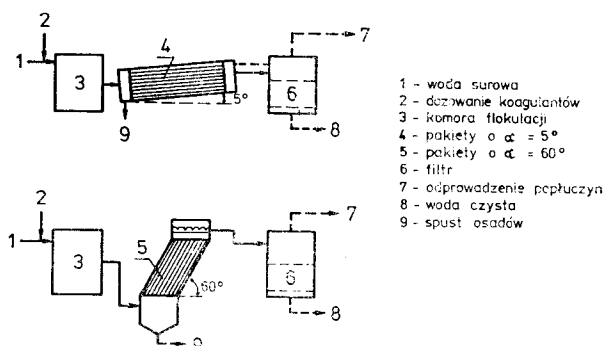


ZASTOSOWANIE PAKIETÓW SEDYMENTACYJNYCH DO INTENSYFIKACJI OPADANIA ZAWIESIN

Powszechnie stosowanym procesem w technologii uzdatniania wody i oczyszczania ścieków jest usuwanie zawieszin w osadnikach, modyfikacje tego procesu prowadzono zgodnie z teorią Hazena, według której efekt opadania zawieszin jest niezależny od głębokości. Najbardziej znanym usprawnieniem były propozycje Campa [1], dotyczące zainstalowania w głębokich osadnikach, o przepływie poziomym, szeregu płyt usytuowanych równoległe do dna, umożliwiających skrócenie drogi opadania cząsteczek zawieszin. W podobnym kierunku analizował możliwości zmiany konstrukcji osadników Fischerström [1], jednak ze względu na trudności, związane z usuwaniem osadów, rozwiązania te nie znalazły szerszego zastosowania w praktyce inżynierskiej.

Na uwagę zasługują również mało znane, w technologii wody i ścieków, wyniki prac drugiej grupy badaczy, związanych tematycznie z medycyną. W 1920 r. Boycott [2] zaobserwował, że cząsteczki z zawiesziny krwi sedymentują szybciej w przewodach „ukośnych” niż w pionowych. W 17 lat później Nakamura i Kuroda [2] opracowali uproszczony model matematyczny tego procesu oraz dokonali jego sprawdzenia w doświadczeniach z przewodem o przekroju kwadratowym, nachylnym pod kątem 45° . Przypuszczalnie dopiero kompilacja obu kierunków badań przyczyniła się do opracowania w USA dwóch typów pakietów sedymentacyjnych (tube settlers), zastosowanych po raz pierwszy w technologii uzdatniania wody — rys. 1.



Rys. 1. Zastosowanie pakietów sedymentacyjnych firmy „Neptune Microfloc” w technologii uzdatniania wody.

Pierwszy typ pakietów sedymentacyjnych zawierał 450 sześciobocznych przewodów o długości 760 mm i szerokości 51 mm instalowanych pod kątem 5° . Drugi typ pakietów wypełnionych przewodami o przekroju kwadratowym $a=51$ mm, długości 610 mm i nachyleniu 60° skonstruowano w oparciu o przeprowadzone badania laboratoryjne, w których zaobserwowano, że zawiesziny w przewodach o nachyleniu większym od 45° nie akumulują się na ściankach przewodów, ale przesuwają się samoczynnie w kierunku przeciwnym do przepływu wody. Pakiety o nachyleniu przewodów pod kątem 60° znalazły dość szerokie zastosowanie w technologii uzdatniania wody i były przedmiotem szeregu prac doświadczalnych w oczyszczalniach ścieków.

Podstawy teoretyczne

Teoretyczną zależność efektywności procesu sedymentacji od długości pojedynczego elementu pakietu, jego kształtu, wartości kąta nachylenia oraz zmiennego rozkładu prędkości w przekroju poprzecznym przewodu ustalił Yao [3], opisując ją równaniem:

$$S = \frac{v_0}{v} \left(\sin \alpha + \frac{l}{d} \cdot \cos \alpha \right) \quad (1)$$

gdzie:

S — współczynnik charakteryzujący kształt przewodu

v_0 — prędkość opadania zawieszin

v — prędkość przepływu

α — kąt nachylenia przewodu

l — długość przewodu

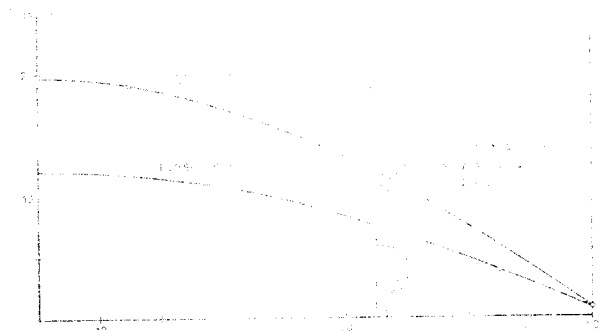
d — średnica przewodu

Wartość współczynnika S , ustalona dla najbardziej niekorzystnej linii opadania wynosi dla przewodów o przekroju okrągłym $4/3$, o przekroju kwadratowym $11/8$ i dla płyt ustawionych równolegle równa jest 1.

Równanie (1) można przedstawić w postaci:

$$v = v_0 \cdot 1/K \quad \text{gdzie } K = \frac{S}{\sin \alpha + \frac{l}{d} \cdot \cos \alpha} \quad (2)$$

Współczynnik K charakteryzuje dowolny rodzaj przewodu, stanowiący składowy element pakietu sedymentacyjnego. Przykładem może być przedstawiona na rys. 2 zależność pomiędzy odwrotnością współczynnika K a wielkością kąta nachylenia α . Wraz ze wzrostem wartości $1/K$, przy $v_0 = \text{const}$, rośnie dopuszczalna średnia prędkość przepływu — v . W zakresie kąta nachylenia od 0 do 30° wartość v ulegnie tylko niewielkiemu obniżeniu, w przedziale od 30 do 60° spadek krzywej jest już nieco większy i kształtuje się od 10,8 do 6,7 dla pakietu o długości $l=0,8$ m i od 17,3 do 10,4 dla pakietu o $l=1,3$ m.



Rys. 2. Zależność wartości współczynnika $1/K$ od kąta nachylenia pakietu α .

Powyżej 60° a zwłaszcza 75° następuje bardzo gwałtowne zmniejszenie się wartości $1/K$, co w konsekwencji eliminuje celowość zastosowania pakietów o takiej wielkości kąta nachylenia w skali technicznej.

W separatorach typu „Lamella” [4], w których przede wszystkim stosuje się płyty równoległe, parametrem decydującym o sprawności urządzenia jest powierzchnia przypadająca na jednostkę objętości — rys. 3,

$$A_s = \frac{\cos \alpha}{B} \text{ m}^2/\text{m}^3 \quad (3)$$

gdzie:

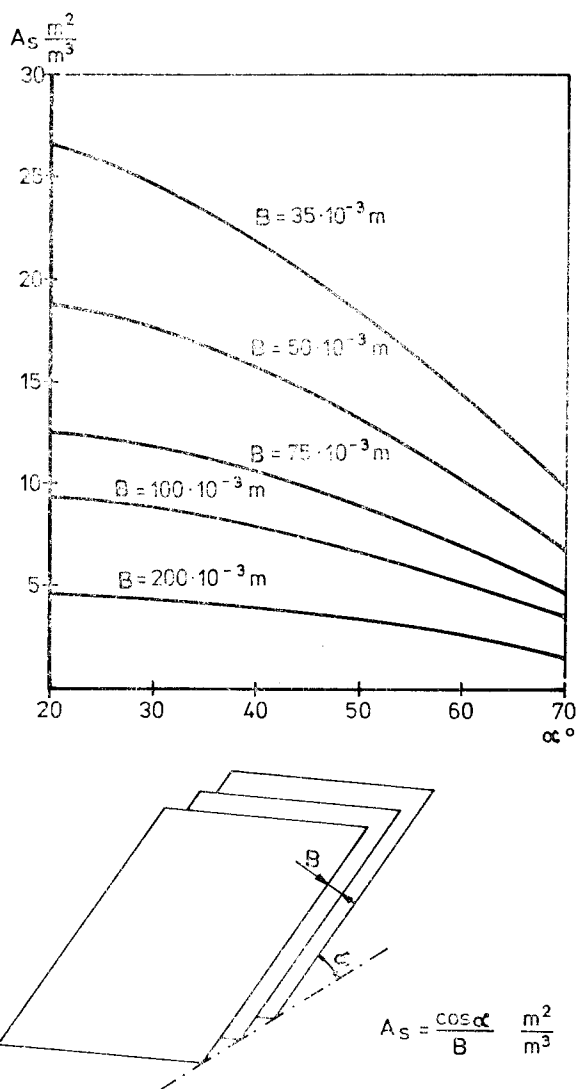
α — kąt nachylenia płyt do płaszczyzny poziomej

B — odległość pomiędzy płytami, mierzona prostopadłe do ich powierzchni

Średnią prędkość przepływu — v pomiędzy płytami równoległymi przy założeniu, że $d = B$ można obliczyć z równania:

$$v = v_0 / \sin \alpha + l \cdot A_s \quad (4)$$

Przedstawione powyżej zależności są przydatne przy projektowaniu osadników wyposażonych w pakiety sedymentacyjne, ale powinny być, w większości przypadków, uzupełnione badaniami technologicznymi w skali modelowej.



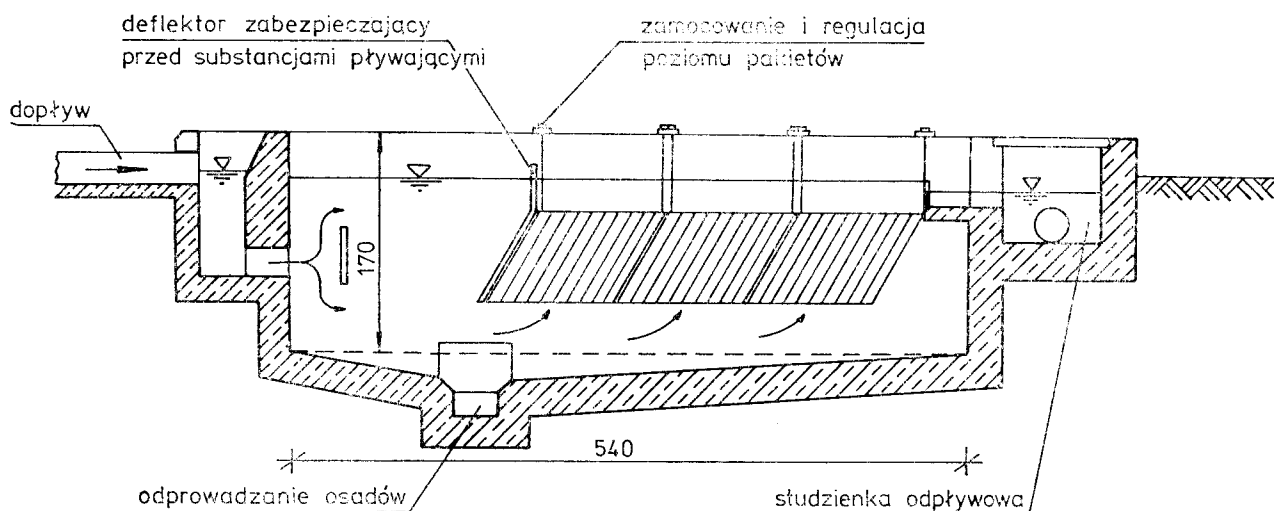
Rys. 3. Charakterystyczne parametry płyt sedimentacyjnych typu „Lamella”.

Badania nad zastosowaniem pakietów sedimentacyjnych w oczyszczalniach ścieków

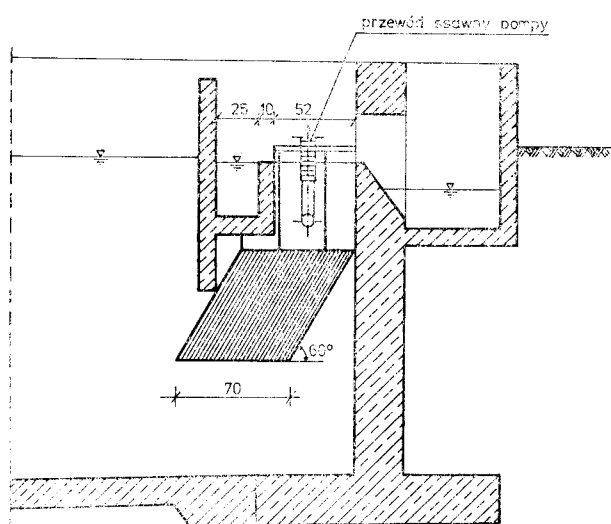
W pracach krajowych, do budowy pakietów sedimentacyjnych wykorzystywano głównie płyty faliście [5, 6]. Po raz pierwszy w kraju w skali półtechnicznej pakiety sedimentacyjne zainstalowano w oczyszczalni komunalnej w Bierutowie [4] w niewielkim, dwukomorowym osadniku wtórnym o przepływie poziomym — rys. 4. W celu porównania efektów technologicznych, uzyskiwanych dla dwu różnych wypełnień, w komórce I zamontowano pakiety z płyt falistych typu PWSiT, ustawianych równoległe w odległości $N = 50 \cdot 10^{-3} m$.

W drugim typie pakietów, wykonanym z płyt falistych typu L-3/450 układanych pod kątem 60° , powstały pojedyncze przewody o kształcie owalnym, zbliżonym do elipsy o osiach 40 i $50 \cdot 10^{-3} m$. Uzyskane efekty usuwania zawieszin wykazały nieco wyższą sprawność pakietów typu L-3/450. Przy obciążeniu hydraulicznym pakietów około $3 m^3/m^2 \cdot h$ stężenie zawieszin łatwo opadających w odpływie ulegało blisko 3-krotnemu zmniejszeniu w porównaniu z komorą kontrolną bez pakietów, obniżyła się również średnia zawartość zawieszin ogólnych z ok. 130 do $90 mg/dm^3$. W okresie ok. 2-letniej eksploatacji pakietów sedimentacyjnych częstotliwość ich spłukiwania wynosiła przeciętnie raz w tygodniu.

W badaniach nad efektem usuwania zawieszin osadu czynnego, prowadzonych na oczyszczalni ścieków „Świebodzice-Ciernie”, zainstalowano w strefie odpływowej osadnika wtórnego pakiet sedimentacyjny typu L-3/450 o powierzchni $1 m^2$ — rys. 5. Miejsce lokalizacji pakietu wybrano w najbardziej obciążonej hydraulicznie części strefy odpływowej. Dla uzyskania równomiernego przepływu zainstalowano nad pakietem perforowany ruszt stalowy, podłączony przewodem ssaw-



Rys. 4. Osadnik wtórny po złożach biologicznych z zainstalowanymi pakietami sedymentacyjnymi typu L-3/450.



Rys. 5. Strefa odpływowa osadnika wtórnego z zainstalowanym pakietem sedymentacyjnym typu L-3/450.

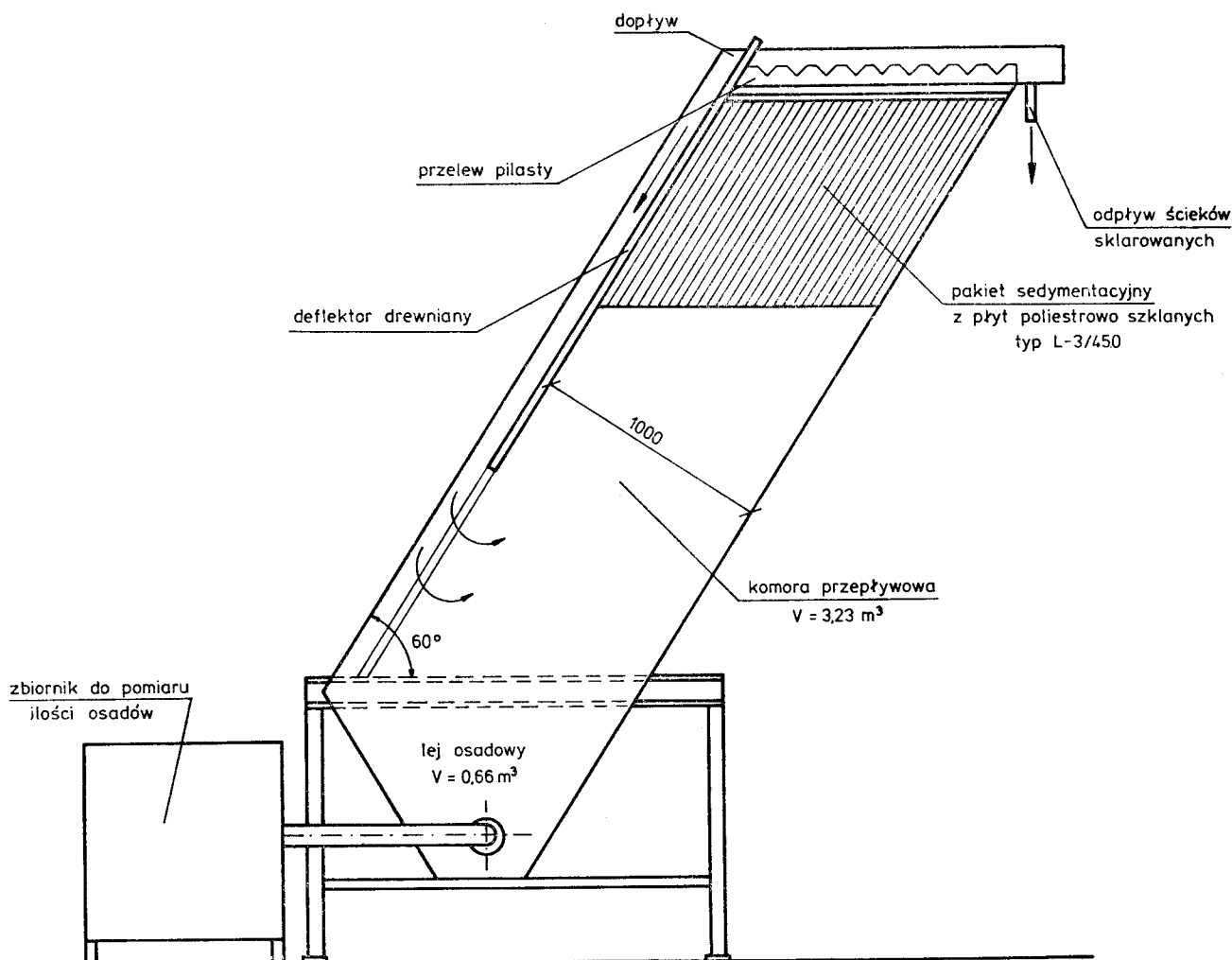
nym do agregatu pompowego. Przy obciążeniu hydraulicznym pakietu w zakresie od 4 do 6 m³/m²·h uzyskano w odpływie przeciętne stężenie zawiesin ok. 20 mg/dm³ oraz całkowite wyeliminowanie zawiesin łatwo opadających. W ściekach przepływających poza pakietem przeciętna zawartość zawiesin ogólnych była blisko dwukrotnie większa i wynosiła 38 mg/dm³.

Na oczyszczalni ścieków „Świebodzice-Ciernie” wykonywano również badania nad usuwaniem zawiesin osadu czynnego w osadniku modelowym — rys. 6. Badania wykazały, że efektywność usuwania tych zawiesin zależy przede wszystkim od składu biocenozy osadu determinującego jego zdolność sedymentacyjną. Wynika to z zależności pomiędzy indeksem objętościowym osadu a zawartością zawiesin ogólnych w odpływie — rys. 7, jaką uzyskano przy obciążeniu hydraulicznym w zakresie od 4,4 do 5,2 m³/m²·h.

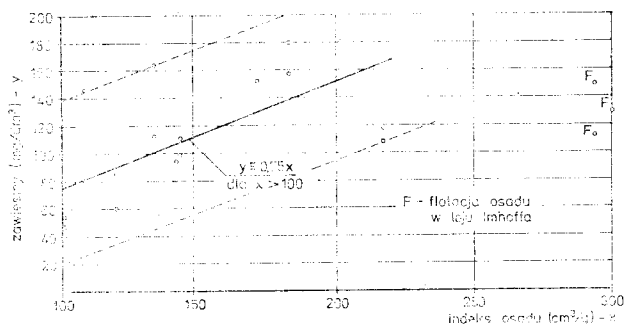
Sprawdzono również możliwość zastosowania pakietów sedymentacyjnych do usuwania zawiesin

osadu czynnego w stawach napowietrzanych w oczyszczalni w Mysłakowicach. Zainstalowanie pakietu sedimentacyjnego w strefie odpływowej stawu napowietrzanego — rys. 8, tylko nieznacz-

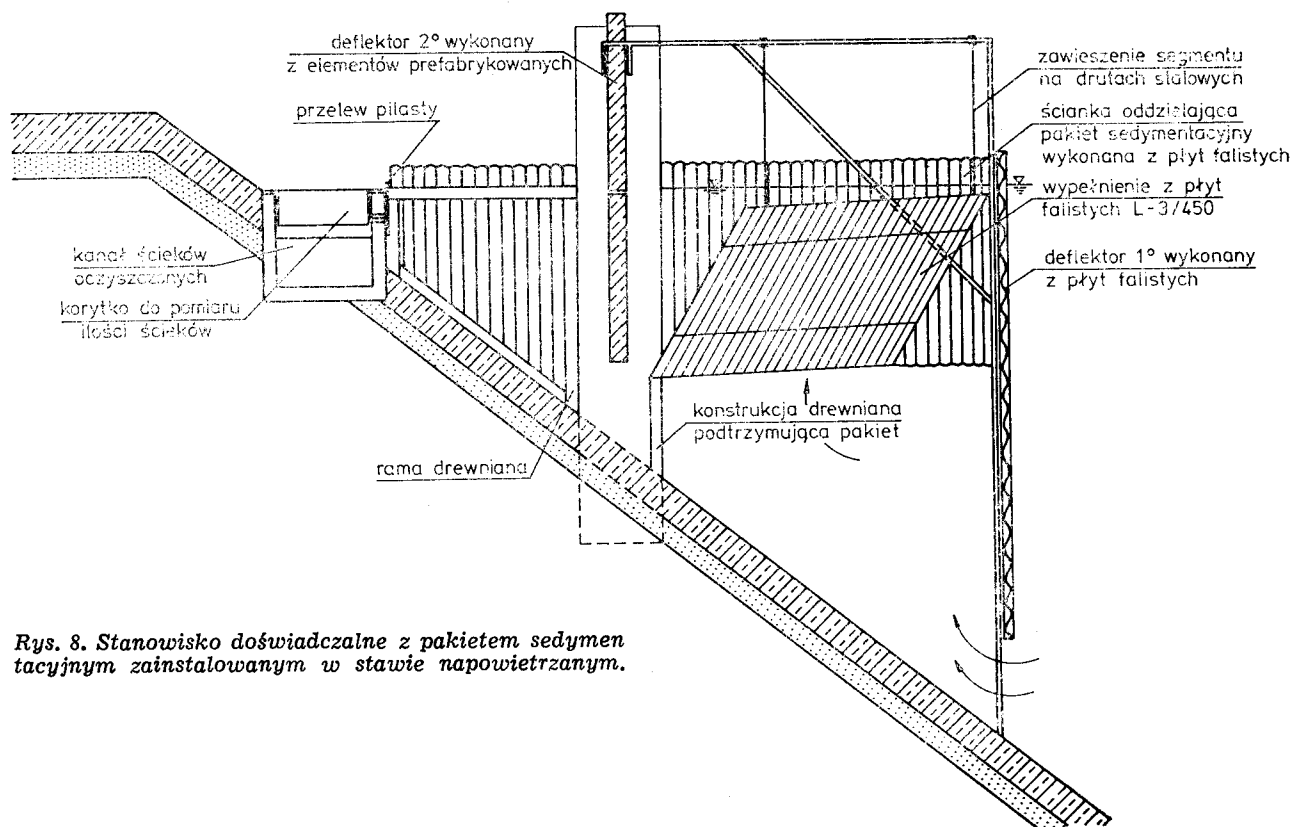
nie wpłynęło na zmianę składu odprowadzanych ścieków. Zawartość zawiesin ogólnych, w próbach pobieranych poza pakietem, kształtowała się od 250 do ok. 300 mg/dm³ i od 190 do 280 mg/dm³



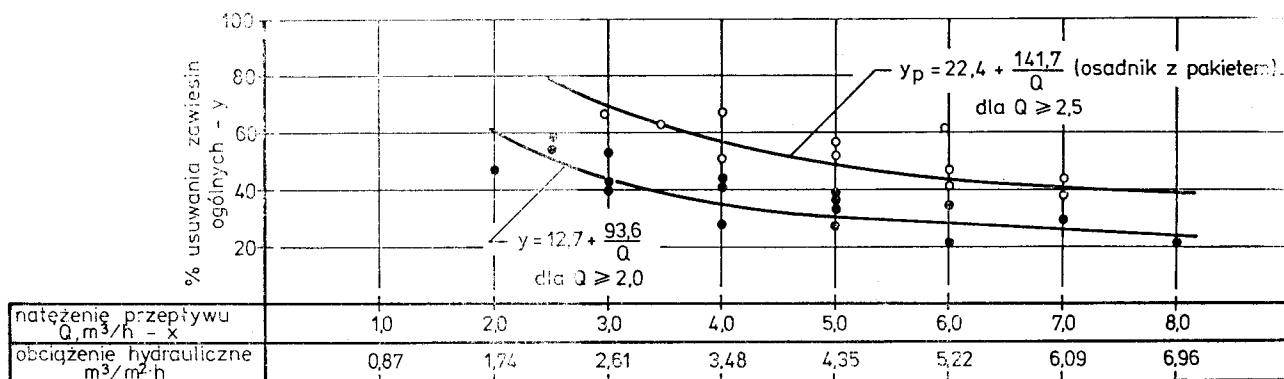
Rys. 6. Osadnik modelowy do badań intensyfikacji procesu sedimentacji zawiesin.



Rys. 7. Zależność pomiędzy indeksem objętościowym osadu czynnego, a zawartością zawieszin ogólnych w odpływie z osadnika modelowego z zainstalowanym pakietem sedymentacyjnym.



Rys. 8. Stanowisko doświadczalne z pakietem sedymentacyjnym zainstalowanym w stawie napowietrzanym.



Rys. 9. Efekt usuwania zawieszin ogólnych w zależności od obciążenia hydraulicznego osadnika modelowego.

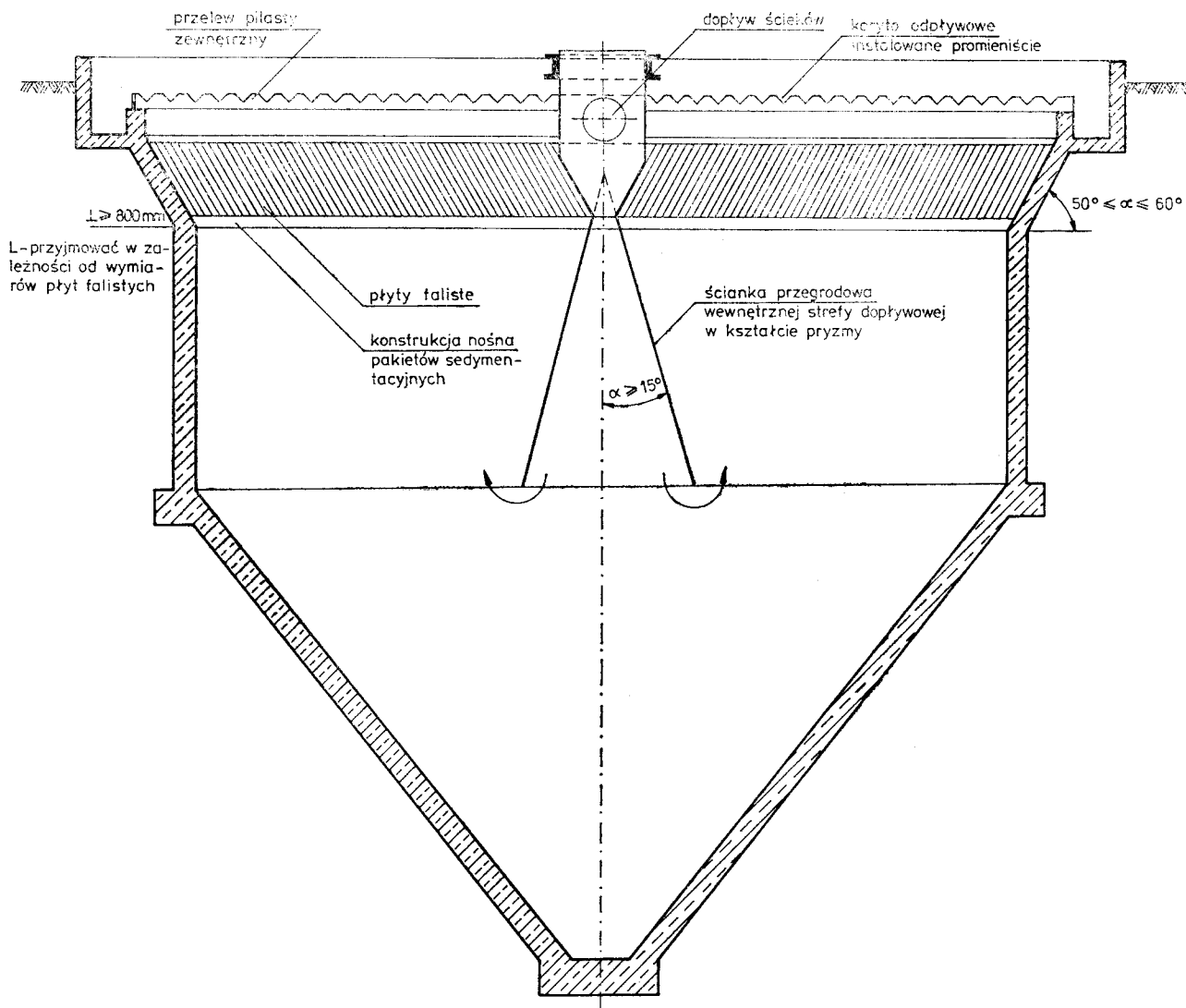
w ściekach, przepływających przez pakiet sedymentacyjny. Jedną z przyczyn uzyskania niezadowalających rezultatów, oprócz słabych właściwości sedymentacyjnych osadu czynnego, była zbyt duża intensywność falowania ścieków, które doprowadziło do prawie całkowitego zniszczenia ekranu, osłaniającego strefę odpływową.

Badania nad efektem usuwania zawieszin ze ścieków surowych

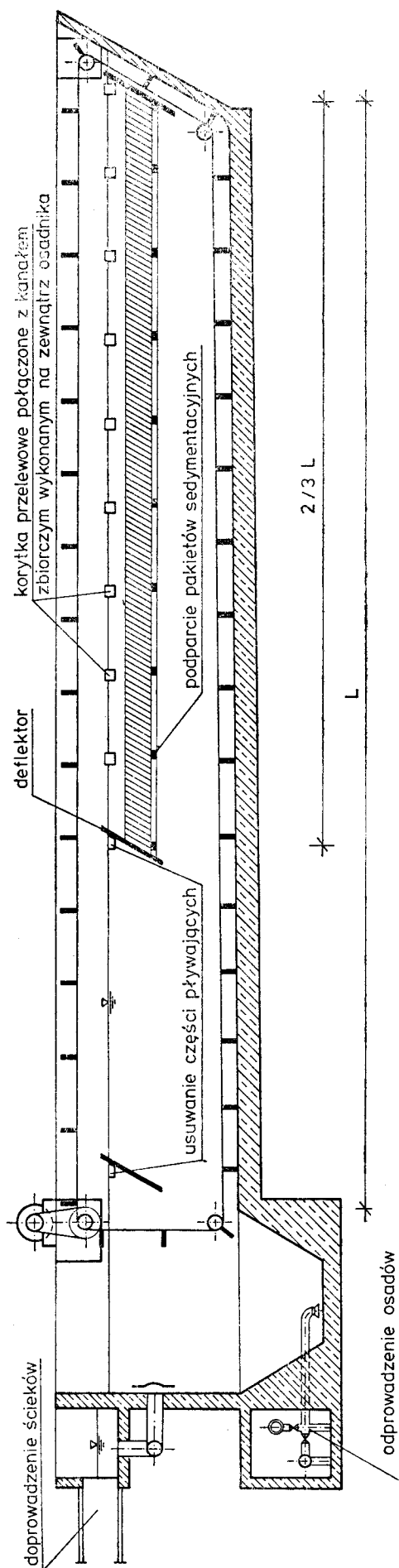
W badaniach przeprowadzonych na osadniku modelowym, zainstalowanym na terenie oczyszczalni ścieków „Świebodzice-Ciernie”, przeciętne stężenie zawieszin ogólnych w dopływie wynosiło 350 mg/dm^3 , w tym zawieszin pochodzenia mineralnego 150 mg/dm^3 , a zawieszin łatwo opadających ok. $10 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$. W próbach bez pakietu uzyskiwano, w zależności od obciążenia hydraulicznego, od 80 do 90% zmniejszenia ilości zawieszin łatwo opadających. Po zainstalowaniu pakietu sedymentacyjnego, w całym zakresie na-

żeń przepływu, ilość zawieszin łatwo opadających nie przekraczała $0.4 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$, a stopień ich usunięcia był nie niższy od 96%.

Ustalona zależność pomiędzy efektem usuwania zawieszin ogólnych a obciążeniem hydraulicznym — rys. 9 wskazuje, że zastosowanie pakietu sedymentacyjnego pozwala na ok. dwukrotne zwiększenie



Rys. 10. Osadnik o przepływie pionowym z zainstalowanymi pakietami sedymentacyjnymi.



Rys. 11. Osadnik o przepływie poziomym z zainstalowanymi pakietami sedymentacyjnymi.

zenie przepustowości osadnika, przy zachowaniu tej samej wartości stopnia usuwania zawieszin. Osadnik modelowy wykorzystano również do wstępnego klarowania ścieków przemysłowych — po neutralizacji (przed odprowadzeniem ich do kanalizacji miejskiej), o składzie zbliżonym do ścieków galwanizerskich. W zakresie obciążeń hydraulicznych od $2,5$ do $6,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ i przy przeciętnej zawartości zawieszin ogólnych ok. 3500 mg/dm^3 uzyskiwano od 65 do 85% zmniejszenia tego wskaźnika, zawartość zawieszin łatwo opadających obniżono od 94 do 99% . Uzyskane rezultaty w próbach z osadnikiem modelowym świadczą, że tego typu urządzenia, po wprowadzeniu pewnych modyfikacji, mogłyby znajdować zastosowanie w niewielkich stacjach uzdatniania wody, zablokowanych oczyszczalniach ścieków lub jako wydzielone urządzenia do zagęszczania osadów.

Podsumowanie

1. W oparciu o wyniki prac doświadczalnych, proponowany zakres zastosowania pakietów sedymentacyjnych w oczyszczalniach miejskich mógłby obejmować osadniki dla wód deszczowych, osadniki wstępne, osadniki wtórne po złożach biologicznych oraz osadniki wtórne — po koagulacyjnych w procesach odnowy wody.

Nie zaleca się stosowania pakietów sedymentacyjnych do polepszenia efektu usuwania zawieszin osadu czynnego, ponieważ charakteryzują się one zmienną zdolnością sedymentacyjną, odkładają się częściowo na ściankach przewodów i na powierzchni pakietów, powodując duże trudności eksploatacyjne, a niejednokrotnie nawet pogorszenie się składu oczyszczanych ścieków. Zastosowanie pakietów sedymentacyjnych w oczyszczaniu ścieków przemysłowych mogłoby przede wszystkim dotyczyć usuwania zawieszin pochodzenia mineralnego, np. z przemysłu ceramicznego i materiałów budowlanych, kopalń węgla i rud a także z niektórych gałęzi przemysłu chemicznego, zakładów włókienniczych itp.

2. Ze względów konstrukcyjnych, aktualnie w kraju pakiety sedymentacyjne instalować można wyłącznie w osadnikach pozbawionych urządzeń do mechanicznego zgarniania osadów. Nie należy instalować pakietów sedymentacyjnych w oczyszczalniach ścieków przeciążonych nadmierną ilością osadów.

3. Stosowane do budowy pakietów płyty faliste instalować można na konstrukcji w formie rusztu podpierającego lub jako elementy zawieszane. Przy ustalaniu celowości modyfikacji istniejących obiektów należy uwzględnić możliwość zmniejszenia się powierzchni czynnej osadnika po zainstalowaniu pakietów (np. w osadnikach kołowych nawet o ok. 20%). Straty w powierzchni czynnej można znacznie ograniczyć poprzez zmianę kąta nachylenia ścian zewnętrznych — rys. 10. Zastosowanie pakietów sedymentacyjnych w osadnikach o przepływie poziomym i promienistym wymaga wprowadzenia mechanicznych zgarniaczy z napędem centralnym. Na rysunku 11 przedsta-

Tabela 1.

Proponowane parametry technologiczne projektowania osadników
z zainstalowanymi pakietami sedymentacyjnymi.

Lp.	Rodzaj osadników	Stężenie zawiesin w dopływie mg/dm ³	Charakterystyka pakietu sedymentacyjnego	Obciążenie hydrauliczne pakietów m ³ /m ² ·h	% redukcji zawiesin ogólnych	Zawartość zawiesin w odpływie
1	Technologia uzdatniania wody Osadniki wstępne	< 200	długość przewodów - - 0,8 m kształt przewodu - - owalny o średnicy zastępczej 40 - 65·10 ⁻³ m	< 10	> 75	< 50 mg/l
2	Osadniki pokoagulacyjne Technologia oczyszczania ścieków	< 200	Kąt nachylenia - 60°	5 - 8	> 75	< 50 mg/l
1	Osadniki wstępne	< 450		< 4	40 - 60	< 0,5 cm ³ /dm ³
2	Osadniki wtórne po złożach biologicznych	< 250		< 4	> 60	< 0,5 cm ³ /dm ³
3	Osadniki pokoagulacyjne /ścieki z przemysłu włókienniczego/	< 500		< 4	> 70	100 - 120 mg /dm ³

wiono proponowany sposób modyfikacji osadnika o przepływie poziomym, wyposażonego w zgarzniacz łańcuchowy. W zależności od stężenia zawiesin i rodzaju oczyszczanych ścieków można zwiększać powierzchnię pakietów sedymentacyjnych. Dla warunków przeciętnych powierzchnia zajmowana przez pakiety może obejmować ok. 2/3 części przepływowej osadnika. Rozwiązanie to nie eliminuje jednak nierównomiernego obciążenia pakietów ładunkiem zawiesin i z tego wzglę-

du można rozpatrywać inną konstrukcję z centralnym rozdziałem doprowadzanych ścieków wzdłuż osadnika.

4. Efektywność procesu usuwania zawiesin w osadnikach z zainstalowanymi pakietami sedymentacyjnymi (osadniki wielostrumieniowe), podobnie jak w osadnikach klasycznych, zależy od wielu czynników. Podstawowymi parametrami decydującymi o przebiegu tego procesu są obok obciąż-

żenia hydraulicznego, zawartość zawieszin i ich zdolność opadania. W tabeli 1 zamieszczono propozycje parametrów technologicznych projektowania osadników z zainstalowanymi pakietami sedimentacyjnymi, ich wartości oparte głównie na wynikach prac własnych uzupełniono analizą danych literaturowych [7, 8, 9]. Z tablicy tej wynika również, że pakiety sedimentacyjne powinny w pierwszej kolejności znaleźć zastosowanie w technologii uzdatniania wody, ponieważ w porównaniu do urządzeń instalowanych w oczyszczalniach ścieków ich efektywność jest blisko dwukrotnie większa, a sposób eksploatacji znacznie mniej kłopotliwy. Eksploatacja osadników wyposażonych w pakiety sedimentacyjne polega głównie na utrzymaniu ich w odpowiedniej czystości, co wymaga okresowego spłukiwania oczyszczonymi ściekami lub wodą w zależności od wielkości obiektu. Z tego względu zaleca się instalowanie agregatów pompowych, ujmujących sklarowany odpływ z osadników wtórnych oraz przewodów, umożliwiających doprowadzenie wody w pobliżu zmodyfikowanego osadnika.

LITERATURA

1. B. CYWIŃSKI i inni: Oczyszczanie ścieków miejskich. Arkady, Warszawa 1972.
2. E. ZAHAWI, E. RUBIN: Settling of Solid Suspensions under and between Inclined Surfaces, Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop., 1975, Nr 1.
3. M.K. YAO: Theoretical study of high rate sedimentation. JWPCF, 1970, Nr 2.
4. B. FORSELL, B. HEDSTROM: Lamella sedimentation: A compact separation technique. JWPCF, 1975, Nr 4.

5. A. NALBERCZYŃSKI: Badania technologiczne nad efektem usuwania zawieszin w osadniku wtórnym po złożach biologicznych przy zastosowaniu elementów segmentowych z tworzyw sztucznych wykonanych z materiałów krajowych. Praca niepublikowana, IMGW Oddział we Wrocławiu, 1973.
6. W. OLSZEWSKI: Zastosowanie osadników wielostrumieniowych w procesach oczyszczania ścieków. Materiały na XVIII Konferencję Naukowo-Techniczną, Katowice, czerwiec 1975 r.
7. S. P. HANSEN i inni: Practical application of idealized sedimentation theory in wastewater treatment. JWPCF, 41, 1969.
8. W. CONLEY, A. SLECHTA: Recent experiences in plant scale application of the settling tube concept. Water Pollution Control Federations 43 rd Annual Conference, Boston 1970.
9. R. HECKEL, M. KORN: Rationalisierung von Absetzbecken mittels Röhrensedimentation, Wasserwirtschaft — Wassertechnik, Nr 10, 1974.