomiaru natężności wody popłucznej



Rys. 6. Dekomatacja złoża określona na podstawie pomiaru stężenia zawiesiny w wodzie podłożnej



Rys. 7. Efekt płukania złoża filtracyjnego określony na podstawie pomiaru stężenia zawiesiny w wodzie popłucznej



Rys. 8. Efekt płukania złoża filtracyjnego określony na podstawie pomiaru stężenia zawiesiny w wodzie popłucznej

Literatura

- [1] Grabowski P.A. - Priblizennaja matematičeskaja model' a vodovozdusnoj promyvkij skorych filtrov. Izv. Vyss. Uc. Zav., Stroit. i Arch. N^o 1, 1976, s. 123-128.
- [2] Kowal A.L., Sozański M. - Podstawy doświadczalne systemów oczyszczania wód. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1977.
- [3] Labijak H. - Analiza procesu płukania filtrów pospiesznych G.W. i TS, N^o 9, 1975, s. 264-268.
- [4] Labijak H. - Intensywność płukania filtrów. GW i TS, N^o 3, 1979, s. 70-73.
- [5] Minc D.M., Subert S.A. - Gidravlika zernistych materialov. Izd. Min. Kom. Choz., R.S.F.S.R., Moskwa, 1955.
- [6] Fair G.M., Geyer G.C., Okun D.A. - Elements of water supply and wastewater disposal. John Wiley and Sons. Inc., 1971, s. 404-416.
- [7] Weber W.J. - Physicochemical Processes for Water Quality Control. Wiley - Interscience, 1972.

Mgr inż. Zbigniew Hrynkiewicz - Wyższa Szkoła Inżynierska w Zielonej Górze.