

Małgorzata Helman Grubba
Adam Szulczewski
„Ekol-Unicon” Sp. Z o.o.
Ul. Równa 2
80-067 Gdańsk
tel 058/306 56 78; kom. 0502 186 168

"Skład i podczyszczanie miejskich ścieków opadowych a norma drogowa; efektywność wybranych rozwiązań technologicznych w świetle doświadczeń laboratoryjnych i eksploatacyjnych"

1.0. Wprowadzenie

W listopadzie 1992r, polskie ustawodawstwo po raz pierwszy uznało fakt zanieczyszczenia wód opadowych (zwłaszcza w zlewniach zurbanizowanych). Od tego czasu obserwujemy nasilenie prac naukowych, wdrożeniowych, legislacyjnych zmierzających do jak najlepszego opisanie zjawiska spływu zanieczyszczeń, których nośnikiem są wody opadowe oraz wdrożenia odpowiednich urządzeń i rozwiązań formalno-prawnych zabezpieczających nasze środowisko wodne przed tymi zanieczyszczeniami.

Zmiany legislacyjne, a przede wszystkim realnie stosowane praktyki (interpretacje) podlegają wpływom zarówno doświadczeń z badań naukowych, jak i działań o charakterze lobbystycznym – stosowanym przez środowiska producentów urządzeń podczyszczających wody opadowe.

Początkowy okres funkcjonowania legislacji ‘deszczowej’ upłynął pod hasłem walki z zanieczyszczeniami olejowymi, które trafiają do naszych wód powierzchniowych głównie z zanieczyszczonych wód opadowych. Szybko rozwijająca się oferta rynkowa i działania marketingowe producentów separatorów olejowych doprowadziły do takich przemian świadomościowych, że dziś już prawie każdy Inwestor przystępujący do budowy zakładu, centrum handlowego, czy większego parkingu – kolekcjonuje i analizuje oferty separatorów różnych firm. Jednak zarówno zapisy rozporządzeń ‘deszczowych’, jak i coraz liczniejsze badania naukowe **potwierdzają fakt, iż zanieczyszczenia olejowe, choć groźne – nie wyczerpują listy zagrożeń naszych wód powierzchniowych powodowanych spływami opadowymi.**

Największym i ciągle trudnym do opanowania zagrożeniem niesionym przez spływy opadowe i roztopowe z terenów zurbanizowanych są zawiesiny oraz zanieczyszczenia z nimi zagregowane: związki organiczne, metale ciężkie, bakterie, znaczna część zanieczyszczeń olejowych. (Oddzielnym problemem – jeszcze nie opanowanym przez nasze ustawodawstwo są zanieczyszczenia chlorkami.) Stąd problematyka zawiesin deszczowych będzie wiodącym tematem niniejszej pracy.

2.0. Skład miejskich ścieków opadowych oraz ścieków z dróg – podobieństwa i różnice

Roczne ładunki odprowadzana ze zlewni zależą od bardzo wielu czynników (głównie od zagospodarowania terenu oraz charakterystyki opadu). Niemniej źródła naukowe [6] **jako pierwsze przybliżenie zalecają przyjmować, iż z 1 hektara nieprzepuszczalnej powierzchni spływa rocznie:**

- 655 kg zawiesiny;
- 630 kg ChZT i ok. 90 kg BZT₅,
- 15 kg węglowodorów;
- **1 kg ołowiu.**

Z czego największe stężenia metali ciężkich związane są z frakcjami osadu prędkości sedymentacji od 14,4 do 28,8 m/h. [6].

Dostępne prace i badania potwierdzają, iż poszczególne zlewnie deszczowe bardzo się od siebie różnią pod względem zawartości różnych zanieczyszczeń, w szczególności tzw. zlewnie miejskie od zlewni typowo drogowych, scharakteryzowanych w normie PN-S-02204, Drogi samochodowe: Odwodnienie dróg [2]

W tabelach 1÷4, prezentujemy charakterystykę spływu opadowego z 3 charakterystycznych zlewni miejskich w Rzeszowie [3]:

- osiedle mieszkalne z 2 dość ruchliwymi ulicami przelotowymi (zlewnie 1 a i 1 b);
- typowe osiedle – tylko z ulicami osiedlowymi (2),
- zlewnia śródmiejska będąca wyłącznie drogą (3).

Natomiast tabela 5 pokazuje charakterystyczne parametry ścieków roztopowych.

Tabela 1. Charakterystyczne dane badanych zlewni miejskich [3]

lp.	Rodzaje zlewni deszczowych	Powierzchnia F [ha]	Powierzchnia zredukowana F _z [ha]	Kanał Ø/i [m /‰]	Przepływ Q _c [dm ³ /s]	Współczynnik spływu ψ
1a	Osiedle Baranówka, ul. Ofiar Katynia	31,04	10,45	0,8/2,5	658	0,34
1b	Osiedle Baranówka, ul. Obrońców Poczty Polskiej	15,19	5,35	0,8/2,5	658	0,35
2	Osiedle Piastów	1,83	0,88	0,5/18	506	0,48
3	Al. Powstańców Warszawy	4,16	2,46	1,0/34	4409	0,59

Tabela 2. Parametry ścieków deszczowych z Osiedla Baranówka (zlewnia mieszkalna z 2 drogami przelotowymi) w trakcie przebiegu opadu [3]

Czas min	Przepływ				Wskaźniki zanieczyszczeń					
	Q dm ³ /s		Q/Q _c %		Zawiesiny g/m ³		BZT ₅ g/m ³		ChZT g/m ³	
	1a	1b	1a	1b	1a	1b	1a	1b	1a	1b
0	22,2	8,2	3,4	1,2	408	1743	225	206	340	255
10	8,2	63,6	1,2	9,7	184	1168	210	194	274	211
20	6,6	18,3	1,0	2,8	128	550	148	168	220	190
30	4,8	9,3	0,7	1,4	108	393	152	158	230	177
40	-	5,3	-	0,8	-	236	-	150	-	177
45	9,3		1,4		80		127		168	
50	-	4,2	-	0,6	-	187	-	133	-	157
60	26,7		4,1		74		116		145	

Stężenia zawiesin w wodach roztopowych są z reguły jeszcze większe od stężeń w wodach deszczowych (tabela 5), a zawartość zawiesin w odpływach ze wszystkich analizowanych zlewni przekracza wartości dopuszczalne dla zrzutu do środowiska.

Deszcze o natężeniu 15 dm³/s×ha, które stanowią główną podstawę do wymiarowania podczyszczalni deszczowych – wg statystyki opadów w Polsce – najczęściej trwają ok. 1 godziny, a zatem są bardzo bliskie zjawiskom opadowym analizowanym w zlewniach rzeszowskich.

Tabela 3. Parametry ścieków deszczowych z Osiedla Piastów (zlewnia mieszkalna) w trakcie przebiegu opadu [3]

Czas min	Przepływ		Wskaźniki zanieczyszczeń		
	Q dm ³ /s	Q/Q _c %	Zawiesiny g/m ³	BZT ₅ g/m ³	ChZT g/m ³
0	59,0	11,7	474	38	65
7	38,6	7,6	437	22	50
10	32,2	6,0	401	21	51
15	10,7	2,1	419	22	50
22	6,5	1,3	238	19	34
27	3,1	0,6	109	22	40

Tabela 4. Parametry ścieków deszczowych z Al. Powstańców Warszawy Osiedla Baranówka (śródmiejska zlewnia drogowa) w trakcie przebiegu opadu [3]

Czas	Przepływ		Wskaźniki zanieczyszczeń		
	Q dm ³ /s	Q/Q _c %	Zawiesiny g/m ³	BZT ₅ g/m ³	ChZT g/m ³
0	82,2	1,9	813	8	337
10	104,2	2,4	835	17	218
20	134,6	3,0	993	19	178
30	176,6	4,0	1243	7	479
50	72,9	1,6	1177	26	1059
80	16,8	0,4	1366	44	119

Tabela 5. Parametry ścieków roztopowych dla różnych form zagospodarowania terenu – {zakres (średnia)} wg badań Grabarczyk 2000; Novitny i inni 1998, 1999; Oberts i inni 2000; Osmólska Mróz i inni 1993; Sawicka Siarkiewicz 2003; Viklander 1998, 1999 [15]

wskaźnik	jednostka	mieszkaniowe - zabudowa wielorodzinna	handlowo – usługowe
Przewodnictwo ogólne	μS/cm	1012-6500 (3026)	1462-12200 (3638)
Odczyn	pH	6,89-9,06 (7,06)	6,29-9,16 (7,50)
Zawiesina ogólna (TTS)	mg/l	48-1450 (577)	161-1360 (831)
ChZT (COD)	mg/l	155-772 (383)	191-1224 (686)
BZT ₅ (BOD ₅)	mg/l	19-45 (31)	12-375 (128)
Azot ogólny (TKN)	mg/l	5-12 (8,9)	7,0-48,4 (15,6)
Fosfor ogólny (TP)	mg/l	1,05-3,11 (1,61)	1,3-9,4 (3,7)
Chlorki (Chlorides)	mg/l	230-2700 (1134)	285-9900 (1959)
Ekstrakt eterowy	mg/l	26-75 (45)	30-120 (85)

W zestawieniu z wytycznymi normy drogowej (tabela 6) do przyjmowania stężeń zawiesin w ściekach ze zlewni drogowych **widzimy, iż norma drogowa, nawet po zastosowaniu zalecanych mnożników (patrz uwaga do tab.6.) nie odzwierciedla stopnia zanieczyszczenia zawiesinami spływów opadowych (deszczowych/roztopowych) ze zlewni miejskich.** Dotyczy to zarówno zlewni osiedlowych, handlowo-usługowych, **jak i zlewni będących ulicami śródmiejskimi.**

Spływy ze zlewni miejskich, w szczególności spływy z śródmiejskich dróg i terenów usługowo-handlowych są - w świetle badań – bardziej zanieczyszczone zawiesinami, niż sugerowałaby to norma drogowa.

Wobec powyższych danych z badań należałoby podać **pod dyskusję zakres stosowania normy drogowej, w szczególności w stosunku do dróg na terenach zabudowanych,** a stosowanie ww. normy do obliczeń ekologicznych spływów opadowych ze zlewni miejskich nie będących drogami uznać za nieporozumienie.

Niestety wiedza nt. rzeczywistego składu wód deszczowych, pomimo licznych publikacji IOŚ Warszawa, dość wolno rozchodzi się w środowiskach projektantów. Norma drogowa bywa często wykorzystywana do modelowania składu wód deszczowych z całości terenów

zurbanizowanych. Praktyka doradcza autora wykazuje ponadto, iż zalecane przez normę mnożniki, które zbliżają założenia normy do rzeczywistości są z reguły pomijane.

Tabela 6. Wartości stężeń zawiesin ogólnych w ściekach deszczowych z drogi o czterech pasach ruchu (w obu kierunkach) [2].

Natężenie ruchu w obu kierunkach	Zawiesiny ogólne w spływach z terenów niezabudowanych	Zawiesiny ogólne w spływach z terenów zabudowanych
tys. poj. rz./dobę	mg/dm ³	mg/dm ³
1	30	40
5	100	125
10	185	220
15	200	240
20	220	265
25	235	280
30	245	295
35	257	310
40	265	320
60	290	350
80	300	360
100	305	365

Uwaga! Z normy [xxx] „... Dla liczby pasów większej niż 4 należy stosować współczynnik poprawkowy o wartości $5,2/n$, gdzie n oznacza liczbę pasów ruchu (w obu kierunkach). Dla liczby pasów mniejszej niż 4 należy stosować współczynnik poprawkowy o wartości $3,2/n$.”

W kontekście powyższych uwag krytycznych warto zauważyć, docenić i stosować § 4.4. cytowanej normy, który uprawnia projektantów do stosowania innych modeli matematycznych, np. w zakresie obliczeń ekologicznych – pod warunkiem udowodnienia ich poprawności min. na podstawie porównania z danymi empirycznymi.

Zalecenia IOŚ Warszawa (tabela 7), które przedstawiają uśrednioną charakterystykę wód opadowych z różnych zlewni pod kątem zanieczyszczeń zawiesinami i związkami ropopochodnymi wydają się bliższe rzeczywistości, choć w **świele badań z Rzeszowa - nawet zalecenia IOŚ wydają się zaniżać zawartość zawiesin w spływach z ulic miejskich.**

Tabela 7. Wymagana redukcja normowanych wskaźników zanieczyszczenia w spływach opadowych [12].

Wskaźnik Zanieczyszczenia	Wartości średnie wskaźników zanieczyszczenia w spływach opadowych [mg/l]					Wymagana jakość spływów opadowych odprowadzana do wód lub do ziemi	Min. % redukcji wartości średnich stężeń
	Z tras szybkiego ruchu	Z ulic	Z parkingów	Z terenu stacji paliw	Z terenów miejskich		
Wskaźniki normowane							
Stężenie zawiesin ogólnych [mg/l]	160-200	320	120	240	300-500	≤100	17-80
Stężenie substancji ropopochodnych [mg/l]*	<10,0	<10,0	<10,0	20,0	1,5	≤15,0	<25,0 (tylko ze stacji paliw)

- z wykluczeniem niekontrolowanych wycieków paliwa

Zaprezentowane powyżej dane z badań i zaleceń projektowych potwierdzają, iż kluczowym problemem w oczyszczaniu spływów opadowych z terenów zurbanizowanych jest usuwanie zawiesin, a **dotrzymanie aktualnych regulacji prawnych [...] wymaga stosowania wysokosprawnych osadników.**

W przypadku spływów z ulic miejskich oraz miejskich zlewni handlowych, czy nawet mieszkaniowych – **wymagany poziom usuwania zawiesin kształtuje się na poziomie $\eta=70\div 90\%$.** (Dolne wartości są bliskie osiedlom typowo mieszkalnym, górne – dzielnicom z intensywną komunikacją oraz obszarom usługowo-handlowym.)

3.0. Efektywność usuwania zawiesin z wód deszczowych – modele frakcyjne zawiesin deszczowych.

Skuteczność usuwania zawiesin o charakterze ziarnistym podlegającym prawu Stokes’a, a taki charakter wg wszystkich źródeł naukowych posiadają zawiesiny deszczowe – zależy od struktury uziarnienia, obciążeń hydraulicznych zastosowanych w osadniku oraz od indywidualnych cech hydraulicznych konkretnego osadnika, które determinują wartość tzw. współczynnika α_{OS} .

Wymiarowanie osadnika w planie

$$F_{OS} = Q/q_F \quad [m^2] \quad [12]$$

gdzie:

Q - natężenie dopływu wód opadowych miarodajne do wymiarowania osadnika [m^3/h],
 q_F - maksymalne dopuszczalne obciążenie hydrauliczne powierzchni osadnika [m/h] lub [$m^3/m^2 \times h$]

$$q_F = v_o / \alpha_{OS}$$

gdzie:

v_o - prędkości opadania cząstek zawiesin, które chcemy usunąć w osadniku [m/h] lub [$m^3/m^2 \times h$]

α_{OS} - współczynnik bezpieczeństwa zależny od hydrauliki danego osadnika.

Dla osadnika ‘idealnego’ $\alpha_{OS}=1$ a $q_F = v_o$

jednak takiego ideału nie udało się jeszcze nikomu stworzyć.

Przyjęcie modelu sedimentacji zawiesin deszczowych wg Stokes’a pozwala nie tylko na zaprojektowanie usuwania danej cząstki ziarnistej, ale także na zamodelowanie stopnia usuwania cząstek. Innych średnic i prędkości opadania.

Ponownie odwołujemy się do pojęcia osadnika ‘idealnego’. W takim osadniku stopień wydzielenia cząstki o danej prędkości padania v_{op} – jest wprost proporcjonalny do relacji:

$$\eta = [v_o / q_F] \times 100\%$$

gdzie:

q_F - rzeczywiste obciążenie hydrauliczne powierzchni osadnika [m/h] lub [$m^3/m^2 \times h$].

Stąd dla $q_F = v_o$; $\eta = 100\%$

Dla osadników rzeczywistych powyższe relacje będą również obarczone współczynnikiem bezpieczeństwa lub ‘odchyłki od ideału’ i realna skuteczność usuwania ziaren danej średnicy wyniesie:

$$\eta = [v_o / (\alpha_{OS} \times q_F)] \times 100\%$$

Autorzy deszczowe (np. IOŚ Warszawa) zalecają przyjmować obciążenia hydrauliczne dla ziaren, na które chcemy zaprojektować osadnik – wg poradnika „Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków” K.i K. Imhoffa [mmm] lub wg normy drogowej.

Autorzy rekomendują ponadto poradnik Arkady [5]

Tabela 8.1. Prędkość opadania zawieszin ziarnistych (m/h) w ściekach o temp. 10°C [11]

Materiał	Średnica cząstki, mm						
	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01	0,005
Piasek kwarcowy	502	258	82	24	6,1	0,3	0,06

Tabela 8.2. Stopień wydzielenia cząstek ziarnistych piasku w zależności od obciążenia hydraulicznego (osadniki poziome/piaskowniki) [11]

Średnica ziaren piasku [mm]	Stopień wydzielenia przy obciążeniu hydraulicznym powierzchni q_F (m/h)		
	$\eta = 100\%$	$\eta = 90\%$	$\eta = 85\%$
0,16	12	16	20
0,20	17	28	36
0,25	27	45	58

Źródła [11 i 5] wyraźnie różnicują wartości prędkości opadania cząstek oraz obciążenia hydrauliczne – zalecane dla do projektowania aby daną cząstkę usunąć (tabela 8.1, 8.2; 9).

Za tabel 8.1.i 8.2. – wynika, iż wg Imhoffa [11] – np. dla ziaren średnicy 0,2mm – pomimo prędkości opadania wynoszącej ponad 80m/h, zalecane obciążenie hydrauliczne wynosi 17m/h (dla uzyskanie 100% wydzielenia), a dla obciążeń równych prędkości opadania cząstki – możemy się spodziewać efektywności poniżej 85%.

Te rozbieżności nie są niczym innym jak zaszyfrowanym współczynnikiem α_{os} , a po przeliczeniu powyższych relacji z tabel 8.1 i 8.2 – uzyskujemy $\alpha_{os} = 2,7+4,8$; w zależności od projektowanego stopnia wydzielenia cząstki (mniejsze dla 85%, największe dla 100%).

Podobną deszyfrację współczynnika α_{os} przeprowadzono dla zaleceń projektowania piaskowników – z poradnika Arkady [5].

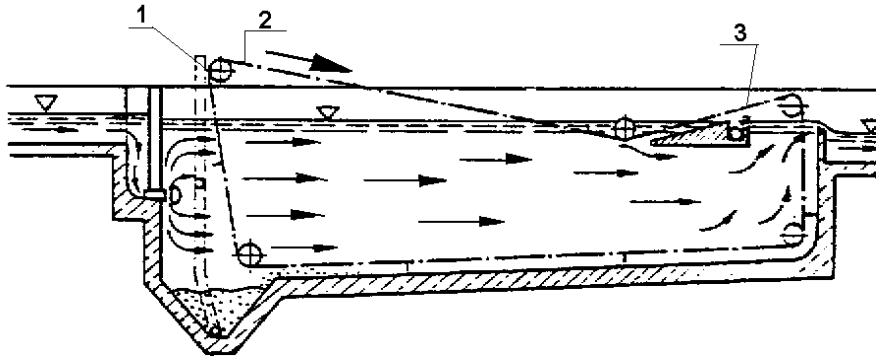
Tabela 9. Porównanie rzeczywistej i obliczeniowej prędkości opadania pasku w piaskownikach o przepływie poziomym [5], (kursywa - autor)

Średnica ziarn piasku	Rzeczywista prędkość opadania piasku v_o (cm/s); m/h	Zalecana obliczeniowa prędkość opadania (obciążenie hydrauliczne) w celu wydzielenia piasku					
		$\eta = 100\%$		$\eta = 90\%$		$\eta = 85\%$	
		q_F [m/h]	α_{os}	q_F [m/h]	α_{os}	q_F [m/h]	α_{os}
0,125	(0,86); 30,96	6,12	5,05	9,26	3,7	11,2	3,2
0,16	(1,35); 48,6	10,4	4,7	15,8	3,4	20,2	2,8
0,20	(1,90); 68,4	16,6	4,1	28,1	2,7	35,6	2,3
0,25	(2,55); 91,8	26,6	3,45	45,0	2,27	57,6	1,88
0,315	(3,50); 126	44,3	2,8	72,0	1,9	84,6	1,75

Wobec powyższych wytycznych projektowania stosowanych od lat w praktyce inżynierskiej – dla budowy piaskowników, wg których $\alpha_{os} = 1,75 \div 5$ - zalecenia IOŚ, aby dla osadników deszczowych przyjmować $\alpha_{os} \geq 1,25$ wydają się bardzo optymistyczne i mogą się odnosić wyłącznie do tradycyjnych długich osadników o przekroju poprzecznym dostosowanym do wahań przepływu.

Tymczasem najbardziej popularne na rynku rozwiązania prefabrykowanych osadników deszczowych są konstruowane na planie studni lub w formie długiej rury. **Indywidualnie projektowane osadniki – zachowaniem zaleceń sztuki inżynierskiej w zakresie optymalizowania hydrauliki zdarzają się niezmiernie rzadko.**

Rysunek 1: Schemat klasycznego osadnika poziomego.



Schemat klasycznego osadnika poziomego

- 1 - przewód do usuwania osadu,
- 2 - zgarniacz na łańcuchu GALLA,
- 3 - usuwanie części pływających,

Przy odpowiednich obciążeniach hydraulicznych kształt podłużny (w tym rurowy) z całą pewnością, ułatwia dobre wydzielenie cząstek podczas przepływów obliczeniowych. W projektowaniu osadników deszczowych należy jednak mieć świadomość, iż osadniki o przekroju rurowym podczas przepływów przekraczających nominalne – są bardzo silnie narażone na wypłukanie zgromadzonych depozytów i muszą być zabezpieczone odpowiednim rządzeniem regulacyjnym (np. regulatorem przepływu).

W osadnikach na planie studni – łatwiej uniknąć wymywania depozytów, gdyż można je łatwo odpowiednio pogłębić. Pozwala to (poza nielicznymi wyjątkami) na stosowanie takich osadników do całej fali spływu i unikania zewnętrznych przelewów. Natomiast wartości współczynnika α_{os} dla tego typu osadników będą z reguły większe.

Biorąc pod uwagę powyższe, rekomendacje autorów idą w kierunku przyjmowania dla 'przeciętnych' osadników deszczowych współczynników $\alpha_{os} \approx 2 \div 3$.

Stosowanie mniejszych współczynników jest bezpieczne tylko dla takich osadników, których producenci dokonali własnych badań hydraulicznych i posiadają dokumentację własną lub licencyjną – potwierdzającą rzeczywiste parametry hydrauliczne.

Niezależnie od stopnia doskonałości hydraulicznej stosowanych osadników, aby osiągnąć pożądany efekt ekologiczny, projektując osadnik deszczowy musimy dokonać wyboru na jakie frakcje / obciążenia hydrauliczne należy go wymiarować.

I tu po raz kolejny wracamy do problemu miarodajności dostępnych wytycznych projektowych, w tym miarodajności wytycznych normy drogowej.

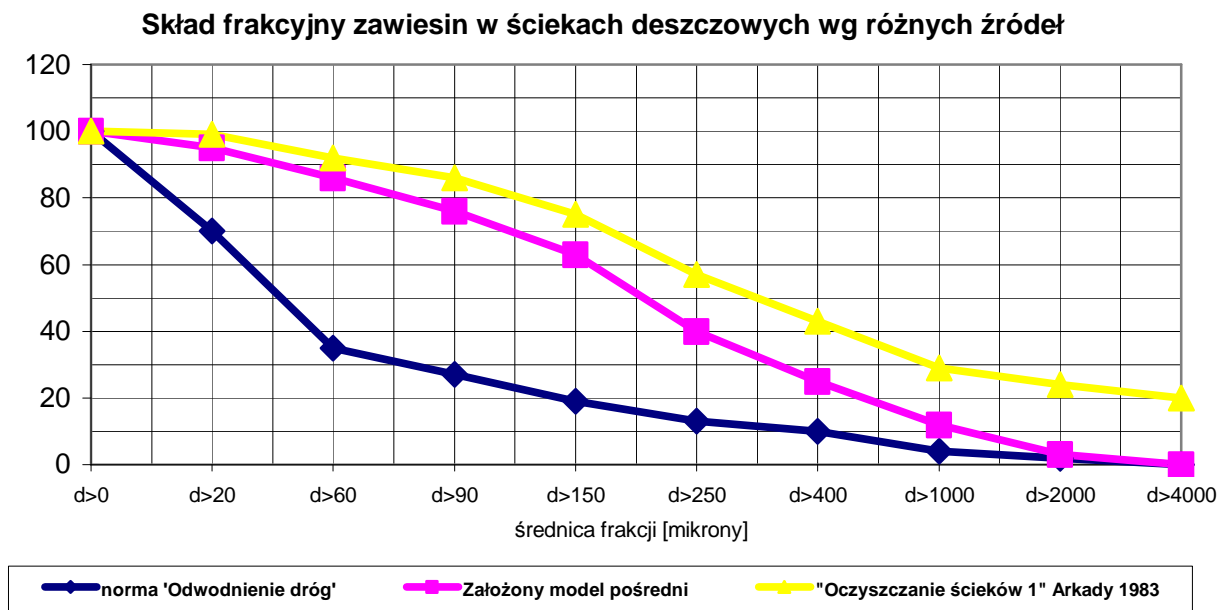
Według normy drogowej [2] 50% ogólnej masy zawiesiny to cząsteczki o granulacji poniżej $30 \mu m$. W praktyce oznacza to, iż wbrew ogólnemu pojmowaniu definicji zawiesiny, jest ona w ściekach opadowych nie w formie „piachu”, ale raczej „kisielu”.

Zalecenia normy drogowej dotyczące składu frakcyjnego zawiesin rozszerzone na inne zlewnie miejskie – w kontekście przedstawionych wyżej danych dot. stężeń zawiesin i

wymaganego stopnia oczyszczania ($Z_{og}=500\div 800\text{mg/dm}^3 \rightarrow \eta_{Z_{og}}=80\div 90\%$) – **oznaczałyby konieczność powszechnego stosowania na kanalizacji deszczowej nie tylko ogromnych osadników, ale również urządzeń filtracyjnych!**

Czy rzeczywiście istnieje taka konieczność? Czy norma drogowa oddaje skład frakcyjny zawiesin deszczowych?

W świetle zgromadzonych danych literaturowych oraz badań własnych [7] z pracujących osadników zrealizowanych przez Ekol-Unicon Sp. z o.o. (patrz rozdz. 4) – autorzy niniejszego opracowania stwierdzają, iż skład frakcyjny zawiesin jest cechą indywidualną każdej zlewni.



Rysunek 2: Rozkład frakcyjny zawiesin w ściekach deszczowych wg różnych źródeł.

Są zlewnie zdominowane przez zawiesiny gruboziarniste, są i takie, w których dominują zawiesiny drobne. W praktyce projektowej można przyjąć co najmniej 3 modele składu frakcyjnego zawiesin (rys. 2.).

Autorzy nie dysponują prawdą objawioną dotyczącą rzeczywistego składu zawiesin w wodach opadowych z dowolnej zlewni. Pragną jednak zwrócić uwagę, iż norma drogowa nie jest jedynym źródłem, z którego można korzystać w projektowaniu, hołdując zasadzie, iż stopień optymizmu bądź pesymizmu założeń wyjściowych do projektowania powinien zawsze korespondować ze stopniem zagrożenia środowiska w przedmiotowej zlewni.

Prawidłowo zaprojektowany osadnik wód deszczowych powinien przede wszystkim posiadać odpowiednią powierzchnię w planie i gwarantować odpowiedni efekt oczyszczania dla takiego modelu zawiesin, które w danej zlewni są najbardziej prawdopodobne.

W przypadku braku konkretnych podstaw do uznania danej zlewni deszczowej za bliską modelowi 'drogowemu' (np. zlewnia zakładów przemysłowych z przemysłem pyłącym), a także w przypadku zlewni miejskich nie odpowiadających charakterystyce przedstawionej w poradniku Arkady [5] – proponuje się założenie składu zawiesin w miejskich ściekach opadowych wg modelu pośredniego.

Fidala-Szope [9] Sawicka-Siarkiewicz [12,13] zalecają przyjmowanie niższych parametrów technologicznych (dla osadników poziomych).

Tabela 10: Orientacyjny stopień redukcji zawiesiny wód deszczowych w osadnikach [9].

Maksymalne obciążenie hydrauliczne [(m ³ /h)/m ²]	7	14	36
Minimalna średnica zatrzymanych ziaren [μm]	60	90	150
Przewidywany stopień redukcji zawiesin ogólnych [%]	80	70	60

Wytyczne niemieckie dla osadników miejskich zalecają stosowanie obciążeń hydraulicznych nie większych od $q_F = 10 \text{ m/h}$ [10].

Powyższe zalecenia wydają się dość logiczne korespondować z wnioskami rozdziału 2 nt. wymaganego poziomu usuwania zawiesin z miejskich ścieków opadowych na poziomie $\eta = 70 \div 90\%$.

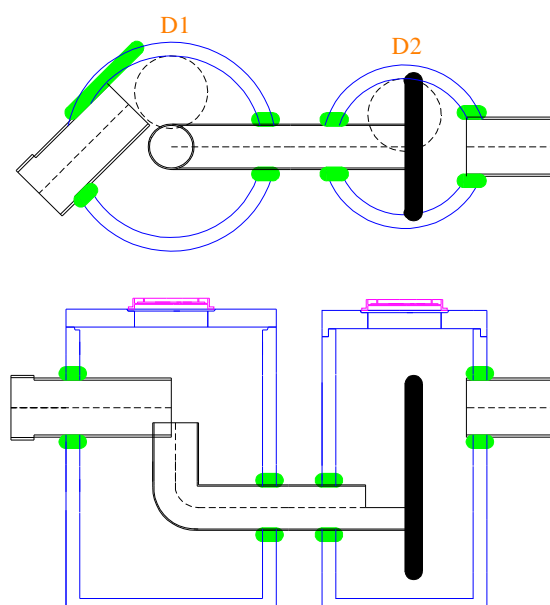
W przypadku typowej zlewni drogowej – zwłaszcza poza miejskiej – zastosowanie znajdzie model ‘drogowy’. Oznacza on jednak iż nawet w przypadku założonego stężenia zawiesin na poziomie ok. 200 mg/l – zalecane obciążenie hydrauliczne dla projektowanego osadnika poziomego wyniesie $q_F \approx 4 \text{ m/h}$!

4.0. Efektywność usuwania zawiesin z wód deszczowych w wybranych rozwiązaniach technologicznych w świetle doświadczeń laboratoryjnych i eksploatacyjnych.

Czynienie jakichkolwiek porównań efektywności usuwania zawiesin z wód deszczowych w poszczególnych rozwiązaniach technologicznych, ma sens wyłącznie wtedy, kiedy za podstawę takich porównań obierzemy ten sam model teoretyczny.

Autorzy referatu przyjęli model składu frakcyjnego zawiesin wg modelu pośredniego, a przeciętną efektywność poziomych osadników deszczowych wg tabeli 10.

Analizom własnym został poddany osadnik wirowy V2B1 – realizowany na licencji amerykańskiej firmy „Environment 21”.



Rysunek 3: Schemat osadnika wirowego V2B1

Osadnik wirowy V2B1 łączy w sobie korzystne cechy osadników poziomych na planie studni – np. większą odporność na wymywanie zanieczyszczeń – z wysoką efektywnością

hydrauliczną. Przeznaczony do przyjmowania i podczyszczania z zawieszin szerokiego spektrum przepływów deszczowych. Efektywność usuwania zawieszin jest – jak w każdym osadniku deszczowym zależna od obciążenia hydraulicznego powierzchni w planie, jednak specyficzna konstrukcja osadnika sprawia iż ma on bardzo korzystne parametry hydrauliczne, a to z kolei korzystnie wpływa na efekty oczyszczania.

Przy projektowaniu osadników V2B1 dobiera się wielkość osadnika tak, aby podczas przepływów nominalnych wykorzystywać optymalną sprawność osadnika. W miarę wzrostu napływu efekt oczyszczania stopniowo spada, lecz ciągle cała struga jest podczyszczana. Obiekty, w których konieczne okazuje się zastosowanie przelewu wewnętrznego lub zewnętrznego, w warunkach polskich – zdarzają się niezmiernie rzadko.

Podczas dopływów obliczeniowych do wymiarowania urządzenia – przepływ odbywa się poprzez krawędź przelewową rury centralnej, a po zakończeniu opadu – osadnik opróżnia się do poziomu krawędzi rury wylotowej poprzez niewielki otwór w rurze centralnej. Podczyszczania struga opływa całą powierzchnię osadnika, a zawiesziny skoncentrowane zwykle przy dnie kanału – mają bardzo utrudnioną drogę ucieczki, gdyż osadnik V2B1 wymusza piętrzenie ścieków. Szczegóły wewnętrznego rozwiązania osadnika są tajemnicą firmy „Environment 21”.

Badania laboratoryjne licencjodawcy prowadzone w całym spektrum obciążeń hydraulicznych stosowanych w osadnikach V2B1 wykazały, iż posiada on parametry hydrauliczne, jakich dotychczas nie udało się uzyskać w realnie stosowanych osadnikach poziomych (zainteresowanych zapraszamy do kontaktu z autorami).

Badania polegały na obciążaniu osadnika ściekiem zawierającym określoną ilość cząstek piasku (o średnicy ok. 100μ) o określonej prędkości opadania oraz ważeniu masy cząstek osiadłych przy danym obciążeniu hydraulicznym.

Uzyskane dane rzeczywiste porównywano z danymi dla osadnika ‘idealnego’. Przykładowo – dla osadnika idealnego – podczas obciążenia hydraulicznego wynoszącego 1,25 prędkości opadania cząstki – stopień wydzielenia tejże cząstki powinien wynosić $100 \times (1:1,25) = 80\%$. Realnie zmierzony stopień osadzenia cząstek wyniósł 67%, stąd określono rzeczywisty współczynnik α_{os} jako $\alpha_{os} = 80 : 67 = 1,2$

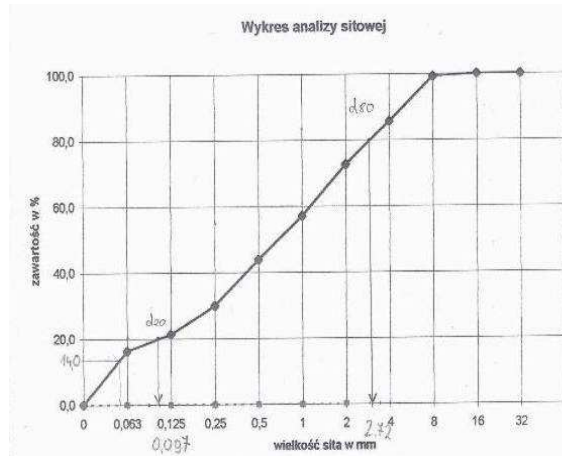
Dla różnych obciążeń hydraulicznych wartość tak wyznaczonego α_{os} oscylowała wokół 1,2; a dla obciążeń hydraulicznych zalecanych do projektowania osadników przez licencjodawcę wynosiła ok. 1,15.

Przy powyższej sprawności hydraulicznej osadnik wirowy V2B1 może usunąć zawiesziny deszczowe o założonym składzie frakcyjnym – **ze skutecznością 70%÷80% przy kilkukrotnie większych obciążeniach hydraulicznych, w stosunku do zaleceń tabeli 10** ($\eta > 70\%$, przy rzędu $q_F > 60 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{h}$).

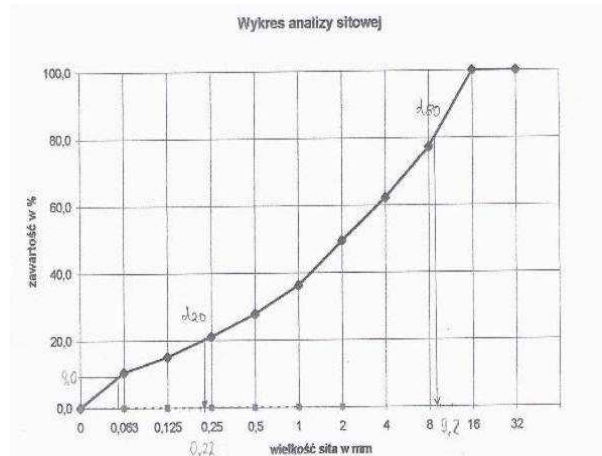
Daje to możliwość kilkukrotnego zmniejszenia powierzchni osadnika w stosunku do równoważnego rozwiązania o przepływie poziomym przy zachowaniu tej samej efektywności ekologicznej. Przy założeniu składu zawieszin wg normy drogowej – wielkość osadnika wirowego należy odpowiednio zwiększyć, jednak i tak będzie on kilkukrotnie mniejszy od swojego ‘poziomego analogu’.

Autorzy podjęli próby weryfikacji skuteczności osadników V2B1 zainstalowanych w różnych miastach Polski. Wobec braku możliwości badania efektów oczyszczania podczas padów o określonym natężeniu z przyczyn sprzętowych i pogodowych, zgodnie z zaleceniem rozporządzenia MŚ [1] – skoncentrowano się na obserwacjach i badaniach zawartości osadników, czyli wydzielonych w ich depozytów.

Rys. 4. Wałcz, Oh=36,5m/h, 14% d<50μm



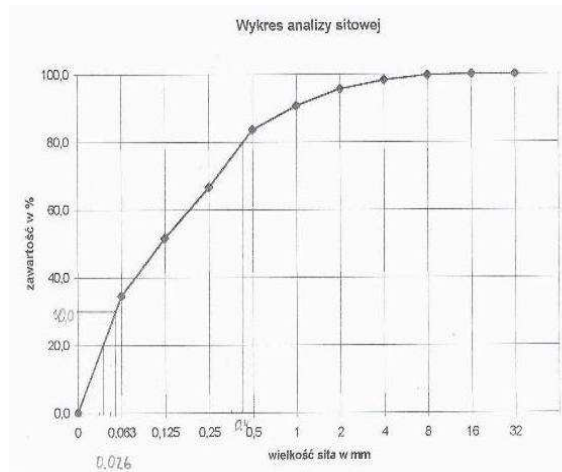
Rys. 5. Piła, Oh=32,4m/h, 9% d<50μm



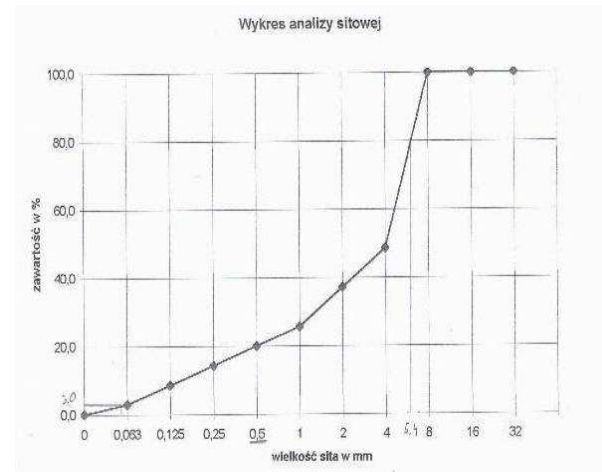
Ilustracje 5÷7 prezentują wyniki analiz sitowych rzeczywistych osadów deszczowych pobranych z osadników wirowych V2B1 pracujących w zlewniach miejskich (obciążenia podane dotyczą przepływów nominalnych).

Podobnych analiz wykonano kilkanaście (zlewnie o bardzo różnym charakterze: śródmieścia, osiedla mieszkalne, zakłady przemysłowe; oraz o różnych obciążeniach hydraulicznych. Logiczne wydawałoby się oczekiwanie, iż w obiektach zaprojektowanych na niższe obciążenia hydrauliczne w składzie osadów będzie rósł udział zawieszin drobnych i odwrotnie – przy wyższych obciążeniach hydraulicznych – zatrzymywane będą tylko zawiesziny grubszych frakcji – w badanych zlewniach nie potwierdziły się (patrz rys. 6 i 7).

Rys. 6. Głuchów, Oh=44,8m/h, 30% d<50μm



Rys. 7. Kielce, Oh=32,2m/h, 3% d<50μm



Okazało się, że nawet przy dość wysokich obciążeniach hydraulicznych (> 40 m/h – przykład Głuchów, rys.6) – osadnik wirowy zatrzymywał duże ilości zawieszin o drobnych frakcjach . Miarą ich udziału w osadzie jest oznaczony parametr **d₂₀=26μm** oraz **ogólny udział frakcji pylastych i ilastych wynoszący >30%.**

Są też takie zlewnie, w których mimo niższych obciążeń hydraulicznych (~ 30m/h) – w osadach dominują frakcje grubsze. We wszystkich badanych osadach frakcje pylaste i ilaste były obecne, a ich udział procentowy wahał się w granicach 3÷30%, najczęściej oscylując wokół 10%.

Na podstawie powyższych obserwacji i analiz autorzy dochodzą do wniosku, iż przy zastosowanych obciążeniach hydraulicznych – osadniki wirowe wykazały zdolność do zatrzymywania również bardzo drobnych frakcji zawieszin. Zatrzymują je tam, gdzie frakcje te

realnie występują w ściekach dopływających. Badany osadnik w Głuchowie (rys. 4.) pracuje na terenie zakładu przemysłowego zajmującego się przetwórstwem spożywczym.

Jeśli w danej zlewni w ściekach dopływających dominują zawiesiny grubszych frakcji, to dominują również w osadach.

W kontekście wyników analiz z osadnika w Głuchowie - badania potwierdzają, iż przy braku wiedzy o składzie zawiesin z danej zlewni - pośredni model składu zawiesin, zaprezentowany na rys. 1. – jest bardziej bezpieczny pod względem ekologicznym – od modelu frakcyjnego ścieków z ulic wg Arkady [5].

Z drugiej strony brak jest podstaw, aby dla wszystkich zlewni miejskich przyjmować model frakcyjny zawiesin deszczowych wg normy drogowej. Bliższe prawdzie wydaje się założenie, iż w większości zlewni zurbanizowanych nie będących specyficznymi terenami przemysłowymi udział frakcji pylastych i mniejszych w zawieszynie wód deszczowych wynosi ~ 20%.

5.0. Podsumowanie

- I. **Podstawowym parametrem decydującym o sprawności osadników wód deszczowych jest obciążenie hydrauliczne** (wynikające z przepływu i powierzchni osadnika), **a nie jego objętość**. Zalecenia norm służących do produkcji urządzeń – np. normy PN-EN 858-2: 2002 (U) dot. osadników współpracujących z separatorami substancji ropopochodnych dotyczące wymaganej minimalnej objętości – stanowią dodatkowe wymagania producentów separatorów. W żadnym razie nie gwarantują osiągnięcia efektu ekologicznego wymaganego dla danej zlewni – wg wymagań rozporządzenia MŚ [1]
- II. Zalecenia normy drogowej w odniesieniu do stężeń zawiesin powinny być stosowane w sposób konsekwentny, tj. wraz z zaleconymi współczynnikami i tylko do zlewni będących drogami. W części odnoszącej się do dróg w terenach zabudowanych – wytyczne normy drogowej nie oddają w pełni stopnia zanieczyszczenia ścieków opadowych. Warto w tym względzie stosować możliwości jakie daje zapis § 4.4.
- III. Średnie stężenia zawiesin w ściekach opadowych z terenów miejskich podawane przez IOŚ Warszawa jako: $Z_{og}=300\div 500\text{mg/dm}^3$ należy uznać za wartości minimalne do projektowania osadników deszczowych w miastach. Wartość dolna wydaje się być realistyczna tylko dla typowych osiedli mieszkalnych bez dużych dróg. Dla zlewni mieszanych – ze znaczącym udziałem dróg właściwsza wydaje się wartość górna. W spływach opadowych z intensywnie zabudowanych zlewniach mieszkalno-handlowych, usługowo-handlowych oraz ruchliwych miejskich ulic miejskich można się spodziewać zawartości zawiesin na poziomie $Z_{og}=500\div 800\text{mg/dm}^3$, co implikuje konieczność usuwania zawiesin $\eta_{Zog}=80\div 90\%$.
- IV. Dla realnie stosowanych osadników deszczowych o przepływie poziomym zalecenia IOŚ, aby dla osadników deszczowych przyjmować $\alpha_{os}=1,25$ wydają się bardzo optymistyczne. W kontekście wytycznych projektowych poradników Imhoffa [11] i Arkady [5], właściwszym dla „przeciętnych” osadników wydaje się założenie $\alpha_{os}\approx 2+3$. Stąd dla przestrzeni silnie zurbanizowanych uzasadnione wydaje się być wykorzystanie doświadczeń niemieckich i wymiarowanie osadników deszczowych o przepływie poziomym na obciążenia hydrauliczne $q_F \leq 10\text{m/h}$.
- V. Skład frakcyjny zawiesin w wodach deszczowych jest cechą indywidualną każdej zlewni i jest bardzo trudny do określenia. Z dużym prawdopodobieństwem można założyć, iż dla większości zlewni przebiega on pomiędzy dwoma skrajnymi krzywymi przedstawionymi na rys. 2. (norma drogowa/Arkady). Brak podstaw do powszechnego przyjmowania modelu frakcyjnego zawiesin deszczowych ze zlewni miejskich wg normy drogowej.

- VI.** W kontekście powyższym wszelkie dane producentów osadników deszczowych dotyczące ich skuteczności w usuwaniu zawieszin ogólnych **mają sens jedynie w odniesieniu do określonego przez producenta modelu frakcyjnego. Porównanie skuteczności podawanej przez różnych producentów musi się odnosić do jednakowego modelu.**
- VII.** Szansą na realne zmniejszenie przestrzeni zabudowy przy utrzymaniu wymaganego efektu ekologicznego jest doskonalenie konstrukcji osadników gwarantujące jak najlepsze wykorzystanie powierzchni osadnika i realne zmieszenie współczynnika α_{os} . Jednym z takich rozwiązań są osadniki o przepływie wirowym V2B1.

Piśmiennictwo:

1. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006r., w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego;
2. Polska Norma PN-S-02204 (grudzień 1997) Drogi samochodowe: Odwodnienie dróg; Polski Komitet Normalizacyjny;
3. Babelski, Z., „Ocena zanieczyszczenia ścieków deszczowych z różnych zlewni miejskich”; „Gaz, Woda, Technika Sanitarna” – 11/1999, str. 414-418.;
4. Borysiewicz, R., „Charakterystyka ścieków deszczowych”; Gospodarka Wodami Opadowymi na Terenach Zurbanizowanych, Gdańska Fundacja Wody – materiały seminaryjne; Gdańsk – Sobieszewo, Marzec 2004r.;
5. Cywiński, B., Gdula, S., Kempa, E., Kurbiel, J., Płoszański, H., „Oczyszczanie ścieków 1: oczyszczanie mechaniczne i chemiczne”; Arkady, Warszawa 1983;
6. Dąbrowski, W., „Parametry fizyczne zawiesin wód deszczowych jako podstawa do projektowania systemów podczyszczania”; „Gaz, Woda, Technika Sanitarna” – 6/2001, str. 221-224.;
7. Ekol – Unicon Sp. z o.o., Gdańsk ul. Równa 2, publikacje i doświadczenia własne, w tym badania uziarnienia osadów z osadników deszczowych;
8. Environment 21 Ltd. USA, badania modelowe sprawności hydraulicznej osadników V2B1;
9. Fidała – Szope, M., „Najlepsze, dostępne, ekonomicznie uzasadnione techniki oczyszczania ścieków opadowych”; IOŚ Zakład Systemów Ochrony Wód: Odprowadzanie wód opadowych z terenów zurbanizowanych – problemy prawne, techniczne i ekologiczne (materiały seminaryjne), Jachranka, maj – czerwiec 1999;
10. Geiger W., Dreiseiti H., „Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych”, poradnik, Projprzem-Eko, Bydgoszcz 1999r.;
11. Imhoff, K. i K., „Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków, poradnik, Projprzem-Eko, Bydgoszcz 1996r.;
12. Sawicka – Siarkiewicz, H., „Ograniczanie zanieczyszczeń w spływach wód opadowych w kontekście wymagań określonych w polskich uregulowaniach prawnych”; Wody opadowe, status prawny, opłaty technologie, Gdańska Fundacja Wody – materiały seminaryjne; Gdańsk – Sobieszewo, Kwiecień 2006r.;
13. Sawicka – Siarkiewicz, H., „Charakterystyka systemów odwodnienia dróg i obiektów im towarzyszących”; Gospodarka Wodami Opadowymi na Terenach Zurbanizowanych, Gdańska Fundacja Wody – materiały seminaryjne; Gdańsk – Sobieszewo, Marzec 2004r.;
14. Sawicka – Siarkiewicz, H., „Zanieczyszczenia ścieków opadowych odprowadzanych z tras szybkiego ruchu i terenów obiektów towarzyszących oraz metody ograniczania ich wpływu na odbiorniki”; IOŚ Zakład Systemów Ochrony Wód: Odprowadzanie wód opadowych z terenów zurbanizowanych – problemy prawne, techniczne i ekologiczne (materiały seminaryjne), Jachranka, maj – czerwiec 1999;
15. Tuz, P.K., „ Jakość ścieków opadowych z terenów zurbanizowanych”; „Forum eksploatatora” 2/2006 , str. 32-35.
16. Zwara, W., „Oczyszczanie Wód Opadowych w Infrastrukturze Drogowej”; Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie – materiały konferencyjne; Nr 62 (Zeszyt 112); Kraków 2004r.;