

Piotr Horodyski

ZBIORNIK WODNY W DZIECKOWICACH JAKO OSADNIK WSTĘPNY WODY SUROWEJ

Zbiornik wody w Dzieckowicach zapewnia wodę dla ujęć aglomeracji katowickiej i Huty Katowice. Niecka zbiornika o pojemności 60 mln m³ jest pozostałością po wyrobisku piasku. W planie zbiornik ma kształt w przybliżeniu prostokątny, o długości średnio 3,8 km i szerokości średnio 1,7 km.

Do zbiornika doprowadzana jest rurociągiem woda surowa z Soły i Skawy, w ilości 16 m³/s. Woda ta w niekorzystnych okresach jest znacznie zanieczyszczona. Z uwagi na to, że 3/4 przrzutu wody przeznaczone jest na potrzeby aglomeracji miejskiej, konieczne byłoby uzyskanie wysokiego stopnia uzdatniania wody w klasycznym procesie technologicznym, co wydatnie zwiększyłoby koszty stacji uzdatniania wody. Dlatego też powstała koncepcja wykorzystania zbiornika jako osadnika przedwstępnego.

Zrodziła się zatem konieczność szczegółowej analizy takiego zagadnienia, łącznie z opracowaniem modeli matematycznych pozwalających na optymalizację rozwiązań projektowych.

Opis teoretyczny strumienia zrzutowego

Zrzut wody z rurociągu przesyłowego do zbiornika można traktować jako swobodny wypływ strumienia zatopionego w półprzestrzeń, ograniczoną wymiarami zbiornika. Dla hydrauliki jest to istotne założenie.

Wobec dużej skali turbulencji w strumieniu, nie można go opisać równaniami ruchu potencjalnego, z założenia bezwirowego. Istniejące teorie ruchu turbulentnego Prandtla, Heisenberga czy teoria „dziwnych atraktorów” nie mają dostatecznego poparcia eksperymentalnego.

Strumień opisano półempirycznymi wzorami Abramowicza [4], podającymi w formie bezwymiarowej charakterystyczne parametry strugi. Należą do nich: prędkości średnie i osiowe, wydatek, kształt i rozmiary strumienia. Ważnym jest założenie o kształcie strugi na planie wydłużonego trójkąta. Zbiornik wodny, pracujący jako osadnik odróżnia się od klasycznych osadników, oprócz wielofunkcyjności, przede wszystkim dużymi wymiarami. Pociąga to za sobą zasadniczo inny kształt strugi cieczy, nieograniczonej ściankami konstrukcji. Proponuje się nazwę dla tego rodzaju układów: osadniki

wielkowymiarowe. Ze względu na niewielką, ograniczoną głębokość zbiornika przepływ można traktować jako ruch płaski. Oznacza to, że można tak dobrać prostokątny układ współrzędnych aby parametry zależały tylko od dwóch współrzędnych (x, y), przy czym wszystkie wektory są równoległe do płaszczyzny x—y. W omawianym przypadku płaszczyzna x—y jest płaszczyzną lustra wody. W dalszym ciągu, przy opisie hydrauliki zjawiska, wykorzystywane będzie założenie dwuwymiarowości strumienia.

Największy wpływ na budowę strumienia swobodnego ma początkowa turbulencja strumienia przed wyjściem z dyszy wylotowej. Ze wzrostem turbulencji następuje intensywniejsze mieszanie, większe rozszerzenie strumienia, skrócenie odcinka początkowego i większe zmniejszenie prędkości osiowej za przekrojem przejściowym. Zwiększając sztucznie turbulencję przez stosowanie w dyszy tzw. turbulizatorów lub specjalne profilowanie wylotu osiągnąć można powiększenie kąta rozplywu do ok. 35°. Wprowadzając bezwymiarowy współczynnik α , charakteryzujący początkową turbulencję i rodzaj wylotu (tab. 1), można wykazać zależność parametrów strumienia od współczynnika α . Jednocześnie rozkłady prędkości

Tabela 1
WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA WYLOTU I KĄTA ROZSZERZENIA
STRUGI W ZALEŻNOŚCI OD RODZAJU WYLOTU

Rodzaj wylotu	α	α (w stopniach)
Cylindryczny bez przewężenia	0,08	11
Szczelinowy bez przewężenia	0,12	16
Kwadratowy	0,09—0,10	12—13
Prostokątny	0,17—0,20	22—26
(z łopatkami kierującymi)		

α — współczynnik wylotu

α — kąt rozszerzenia strugi

w poszczególnych przekrojach strumienia są podobne i przy sporządzaniu ich w bezwymiarowych współrzędnych pokrywają się ze sobą. Podobieństwo to zachodzi również dla różnych strumieni, jeżeli w ich bezwymiarowe współrzędne wprowadzić współczynnik α .

Teoria Hazena w odniesieniu do osadnika wielkowymiarowego

Drugim zjawiskiem hydraulicznym, obok wypływu swobodnego jest proces sedymentacji zawieszin. Do opisu tego zjawiska w procesie projektowania klasycznych osadników poziomych,

Mgr inż. P. Horodyski, Wydział Inżynierii Sanitarnej i Wodnej Politechniki Krakowskiej, ul. Warszawska 24, 31—155 Kraków.

stosuje się teorię Hazena. Założeniem jest tu, iż struga ograniczona ściankami konstrukcji jest prostopadłościenna. Dyktuje to, wobec odmiennego charakteru strugi swobodnej, konieczność wykorzystania jedynie pryncypiów teorii Hazena, dotyczących zależności czasu przepływu do czasu sedimentacji elementarnej części zawieszin. Z teorii sedimentacji Hazena wynika, że jednym z parametrów projektowanych osadnika jest jego długość. Korzystając więc z założeń teorii, możemy przeprowadzić podobne rozumowanie. Poszukuje się więc odległości L (od miejsca zrzutu wody surowej do zbiornika), w której określony liczbą Hazena procent cząstek zsedymetuje. Może to dać informację o teoretycznie niezbędnej długości osadnika. Według Hazena czas przepływu powinien być większy niż czas sedimentacji o współczynnik α :

$$dt_p = \alpha \cdot dt_s \quad (1)$$

Otrzymujemy stąd znaną zależność:

$$B dx = \frac{\alpha}{u} dQ \quad (2)$$

gdzie:

- u — prędkość sedimentacji
- B — szerokość przekroju strugi.

Opierając się o wzory Abramowicza mamy:

$$dQ = \frac{0,85 \beta Q}{\sqrt{x\beta + 0,205}} dx \quad \beta = \frac{a}{B} \quad (3)$$

$$B/x = B_p \cdot 4,8 \beta x + 1 \quad (4)$$

gdzie:

- a — współczynnik charakteryzujący warunki wylotu strugi (tab. 1)

Po podstawieniu do zależności (2) i po przekształceniach, mamy:

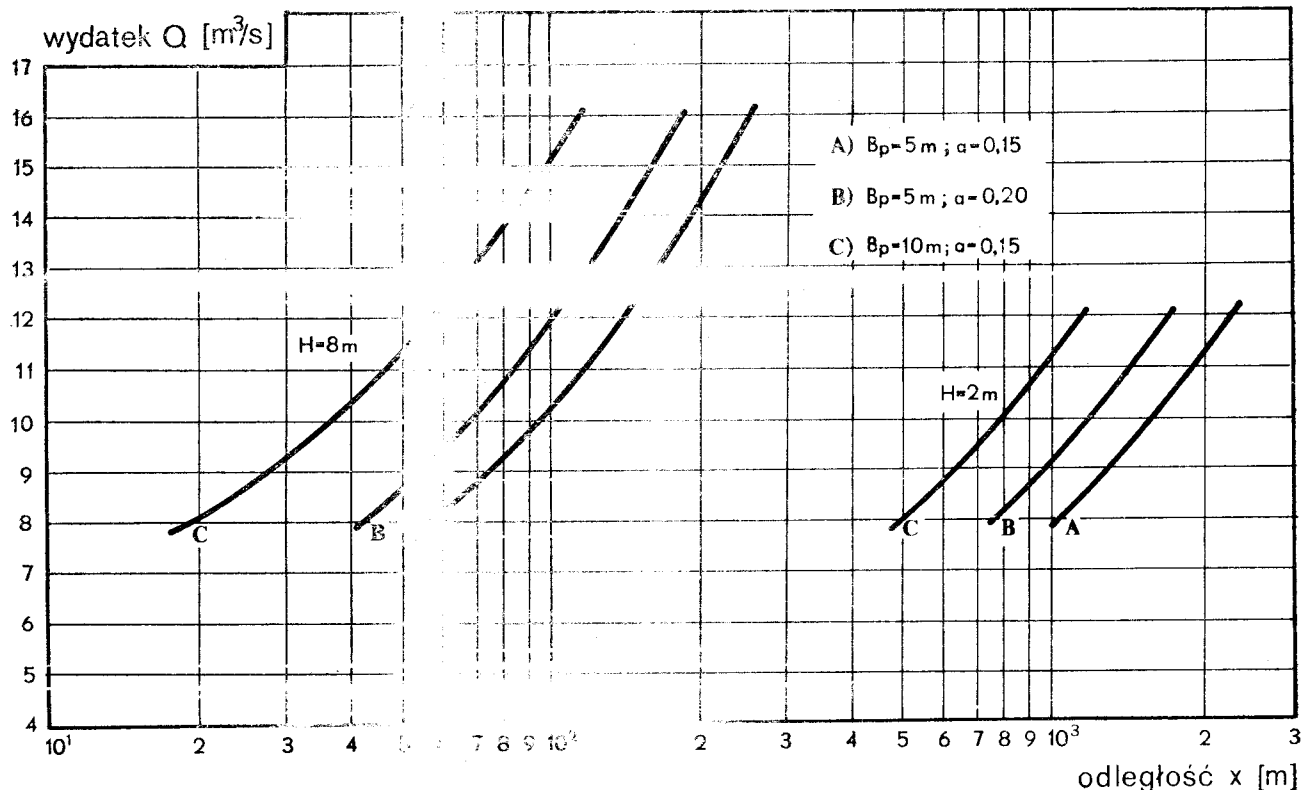
$$23,04 \frac{a^3}{B_p} \cdot x^3 + \frac{a^2}{B_p} \cdot (9,6 + 4,7232 B_p) \cdot x^2 + 1,9688 ax + 0,205 - 0,7225 \frac{a^2}{u^2} \frac{a^2 Q^2}{B_p^2} = 0 \quad (5)$$

Otrzymujemy równanie trzeciego stopnia, którego rozwiązaniem jest wspomniana powyżej odległość L . Wzór (5) wykorzystano do analizy modelu zależności odległości L od parametrów, określających warunki pracy zbiornika jako osadnika.

Parametrami zmiennymi modelu, opracowanego w formie programu dla EMC Odra 1305, w języku FORTRAN są:

- wielkości określające ilości i charakter zsedymetowanej zawiesziny: liczba Hazena $\alpha = 1 \div 3$ i prędkości sedimentacji $u = (1,3 \div 1,5) \cdot 10^{-4}$ m/s
- wielkości konstrukcyjne, zmienne ze względu na optymalizację możliwych wariantów rozwiązań: szerokość wypływu $B_p = 5 \div 20$ m i współczynnik kształtu wylotu $a = 0,10 - 0,20$.

Analiza wyników pracy programu pozwala na oszacowanie koniecznej długości L w granicach kilkuset (100 ÷ 500) do 1000 metrów (rys. 1). Może to świadczyć o tym, iż wskutek dostatecznie długiej drogi przepływu cząstek, stosunkowo duża ilość drobnej zawiesziny ulegnie sedimentacji. W pewnym stopniu pokrywa się to ze stanem rzeczowym.



Rys. 1 Zależność odległości, dla której $v=0,05$ m/s, od parametrów eksploatacyjnych: Q i H , przy różnych rodzajach wylotu

Kryteria poprawnej pracy osadnika

Warunki poprawnej pracy osadnika sprawdzono, stosując wartości kryterialne, analogiczne jak dla klasycznego osadnika poziomego: prędkość przepływu przez osadnik oraz liczby: Reynoldsa (Re) i Frouda (Fr). Prędkość przepływu w klasycznym projektowaniu zakłada się poniżej 10 mm/s. Jednakże liczne badania (Campa [1], Imhoffa, Steetera [3]) wskazują iż bez dużej straty dla efektu sedymentacji można przyjmować prędkość przepływu w granicach 30÷50 mm/s. Taką też prędkość przyjęto dla rozpatrywanego przypadku. Dla dobrze pracujących urządzeń liczba Reynoldsa, określająca charakter ruchu, ze względu na turbulencje winna być mniejsza niż 12500. Rzeczywiste osadniki charakteryzują się według Fischerstoma [1] liczbą $Re=1000\div 25000$. Znane są przypadki, że osadniki o dużej Re dawały dobre efekty. Liczba Frouda, związana ze stabilnością osadnika, powinna być większa niż 10^{-3} w przypadku rozwiązania idealnego. W praktyce stosuje się zakres wartości powyżej $10^{-8}\div 10^{-6}$.

Opierając się o teorię Abramowicza określamy w dowolnym miejscu strugi wartości prędkości, liczb Re i Fr , czas przepływu oraz wymiary i kształt strumienia. Prędkość średnia, liczona według powierzchni wydatku, wynosi:

$$V(x) = \frac{0,347}{\sqrt{\frac{a}{B_p}x + 0,205}} \quad (6)$$

Prędkość osiowa określona jest jako:

$$V_o(x) = \frac{0,848}{\sqrt{\frac{a}{B_p}x + 0,205}} \quad (7)$$

Liczbę Reynoldsa (w odniesieniu do prędkości średniej) można wyrazić:

$$Re(x) = \frac{0,347}{\sqrt{\frac{a}{B_p}x + 0,205}} \cdot \frac{Q_p}{B_p \cdot \nu} \quad (8)$$

Liczba Frouda może być przedstawiona zależnością

$$Fr(x) = \frac{0,120}{\frac{a}{B_p}x + 0,205} \cdot \frac{Q_p^2}{gB_p^2 \cdot H^3} \quad (9)$$

Teoretyczny czas, potrzebny na pokonanie z prędkością średnią odległości x , jest:

$$t(x) = 1,9212 \frac{B_p^2 H}{a Q_p} \cdot \left[\frac{a}{B_p} x + 0,205 \right]^{\frac{3}{2}} \quad (10)$$

Dla prędkości osiowej powyższy czas wynosi:

$$t_o(x) = 0,7861 \frac{B_p^2 H}{a Q_p} \cdot \left[\frac{a}{B_p} x + 0,205 \right]^{\frac{3}{2}} \quad (11)$$

Kształt strugi jest ograniczony ramionami kąta, którego wartość

$$\operatorname{tg} \alpha = 2,4 \cdot a \quad (12)$$

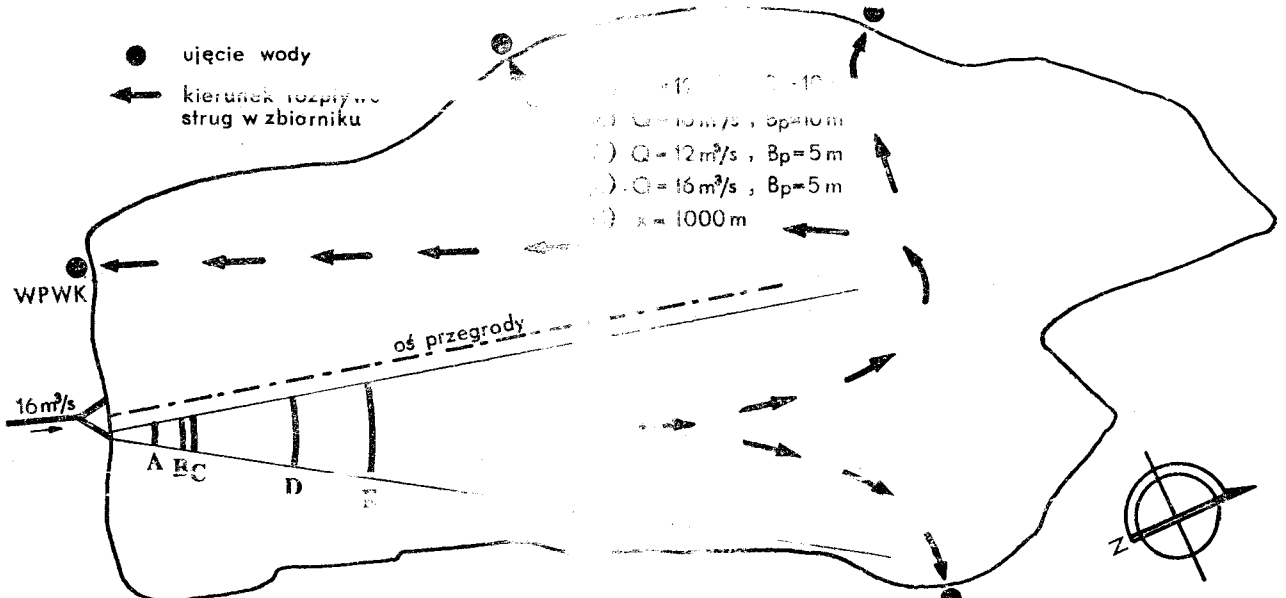
W powyższych wzorach przyjęto oznaczenia: B_p — szerokość początkowa strugi (wylotu), Q_p — wydatek, H — głębokość osadnika (strumienia), g — przyspieszenie ziemskie, ν — współczynnik kinematyczny lepkości wody.

Ocena funkcjonowania zbiornika jako osadnika

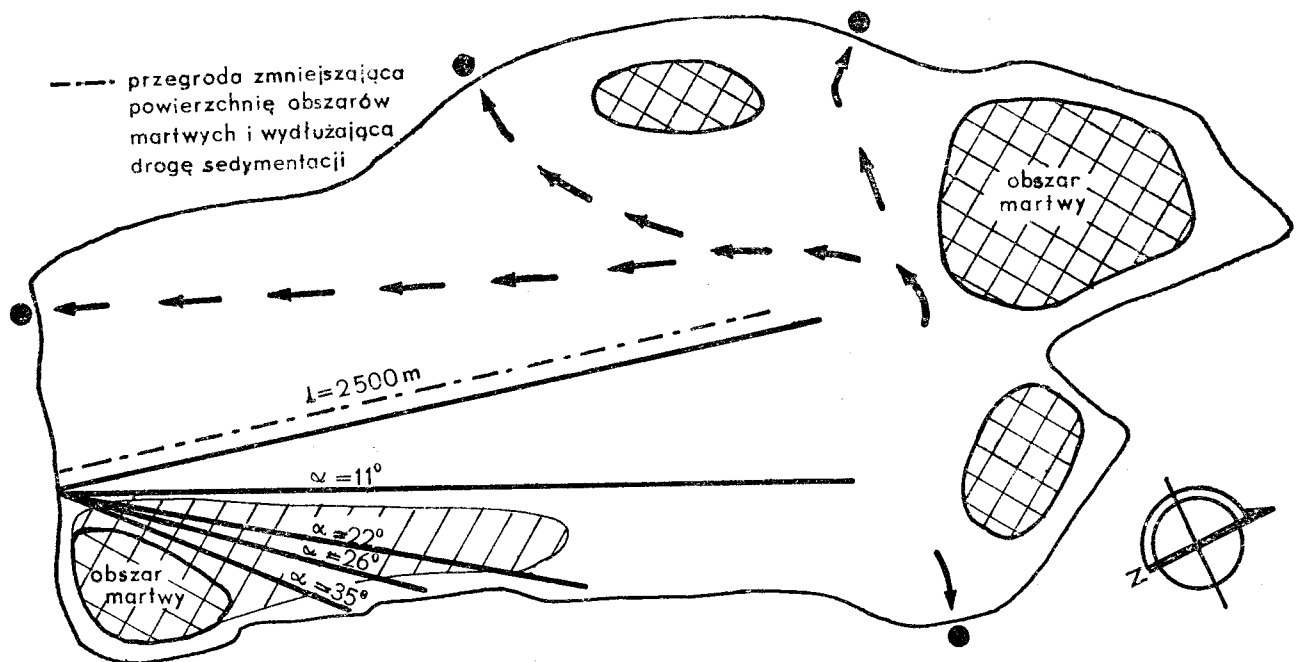
W celu dokonania oceny pracy osadnika przyjęto, iż poszukuje się minimalnych odległości od przekroju początkowego, dla których parametry: liczba Re , Fr i prędkość przepływu, osiągają określone wcześniej wartości kryterialne. Parametry te są funkcją odległości od przekroju początkowego strugi oraz zmiennych, którymi są:

- wielkości eksploatacyjne, natężenie wypływu $Q=8\div 16 \text{ m}^3/\text{s}$, głębokość $H=2\div 9 \text{ m}$
- wielkości konstrukcyjne, określone dla różnych wariantów rozwiązania wylotu strugi: współczynnik kształtu wylotu $a=0,10\div 0,20$ i szerokość wypływu $B_p=5\div 20 \text{ m}$.

Obliczenia dokonano przy użyciu EMC Odra 1305, zaprogramowanej w języku FARTRAN.



Rys. 2 Zbiornik w Dzieńkowicach. Miejsce geometryczne punktów o prędkości w strudze $v=0,05 \text{ m/s}$ przy parametrach $a=0,15$, $\alpha=20^\circ$, $H=5,0 \text{ m}$, dla różnych wartości Q i B_p



Rys. 3 Zbiornik w Dzieńkowicach. Kształt strumienia dla różnych kątów rozszerzenia oraz rozkład obszarów martwych

Analiza wyników pozwala na stwierdzenie, że konieczne długości ze względu na prędkość graniczną, zawierają się w granicach kilkuset metrów, w zależności od wymienionych zmiennych. Przy głębokości $H=5,0$ m, nawet dla źle ukształtowanego wylotu ($a=0,10$), odległość graniczna jest rzędu 250 do 1000 m (rys. 1 i 2). Zbiornik pracuje w stadium ruchu turbulentnego, na co wskazują duże wartości liczby Reynoldsa. Obszar korzystny ($Re < 12500$) znajduje się głównie na obrzeżu strumienia. Natomiast liczba Frouda jest w większości wypadków większa niż 10^{-8} , zatem można stwierdzić, iż osadnik jest stabilny. Jak wynika z analizy modelu, zbiornik źle pracuje dla małych głębokości (patrz rys. 1). Należałoby podkreślić, że już niewielka zmiana współczynnika wylotu a daje poważne efekty w postaci znacznego zmniejszenia prędkości w strumieniu i poszerzenia strugi, a więc zredukowania „martwej” powierzchni zbiornika (rys. 3).

Przyczynia się to do polepszenia warunków pracy jako osadnika. Na przykład dla wypływu cyklicznego bez przewężania, przy kącie rozwarcia strugi około 11° ($a=0,08$), martwy obszar stanowi duży procent powierzchni. Znaczne zmniejszenie martwych obszarów uzyskuje się przy zastosowaniu wylotu prostokątnego z łopatkami kierującymi na wejściu ($a=0,17-0,20$; kąt rozszerzenia $\alpha=22^\circ-26^\circ$). Przy założeniu, że ukształtowanie tego typu wylotu nie jest idealne ($a=0,15$), kąt rozszerzenia wynosi ok. 20° (rys. 2 i 3). Jest to wartość do osiągnięcia w warunkach budowy.

Podsumowanie

Opracowany model wskazuje, że przy odpowiednim ukształtowaniu i rozmieszczeniu wylotów zbiornik dobrze pracuje jako osadnik. Zachowane są w większości przypadków eksploatacyjnych kryteria dobrej pracy, a ponadto

można uzyskać małą ilość obszarów martwych, co ma duże znaczenie dla wymiany, a więc jakości wody. Kwestia starannego wyprofilowania wylotu odgrywa jednak w tym przypadku zasadniczą rolę.

Należałoby rozpatrzyć możliwość zastosowania kilku wylotów w osiach rozbieżnych lub równoległych, co miałyby na celu zmniejszenie jednostkowego wydatku wylotu i prędkości w strudze oraz redukcję obszarów martwych. Powołując się na badania doświadczalne Abramowicza, wolno przypuszczać, że jest możliwe uzyskanie analogii modelu z warunkami rzeczywistymi. Trzeba jednak podkreślić, że określenie parametrów strugi drogą teoretyczną, w tym konkretnym przypadku może dawać jedynie przybliżone wyniki.

LITERATURA

1. B. CYWIŃSKI, S. GDULA, E. KEMPA, J. KURBIEL, H. PŁOSZAŃSKI: *Oczyszczanie ścieków*, tom I. Arkady, Warszawa, 1983.
2. E. CZETWERTYŃSKI, B. UTRYSKO: *Hydraulika i hydromechanika*. PNW, Warszawa, 1979.
3. K. IMHOFF: *Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków*. Arkady, Warszawa, 1982.
4. H. WALDEN, J. STASIAK: *Mechanika cieczy i gazów*. PWN, Warszawa, 1965.

P. Horodyski

WATER RESERVOIR OF DZIECKOWICE AS A PRIMARY SETTLING TANK FOR RAW WATER

The operation conditions for the Dzieńkowice Reservoir (which acts as a primary settling tank in water supply for the Katowice agglomeration and the Katowice Steel Plant) are analyzed. A mathematical model involving semi-empirical formulae is proposed. Making use of the results of computer calculations, the operation conditions have been assessed and the optimum process parameters have been determined. Interpretation of calculated results shows that the Dzieńkowice Reservoir may act as an efficient primary setting tank provided that the grading of the outlet is arranged adequately.