EKOLOGICZNE ZAGADNIENIA ODWODNIENIA PASA DROGOWEGO

ISBN xxxxxxxx Warszawa, 2009

Praca została wykonana na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad

© Copyright by Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad Warszawa 2009

ISBN xxxxxxxx

Koordynator serii Zaleceń
prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Autorzy opracowania:
dr hab. Urszula Kołodziejczyk, prof. nzw.[1)]
dr inż. Marzena Nadolna[1)]
dr inż. Sebastian Węclewski[1)]
mgr inż. Anna Asani[1)]
mgr inż. Anna Staszczuk[1)]
mgr inż. Artur Szymańczyk[1)]
dr inż. Janusz Bohatkiewicz[2)]
mgr inż. Magdalena Drach[2)]
mgr inż. Małgorzata Helman-Grubba[2)]
mgr inż. Witold Sladkowski[2)]
mgr inż. Katarzyna Kiełbasa[2)]
Dariusz Scheffs[2)]

Konsultacja
mgr inż. Jolanta Grygier, „Ekol-Unicon" Sp. z o.o.

Opiniodawcy:
dr hab. inż. Stanisław Gaca, Prof. Politechniki Krakowskiej
mgr inż. Halina Sawicka-Siarkiewicz, Instytut Ochrony Środowiska

Redakcja
mgr Ewa Misiewicz
mgr Justyna Szczepańska

Wydawca:
Instytut Badawczy Dróg i Mostów
ul. Jagiellońska 80
03-301 Warszawa
tel. (0-22) 811 3231, fax (0-22) 811 17 92 e-mail:ibdim.edu.pl.

Druk
WROCŁAWSKA DRUKARNIA NAUKOWA PAN ,
im. Stanisława Kulczyńskiego
53-505 Wrocław, ul. Lelewela 4
tel. (0-71) 349 90 18, fax (0-71) 343 87 78

[1)]Uniwersytet Zielonogórski
[2)]Biuro Ekspertyz i Projektów Budownictwa Komunikacyjnego „EKKOM" Sp. z o.o.

SPIS TREŚCI

	WSTĘP	**5**
1.	**Charakterystyka zanieczyszczeń powstających w wyniku odwodnienia pasa drogowego**	**7**
1.1.	Rodzaje i źródła zanieczyszczeń	7
1.2.	Prognozowanie stężeń i ładunków zanieczyszczeń w wodach opadowych spływających z pasa drogowego oraz z wylotów systemów odwadniających	13
1.2.1.	Obliczanie prognozowanych stężeń zawiesin i węglowodorów ropopochodnych w spływach nieoczyszczonych z dróg oraz w odpływach z systemów odwodnieniowych	13
1.2.2.	Prognozowanie ilości ścieków	17
1.2.3.	Ładunek zanieczyszczeń	26
1.3.	Obliczanie koniecznego stopnia redukcji zanieczyszczeń przed ich wprowadzeniem do odbiorników – jako podstawa doboru urządzeń podczyszczających	27
1.4.	Prognoza oddziaływania na wody powierzchniowe	27
2.	**Sposoby ograniczania ilości zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska w związku z odwodnieniem pasa drogowego**	**29**
2.1.	Przegląd uwarunkowań	29
2.2.	Metody seminaturalne	36
2.2.1.	Urządzenia infiltracyjne	37
2.2.2.	Urządzenia retencyjne i retencyjno-infiltracyjne	44
2.2.3.	Inne obiekty hydrofitowe, wetlandy	51
2.2.4.	Gatunki roślin stosowanych w metodach seminaturalnych	55
2.2.5.	Wybór metody i ocena skuteczności oczyszczania	57
2.2.6.	Podstawowe zasady eksploatacyjne	61
2.3.	Przegrody i bariery hydroizolacyjne	67
2.3.1.	Przegrody naturalne	67
2.3.2.	Bariery geosyntetyczne	71
2.3.3.	Podsumowanie własności hydroizolacyjnych przegród i barier	81
2.4.	Urządzenia inżynierskie	83

2.4.1.	Osadniki i piaskowniki	83
2.4.2.	Separatory substancji ropopochodnych	91
2.4.3.	Przelewy burzowe dla podczyszczalni wód opadowych, separatory substancji ropopochodnych o zmiennych parametrach przepływu	99
2.4.4.	Zamknięcia automatyczne	105
2.4.5.	Odbiór, eksploatacja, praktyczne przesłanki wyboru urządzeń sedymentacyjno-flotacyjnych	111
2.4.6.	Konstrukcje zbiorników retencyjnych	114
2.4.7.	Regulatory przepływu	115
2.4.8.	Pompownie ścieków	118
3.	**Ekologiczne kryteria wyboru systemu oczyszczania wód opadowych z dróg**	**123**
3.1	Obszary bardzo wrażliwe	124
3.1.1.	Obszary objęte prawną ochroną formą ochrony przyrody, których istnienie uzależnione jest od właściwych stosunków wodnych	127
3.2.	Obszary średnio wrażliwe	128
3.3.	Obszary mało wrażliwe	129
3.4.	Obiekty towarzyszące drogom	130
4.	**Źródła informacji stanowiące podstawę do sporządzenia opracowania**	**132**
4.1	**Literatura**	**132**
4.2	**Dane internetowe i materiały techniczne firm**	**134**
4.3	**Normy**	**135**
4.4	**Akty prawne**	**135**
	Spis tablic	**137**
	Spis rysunków	**139**
	Spis fotografii	**142**

WSTĘP

Rozwój komunikacji, w tym również budowa dróg, stanowi silną ingerencję w środowisko naturalne, powodując w nim szereg zmian ekologicznych. Zmiany te (najczęściej zależne od natężenia ruchu) są wywoływane emisją hałasu i zanieczyszczeń pochodzących od pojazdów poruszających się po drogach, ale także - oddziaływaniem na środowisko różnych elementów infrastruktury drogowej, takich jak: mosty, parkingi, MOP-y, przejścia drogowe, tunele, mury oporowe itp.

Znaczącą rolę w oddziaływaniu na środowisko mają również urządzenia towarzyszące obiektom drogowym, w tym – urządzenia wynikające z konieczności odwadniania pasa drogowego. Oddziałują one na poszczególne elementy środowiska, powodując zmiany w dotychczasowych ekosystemach w zakresie powierzchni ziemi, krajobrazu, wód powierzchniowych, wód podziemnych, gleb, gruntów, świata żywego i innych elementów środowiska. Intensywność tych procesów wynika m.in. z właściwości środowiska, jego podatności na degradację, rodzaju i ilości emitowanych zanieczyszczeń, zastosowanych rozwiązań projektowych, rzetelności w projektowaniu, wykonaniu i użytkowaniu obiektu oraz wielu innych czynników, które niekiedy trudno jest sprecyzować przed oddaniem obiektu do użytku, a tym bardziej – po kilkuletnim okresie jego użytkowania.

Podstawowymi instrumentami ochrony środowiska są: raporty oddziaływania inwestycji na środowisko, operaty wodnoprawne, programy ochrony środowiska oraz opracowania ekofizjograficzne. Są to narzędzia, którymi posługujemy się w celu zaprognozowania zmian w środowisku, jakie mogą być spowodowane daną inwestycją, a także wskazania sposobów zminimalizowania strat w środowisku i rozwiązania ewentualnych konfliktów środowiskowych i społecznych.

Kompromis zawsze wymaga poświęceń. Tak jest i tym razem: przy odwadnianiu dróg środowisko musi zrezygnować z bogactwa niektórych elementów ekosystemu, a człowiek – z bezgranicznej ingerencji w bogactwo natury.

Każda inwestycja, w tym droga, powoduje nieodwracalne zmiany w środowisku. Zadaniem projektanta i użytkownika drogi jest zminimalizowanie tych oddziaływań.

W celu zespolenia działań inżynierskich z koniecznością zachowania walorów środowiska naturalnego opracowane zostały niniejsze „Ekologiczne zagadnienia odwodnienia pasa drogowego”, stanowiące integralną część „Wytycznych odwodnienia pasa drogowego”, zrealizowanych na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad. Są one oparte o najnowsze osiągnięcia nauki w dziedzinie ochrony środowiska naturalnego i projektowania obiektów odwadniających. Jednocześnie stanowią próbę wskazania rozwiązań

projektowych, eksploatacyjnych i wykonawczych, jakie powinny być podjęte w związku z odwadnianiem pasa drogowego, przy równoczesnym zagwarantowaniu prawidłowego funkcjonowania drogi oraz otaczającego ją środowiska, a także uwzględnieniu wszelkich uwarunkowań inżynierskich, środowiskowych i prawnych.

W prezentowanej pracy przedstawiono szereg technologii służących ograniczeniu emisji zanieczyszczeń do środowiska, wykorzystujących m.in. powszechnie znane technologie, a także metody seminaturalne, przegrody hydroizolacyjne oraz nowoczesne urządzenia inżynierskie. Oddzielnie przeanalizowano ekologiczne skutki odwodnień pasa drogowego, wskazując na intensywność ewentualnych zmian w środowisku i możliwość, a wręcz konieczność ich monitoringu.

Znaczące zagrożenia dla środowiska wodnego występują również na etapie realizacji inwestycji drogowych (oddziaływania robót budowlanych). Z uwagi na sprecyzowaną tematykę – odwodnienie pasa drogowego – niniejsza publikacja koncentruje się na rozwiązaniach zapewniających ochronę środowiska wodnego na etapie użytkowania dróg.

Opracowanie podzielono na trzy części. Część pierwsza, pt. „Charakterystyka zanieczyszczeń powstających w wyniku odwodnienia pasa drogowego", zawiera wskazówki potrzebne do obliczeń wielkości urządzeń oczyszczających. W części drugiej pt. „Sposoby ograniczania ilości zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska w związku z odwodnieniem pasa drogowego" opisano przykłady urządzeń stosowanych do podczyszczania i oczyszczania ścieków spływających z pasa drogowego. Natomiast w części trzeciej opisano metody łączenia poszczególnych elementów odwodnienia w systemy zapewniające odpowiedni stopień oczyszczania ścieków, z uwzględnieniem uwarunkowań zewnętrznych lokalizacji odcinka drogi.

Mamy nadzieję, że przygotowane przez nas opracowanie będzie stanowić cenny materiał dla projektantów i użytkowników obiektów służących odwodnieniu dróg, a przedstawione tutaj elementy ekologii ułatwią wszystkim poznanie nauk przyrodniczych i tym samym – przyczynią się do lepszej ochrony wspólnego dziedzictwa naturalnego, jakim jest naturalne środowisko człowieka i podejmowane w nim przedsięwzięcia.

Niniejsze „Zalecenia…." stanowią jeden z siedmiu tomów pracy naukowo-badawczej dotyczącej analizy metod poprawy stanu odwodnienia dróg i należących do nich drogowych obiektów inżynierskich. Treść i rozwiązania przedstawione w niniejszym zeszycie nie są sprzeczne z treścią i rozwiązaniami zawartymi w pozostałych zeszytach Zaleceń.

Zespół autorski

1. Charakterystyka zanieczyszczeń powstających w wyniku odwodnienia pasa drogowego

1.1. Rodzaje i źródła zanieczyszczeń

Odwodnienie dróg i obiektów im towarzyszących związane jest przede wszystkim z powstawaniem ścieków deszczowych. Wtórnymi zanieczyszczeniami, wytwarzanymi podczas eksploatacji urządzeń do odprowadzania i oczyszczania ścieków deszczowych, są różnego rodzaju odpady.

W prawie ochrony środowiska oraz prawie wodnym – przez ścieki opadowe rozumie się wody opadowe ujęte w systemy kanalizacyjne (otwarte bądź zamknięte) pochodzące z powierzchni zanieczyszczonych [48]. Bardziej szczegółowo powierzchnie zanieczyszczone zdefiniowano w rozporządzeniu Ministra Środowiska z 24.07.2006. [55]. W myśl rozporządzenia jw. – należą do nich wszystkie powierzchnie dróg krajowych, wojewódzkich oraz powiatowych klasy G.

Ścieki opadowe są produktem transformacji opadu w spływ powierzchniowy.

Źródłem oddziaływań związanych z powstawaniem zanieczyszczeń są zarówno pasy ruchu, jak i inne elementy drogi – pobocza, skarpy, obiekty inżynierskie oraz pozostałe obiekty towarzyszące drogom (stacje paliw, miejsca obsługi podróżnych, miejsca poboru opłat, obwody utrzymania dróg).

Niniejsza publikacja poświęcona jest wyłącznie wodom opadowym w obszarze pasa drogowego. Zagadnienia związane z odwodnieniem, podczyszczeniem i zagospodarowaniem wód opadowych z wybranych obiektów towarzyszących drogom – z parkingów i MOP – zostały przedstawione z w zeszycie PG-5 [27].

Bezpośrednim źródłem zanieczyszczeń w spływach powierzchniowych z dróg są:

- materiały pędne, smary, oleje, dodatki organiczne do produktów naftowych, woski, smoły, silikony,
- gazy spalinowe (Pb, Zn, Fe, Cu, Cd, Ni, tlenki węgla i azotu oraz związki fosforu),
- produkty ścierne opon i tarcz hamulcowych (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Cd, S, kauczuk, sadza),
- resztki zużywających się elementów pojazdów,
- produkty zużywających się nawierzchni drogowych i materiałów konstrukcyjnych (pył zawierający domieszki Si, Ca, Mg, Ni, Mn, Pb, Cr, Zn, As, popioły lotne, asfalt, organiczne składniki bitumiczne),

- środki używane do zimowego utrzymania dróg,
- zanieczyszczenia z nieprawidłowego transportu materiałów sypkich i płynnych,
- skażenia wynikające z kolizji i niekontrolowanych rozlewów transportowanych substancji.

Wymienione wyżej źródła zanieczyszczeń mogą mieć charakter stały (występują przez okres całego roku), sezonowy (np. utrzymanie zimowe) lub incydentalny (rozlewy awaryjne, itp. nieprawidłowości w przewozie różnych substancji).

Jakość i ilość wód opadowych ma istotne znaczenie dla projektowania systemów odwadniających. Decyduje ona o rodzaju i wielkości ładunku zanieczyszczeń wprowadzanych do środowiska. Dlatego znajomość bilansu ilościowego i jakościowego jest istotną informacją dla określenia wielkości, zasięgu i czasu trwania potencjalnych oddziaływań na środowisko. Sporządzenie właściwej charakterystyki wód opadowych przysparza wiele problemów ze względu na różnorodność czynników, od których zależy skład tych wód oraz losową zmienność zjawisk atmosferycznych związanych z opadami.

Na jakość i właściwości wód opadowych odprowadzanych z utwardzonych powierzchni infrastruktury drogowej wpływa wiele czynników, spośród których należy wymienić:

- sposób zagospodarowania i ukształtowanie zlewni,
- rodzaj nawierzchni dróg, placów,
- rodzaj i natężenie ruchu,
- sposoby utrzymania i eksploatacji nawierzchni utwardzonych;
  - sposób i częstotliwość czyszczenia powierzchni utwardzonych,
  - sposoby zimowego utrzymania dróg i zwalczania gołoledzi,
  - sposoby i częstotliwość prowadzenia robót budowlanych i remontowych,
- zanieczyszczenia atmosfery,
- charakterystyka / przebieg danego opadu;
  - rodzaj opadu (deszcz, śnieg, grad, itp.),
  - długość przerwy od opadu poprzedzającego,
  - natężenie opadu,
  - czas trwania opadu,

Głównymi zanieczyszczeniami identyfikowanymi w spływach opadowych z dróg i obiektów towarzyszących są:

- zawiesiny,

- różnego rodzaju substancje olejowe, w tym węglowodory ropopochodne oraz inne substancje ekstrahujące się eterem naftowym (SEEN),
- metale ciężkie (Pb, Zn, Cu, Cd, Cr, Ni i in.),
- związki organiczne i nieorganiczne, określane zawartością węgla całkowitego i organicznego oraz biochemicznym pięciodniowym (BZT_5) i chemicznym (ChZT) zużyciem tlenu,
- chlorki, Na, Mg, Ca,
- zanieczyszczenia pływające grube,
- związki biogenne (azot, fosfor i potas),
- mikro zanieczyszczenia (np. węglowodory aromatyczne).

Zawiesiny ogólne stanowią główne zanieczyszczenie spływów opadowych z powierzchni dróg i obiektów towarzyszących drogom, a ponadto są nośnikiem większości innych substancji występujących w spływach opadowych. Drobne frakcje zawiesin (o dobrze rozwiniętej powierzchni adsorpcji) zawierają znaczne ilość substancji biogennych i organicznych oraz metali ciężkich. Dąbrowski podaje, iż najwięcej metali ciężkich związanych jest z frakcją zawiesin o prędkości sedymentacji 14,4÷28,8m/h [7].

Standardy emisyjne zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych odprowadzanych z dróg i obiektów towarzyszących określone zostały dla zawiesin oraz węglowodorów ropopochodnych [55].

Największe koncentracje zanieczyszczeń wykazują wody roztopowe pochodzące ze śniegu, zwłaszcza po dłuższym jego zaleganiu na drodze lub w jej pobliżu. Charakteryzuje je szczególnie duży ładunek chlorków i węglowodorów. Jakość wód opadowych zmienia się wraz ze zmianą natężenia przepływu i czasu trwania deszczu. W fazie początkowej, czyli tuż po wystąpieniu opadu obserwuje się szybki wzrost natężenia przepływu, któremu towarzyszy ogólny wzrost stężenia zanieczyszczeń. Zjawisko to jest wywołane wynoszeniem zanieczyszczeń nie tylko z powierzchni odwadnianej, ale także zanieczyszczeń odłożonych w urządzeniach odwadniających.

W 2005 r., na zlecenie Oddziałów Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA), w sieci dróg krajowych wykonane zostały pomiary zanieczyszczeń występujących w wodach opadowych i roztopowych wypływających z systemów kanalizacyjnych odwadniających drogi. W ramach pomiarów określono stężenia zawiesiny ogólnej oraz substancji ropopochodnych. Spośród 1403 wykonanych pomiarów w 298 przypadkach stężenia substancji ropopochodnych były większe od granicy oznaczalności (0.005 mg/l), ale nie przekraczały wartości dopuszczalnej (15 mg/l). Pozostałe wyniki kształtowały się poniżej granicy oznaczalności. Z kolei stężenie zawiesin ogólnych dla dróg jednojezdniowych, zlokalizowanych na terenach zamiejskich, zależało głównie

od natężenia ruchu. Na podstawie przeprowadzonych badań zostały opracowane „Wytyczne prognozowania stężenia zawiesin ogólnych i węglowodorów ropopochodnych w ściekach z dróg krajowych" [56] (wprowadzone do stosowania jako załącznik do Zarządzenia Nr 29 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 30 października 2006 r. [57]).

Usuwanie zanieczyszczeń z wód opadowych powoduje ich koncentrację w urządzeniach oczyszczających, a produkty powstające z oczyszczania urządzeń klasyfikuje się jako odpady.

W urządzeniach służących do oczyszczania wód opadowych gromadzą się przede wszystkim osady oraz substancje flotujące. Okazuje się, iż większość zanieczyszczeń olejowych występujących w wodach opadowych - jest związana z zawiesiną (osadami). Ilość ta dochodzi do około 80 - 90 % ładunku węglowodorów zatrzymywanych w urządzeniach podczyszczających. Pozostała część zanieczyszczeń olejowych (10 – 20 %) zatrzymywanych w urządzeniach podczyszczających – wydziela się na powierzchni cieczy tworząc film olejowy [30].

Kumulację większości zanieczyszczeń o charakterze olejowym w zawiesinie - potwierdzają również badania prowadzone w Gdańskim Systemie Odwodnieniowym w okresie roztopów (marzec 2006) [18]. Średnie zawartości zanieczyszczeń olejowych ekstrahujących się eterem naftowym w osadach deszczowych pochodzących z ulic oraz pobieranych z gdańskich cieków stanowiących odbiorniki wód opadowych – wynosiły odpowiednio:

- 1240,9 mg/kg smo* - w osadach dennych
- 1530,4 mg/kg smo* - w osadach ulicznych

*smo – sucha masa osadów

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie katalogu odpadów [52], odpady gromadzone w systemach oczyszczania wód opadowych klasyfikowane są w zależności od źródła powstawania i dzielone na grupy, podgrupy i rodzaje – tab 1.1. Z kolei, zgodnie z Ustawą o odpadach [47], niektóre z wymienionych odpadów zaliczane są do odpadów niebezpiecznych.

Tablica 1.1. Klasyfikacja odpadów powstających w trakcie eksploatacji urządzeń służących do odwodnienia pasa drogowego

Rodzaj odpadu	Podgrupa odpadu	Grupa odpadu	Kod
odpady stałe z piaskowników i z odwadniania olejów w separatorach	odpady z odwadniania olejów w separatorach – 13 05	oleje odpadowe i odpady ciekłych paliw (z wyłączeniem olejów jadalnych oraz grup 05, 12 i 19) - 13	13 05 01*
szlamy z odwadniania olejów w separatorach			13 05 02*
szlamy z kolektorów			13 05 03*
olej z odwadniania olejów w separatorach			13 05 06*
zaolejona woda z odwadniania olejów w separatorach			13 05 07*
mieszanina odpadów z piaskowników i z odwadniania olejów w separatorach			13 05 08*
sorbenty, materiały filtracyjne, tkaniny do wycierania (np. szmaty, ścierki) i ubrania ochronne inne niż wymienione	Sorbenty, materiały filtracyjne, tkaniny do wycierania i ubrania ochronne - 15 02	odpady opakowaniowe; sorbenty, tkaniny do wycierania, materiały filtracyjne i ubrania ochronne nieujęte w innych grupach – 15	15 02 03
odpady z instalacji i urządzeń służących zagospodarowaniu odpadów, z oczyszczalni ścieków oraz z uzdatniania wody pitnej i wody do celów przemysłowych	odpady z oczyszczalni ścieków nieujęte w innych grupach – 19 08	tłuszcze i mieszaniny olejów z separacji olej/woda inne niż wymienione w 19 08 09	19 08 10*
		inne niewymienione odpady	19 08 99
niesegregowane (zmieszane) odpady komunalne	inne odpady komunalne 20 03	odpady komunalne łącznie z frakcjami gromadzonymi selektywnie - 20	20 03 01
odpady komunalne niewymienione w innych podgrupach			20 03 99

*) odpady niebezpieczne

Oprócz typowych odpadów, jakie powstają w trakcie eksploatacji systemów odwodnień dróg, w urządzeniach do zbierania, odprowadzania i podczyszczania wód opadowych zatrzymuje się znaczna ilość odpadów podobnych do komunalnych. Są to w szczególności różnego rodzaju odpady opakowaniowe (papierowe, szklane, metalowe, plastikowe), wyrzucane z samochodów przez podróżujących danym odcinkiem drogi (fot. 1.1., fot. 1.2.). Odpady te mogą w znaczący sposób zwiększać ogólną ilość odpadów, a tym samym – zakłócać pracę

urządzeń oczyszczających i ograniczać skuteczność oczyszczania spływów powierzchniowych.

Fot. 1.1., 1.2. Odpady podobne do komunalnych trafiają z pasa drogowego do systemów odwodnień i utrudniają ich prawidłowe funkcjonowanie

1.2. Prognozowanie stężeń i ładunków zanieczyszczeń w wodach opadowych spływających z pasa drogowego oraz z wylotów systemów odwadniających

1.2.1. Obliczanie prognozowanych stężeń zawiesin i węglowodorów ropopochodnych w spływach nieoczyszczonych z dróg oraz w odpływach z systemów odwodnieniowych.

Dotychczas nie została opracowana jednoznaczna metoda uwzględniająca wpływ poszczególnych czynników na stopień zanieczyszczenia spływów z dróg. Najczęściej stosuje się całościowe, proste metody oceny ładunków zanieczyszczeń transportowanych w spływach opadowych z powierzchni dróg. Metody te uogólniają wyniki badań terenowych, dotyczących zanieczyszczenia spływów z dróg oraz pomiarów „in situ" parametrów opadów i natężenia ruchu.

a) Zawiesiny ogólne w spływach nieoczyszczonych z dróg

Norma PN-S-02204 [42] – zaleca przyjmowanie stężenia zawiesin ogólnych w spływach nie oczyszczonych S_z dla drogi 4-pasowej (2x2 pasy ruchu) wg tabeli poniżej. Dla pośrednich wartości natężenia ruchu należy stosować interpolację liniową.

Tablica 1.2. Wartości stężeń zawiesin ogólnych *S* w ściekach deszczowych z drogi o 4-ch pasach ruchu [42]

Natężenie ruchu w obu kierunkach [tys. poj./dobę]	Zawiesiny ogólne w spływach z terenów niezabudowanych [mg/l]	Zawiesiny ogólne w spływach z terenów zabudowanych [mg/l]
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

Dla liczby pasów n w obu kierunkach większej niż 4 należy stosować współczynnik poprawkowy o wartości 5,2/n. Wtedy:

$$S_z = \frac{5,2}{n} \cdot S \ \text{[mg/l]} \tag{1.1}$$

gdzie:

S – stężenie zawiesin ogólnych, wg tabeli 1.2.

Dla liczby pasów n mniejszej niż 4 współczynnik poprawkowy jest równy 3,2/n. Wtedy:

$$S_z = \frac{3,2}{n} \cdot S \ \text{[mg/l]} \tag{1.2}$$

W wielu przypadkach normowa metoda obliczeniowa może prowadzić do zawyżenia prognoz stężeń zawiesin w spływach nieoczyszczonych, co obserwuje się w prowadzonych pomiarach bezpośrednich. Problem ten został zasygnalizowany w [4] oraz w [30]. Efekt ten wiąże się głównie z postępem technicznym jaki nastąpił od okresu wykonania badań stanowiących podstawę do wypracowania stosowanej w normie metodyki, w tym z poprawą jakości dróg, pojazdów, paliwa, itp.

W zgodzie z normą [42] możliwe jest prognozowaniu jakości ścieków opadowych z zastosowaniem innych metod obliczeniowych opartych m.in. na modelowaniu matematycznym (par.4.4. – dot. obliczeń ilościowych i jakościowych, w tym obliczeń ekologicznych), pod warunkiem ich weryfikacji na podstawie porównania z danymi empirycznymi.

Jeżeli ze względu na ukształtowanie terenu do systemu odwodnienia drogi ciąży część wód opadowych z niezanieczyszczonych terenów przyległych (np. skarpy rowów trawiastych, pasy zieleni, itp.) – to w bilansie jakościowym wód opadowych odpływających z systemu odwodnienia danej drogi możemy je potraktować jako wody umownie czyste (zawartość zanieczyszczeń nie przekracza stężeń dopuszczalnych).

b) Zawiesiny ogólne na wylotach z systemów odwodnieniowych

„Wytyczne prognozowania stężenia zawiesin ogólnych i węglowodorów ropopochodnych w ściekach z dróg krajowych" [57] – podają formuły obliczeniowe do prognozowania stężenia zawiesin ogólnych w ściekach z dróg na wylotach systemów odwodnieniowych:

$$S_{ZO} = 0{,}718 \cdot Q^{0{,}529} \text{ [mg/l]} \tag{1.3}$$

gdzie:

S_{zo} - stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach z dróg krajowych [mg/l],

Q - dobowe natężenie ruchu (ŚDR) w zakresie od 1 000 do 17 500 pojazdów na dobę [P/d].

Można przyjąć prognozowane stężenie stężenia zawiesin ogólnych z poniższej tablica 1.3. stosując interpolację liniową.

Tablica 1.3. Wielkość stężenia zawiesiny ogólnej w zależności od natężenia ruchu [56]

Natężenie ruchu (tys. poj./dobę)	Stężenie zawiesin ogólnych (mg/l)
1	28
2	40
3	50
4	58
5	65
6	72
7	78
8	84
9	89
10	94
11	99
12	104
13	108
14	112
15	116
16	121
17	124

Przedstawiona zależność może być stosowana jedynie w ograniczonym zakresie, głównie w obszarach zamiejskich i dla przekrojów dróg jedno jezdniowych dwu pasowych oraz jedno jezdniowych dwupasowych z szerokimi poboczami bitumicznymi.

c) Wpływ systemów odwodnienia na jakość ścieków, pozostałe parametry zanieczyszczeń.

Poza ograniczonym zakresem metody jw. – należy rozróżnić odmienność przedmiotu prognozy w obydwu prezentowanych metodach (wg [42] i wg [56]). Przedmiotem prognozy wg metodyki opisanej w normie [42] – jest jakość wód spływających z pasów ruchu (przed ich kontaktem z systemem odwodnienia). Natomiast przedmiotem prognozy wg metodyki opisanej w wytycznych [56] – jest jakość ścieków opadowych na wylotach z systemów odwodnieniowych.

W systemach odwodnienia wody opadowe z pasów ruchu często mieszają się z innymi wodami (z poboczy, skarp, chodników, okolicznych terenów zielonych, itp.), które są mniej zanieczyszczone, jak również podlegają podczyszczeniu w poszczególnych elementach odwodnienia (np. wpusty, rowy). Lepsze rezultaty prognozy jakościowej uzyskiwane w metodyce wytycznych [56] – potwierdzają pozytywny wpływ systemów odwodnieniowych na jakość wód odprowadzanych z dróg.

Zdarzają się również przypadki, iż do systemów odwodnienia drogi mogą poprzez spływ powierzchniowy mogą trafić wody bardziej zanieczyszczone – pochodzące np. z terenów intensywnego użytkowania rolniczego. Żadna z omawianych metod nie uwzględnia takich zagrożeń. Zakłada się, iż każdorazowo ukształtowanie zlewni drogowej powinno być tak rozwiązane, aby zanieczyszczenia ze zlewni zewnętrznych (niezwiązanych z daną drogą) – nie trafiały do systemu odwodnienia drogi (strefy buforowe, odprowadzenie wód zewnętrznych rowami stokowymi, itp.). Powyższe należy mieć na uwadze projektując zagospodarowanie pasa drogowego.

Żadna w omawianych wyżej metod nie podaje również jednoznacznej metodyki wyznaczania prognozowanych stężeń węglowodorów ropopochodnych.

Norma [42] – podaje metodykę wyznaczania prognozowanego stężenia substancji ekstrahujących się eterem naftowym (SEEN), które w aktualnie obowiązujących przepisach nie są normowane.

Nie podaje natomiast jak wyznaczyć prognozowane stężenie węglowodorów ropopochodnych (aktualnie normowane).

Wytyczne [56] – w odniesieniu do węglowodorów ropopochodnych – w prognozach dokonywanych dla odcinków zamiejskich dróg krajowych – zalecają przyjmować stężenie węglowodorów ropopochodnych na poziomie poniżej wartości dopuszczalnej 15 mg/l. W przypadku występowania terenów i odbiorników o dużej wrażliwości – bez względu na prognozowaną wartość stężenia węglowodorów ropopochodnych – zalecają zastosowanie urządzeń zatrzymujących i podczyszczających węglowodory ropopochodne.

Podsumowując - w oparciu o zapisy rozdziału 4.4. normy [42], wiedzę empiryczną z wielu badań krajowych i zagranicznych (w tym badań wykonywanych w trakcie pracy nad Wytycznymi [56]) - można przyjąć iż:

- w ściekach z pasów ruchu na obszarach niezurbanizowanych – przekroczenia dopuszczalnej ilości węglowodorów ropopochodnych – praktycznie nie występują,
- podwyższone stężenia węglowodorów ropopochodnych w ściekach opadowych z pasów ruchu mogą być jedynie następstwem wypadków drogowych.

Występowanie zanieczyszczeń ropopochodnych w ściekach opadowych w ilościach przekraczających obowiązujące standardy jakościowe – o charakterze trwałym – rejestrowane jest praktycznie wyłącznie w takich obiektach infrastruktury drogowej jak stacje paliw, duże place parkingowe, zaplecza warsztatów oraz na terenach silnie zurbanizowanych, gdzie odwodnienie dróg jest często elementem komunalnej kanalizacji deszczowej odwadniającej nie tylko pasy ruchu, ale również tereny przemysłowe, składowe,. itp.

1.2.2. Prognozowanie ilości ścieków

Sposób obliczania wielkości spływu z dróg i ulic przedstawiono w normie PN-S-02204/1997 [42]. Metodykę tam opisaną rozwinął w swoich publikacjach Roman Edel ([8], [10]). Objętość wody opadowej odprowadzanej z powierzchni odwadnianej zależy głównie od natężenia opadu, czasu jego trwania oraz wielkości i szczelności powierzchni odwadnianej.

Najogólniejszy wzór do obliczania spływów deszczowych ma postać :

$$Q = F \cdot \psi \cdot \varphi \cdot q \ \ [\mathrm{dm^3/s}] \tag{1.4}$$

gdzie:

F – powierzchnia odwadniana [ha],

ψ – współczynnik spływu [-],

φ – współczynnik opóźnienia odpływu [-],

q – natężenie miarodajne opadu [$\mathrm{dm^3/s \cdot ha}$].

Iloczyn $F \cdot q$ oznacza wielkość opadu, który spadł na całą rozpatrywaną zlewnię. Współczynnik spływu określa ile procent wody deszczowej spadającej na analizowaną powierzchnię potem z niej spłynie. Większa wartość współczynnika oznacza, że mniej wody wsiąka w teren lub też z niego paruje. Stąd iloczyn $F \cdot q \cdot \psi$ wyraża spływ z całej zlewni F. Współczynnik opóźnienia φ - opisuje zjawisko spływu opadowego z punktu widzenia urządzenia odprowadzającego odpływ. Nie

cały spływ dociera do danego przekroju kanału, czy rowu odwadniającego w tym samym czasie.

Sposób stosowania współczynnika opóźnienia φ - zależy od przyjętej metody obliczania ilości wód opadowych.

Stosowane metody to:

a) metoda natężeń stałych,
b) metoda natężeń granicznych,
c) metoda graficzna Vicari-Hauffa,
d) metody współczynnika opóźnienia odpływu i zmiennego współczynnika spływu.

Wszystkie z wymienionych metod przedstawiono skrótowo w zeszycie PG-1 – „Zalecenia projektowania, budowy i utrzymania odwodnienia dróg oraz przystanków komunikacyjnych"[23]. Szczegółowo opisuje je Edel ([8], [10]).

Najbardziej rozpowszechnione są metody a) i b).

Obliczeniowe natężenie deszczu miarodajnego q przyjmuje się inne dla wymiarowania przekrojów projektowanych kanałów oraz rowów odprowadzających wody opadowe do urządzeń oczyszczających, inne dla określenia przepustowości i wymiarowania samych urządzeń oczyszczających.

Wyznaczanie przepływów maksymalnych – dla wymiarowania urządzeń odwadniających

Przepływy maksymalne - do wymiarowania urządzeń odwadniających wyznacza się wg wzoru ogólnego 1.4.:

Tablica 1.4. Wartości współczynnika spływu ψ w zależności od rodzaju odwadnianej powierzchni [42]

Rodzaje powierzchni	Wartość współczynnika spływu ψ
a) korona jezdni	0,90
b) chodniki	0,85
c) pozostałe obszary w pasie drogowym:	
- o pochyleniu terenu $i < 5$ %	0,70
- o pochyleniu terenu $i > 5$ %	0,80
- skarpy o $i > 10$ %	0,90

Przy bardziej szczegółowych obliczeniach uwzględniających np. związki komunikacyjne drogi z jej otoczeniem (np. dojazdy z dróg bocznych, z posesji, itp. –

jeśli ciążą do zlewni drogi) – wartości współczynników spływu można przyjmować z innych podręczników i poradników inżynierskich, np. z [10].

Tablica 1.5. Wartości współczynnika spływu ψ w zależności od rodzaju odwadnianej powierzchni [10]

Rodzaj powierzchni	Ψ
Dachy szczelne (blacha, papa)	0,90-0,95
Drogi bitumiczne	0,85-0,90
Bruki kamienne i klinkierowe	0,75-0,85
Bruki jak wyżej, lecz bez zalanych spoin	0,50-0,70
Bruki gorsze bez zalanych spoin	0,40-0,50
Drogi tłuczniowe	0,25-0,60
Drogi żwirowe	0,15-0,30
Powierzchnie niebrukowane	0,10-0,20
Parki, ogrody, łąki, zieleńce	0,00-0,10

Norma drogowa zawiera również zalecenia dot. współczynników spływu dla odwadniania obszarów znajdujących się poza pasem drogowym (czyli np. dla urządzeń odwadniających chroniących drogę przez napływem wód z wyżej położonych obszarów). Zalecane wartości współczynników spływu są dość wysokie. Nie dotyczą one jednak bezpośrednio pasa drogowego, a w myśl par. 4.4. normy nie mają charakteru obligatoryjnego.

Tablica 1.6. Wartości współczynnika spływu ψ w zależności od rodzaju odwadnianej powierzchni dla obszarów poza pasem drogowym (małe zlewnie): [42]

Rodzaj powierzchni	Ψ
- zlewnie o glebach łatwo przepuszczalnych	0,55
- zlewnie o glebach nieprzepuszczalnych	0,70
- zlewnie o stromych stokach (i > 10 %)	0,85

d) Metoda natężeń stałych

Współczynnik opóźnienia odpływu φ zmienia swą wartość w zależności od wielkości i kształtu zlewni:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[n]{F}} \tag{1.5}$$

gdzie:

n – współczynnik zależny od spadku i formy zlewni, przyjmuje wartości:

$n = 8$ – dla dużych spadków i ześrodkowanej zlewni,

$n = 6$ – dla średnich warunków (długość zlewni dwa razy większa od jej szerokości, spadki terenu pozwalają na osiągnięcie prędkości spływu wód równej około 1.2 m/s),

$n = 4$ – dla niedużych spadków i wydłużonej zlewni.

Natężenie miarodajne opadu q oblicza się według wzoru ogólnego:

$$q = \frac{6{,}631 \cdot \sqrt[3]{CH^2}}{t_{mm}^{0{,}667}} \ [\mathrm{dm^3/(s \cdot ha)}] \tag{1.6}$$

gdzie:

C – okres, w którym następuje jednorazowe przekroczenie danego natężenia opadu [lata],

t_{mm} – czas miarodajny trwania opadu wyrażony w [min.],

H – roczna suma opadów [mm];

Dla wielkości opadów w założonych poniżej przedziałach oraz założonego prawdopodobieństwa wystąpienia p – można stosować postać wzoru jak niżej:

$$q = 15{,}347 \cdot \frac{A}{t_m^{0{,}667}} \ [\mathrm{dm^3/(s \cdot ha)}] \tag{1.7}$$

gdzie:

A – wartość stała, wyznaczana z tablica 1..7,

t_m – czas miarodajny trwania opadu wyrażony w [s].

Tablica 1.7. Wartości stałej *A* dla średniej rocznej sumy opadów *H* i prawdopodobieństwa deszczu miarodajnego *p* [42]

p [%]	Częstotliwość opadu – *C** [lata]	*H*≤ 800 mm	*H*≤ 1000 mm	*H*≤ 1200 mm	*H*≤ 1500 mm
5	20	1276	1290	1300	1378
10	10	1013	1083	1136	1202
20	5	804	920	980	1025
50	2	592	720	750	796
100	1	470	572	593	627
* - częstotliwość opadu - *C* – wyprowadzona z zależności *C*=100/*p*					

Wartości prawdopodobieństwa pojawienia się deszczu miarodajnego p określone zostały w rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie [50]. Norma [42] – zawiera starszą nomenklaturę dotyczącą klasyfikacji dróg, ale również uzależnia zalecaną wartość prawdopodobieństwa pojawienia się deszczu miarodajnego – od klasy drogi.

W tablicy 1.8. zebrano prawdopodobieństwa zalecane dla poszczególnych rodzajów i klas technicznych dróg przez rozporządzenie [50] oraz normę [42] – z uwzględnieniem różnic w nazewnictwie.

Tablica 1.8. Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia deszczu miarodajnego *p* dla dróg zamiejskich ([42], [50]

Klasa techniczna drogi wg [50]	Klasa techniczna drogi wg [42]	Zalecana wartość *p* dla deszczu miarodajnego [%]
Autostrada – A, Droga ekspresowa – S	Autostrada (I kl), droga ekspresowa (II kl)	10
Droga główna ruchu przyspieszonego – GP	Droga krajowa ogólnodostępna (III kl))	20
Droga główna – G, Droga zbiorcza – Z	Droga wojewódzka (IV i V kl)	50
Droga lokalna – L, droga dojazdowa – D	Inna droga	100

Norma [42] – oddzielnie podaje zalecane wartości prawdopodobieństwa dla deszczu miarodajnego dla ulic miejskich – uzależniając je od rodzaju i znaczenia kolektora ściekowego.

Tablica 1.9. Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia deszczu miarodajnego *p* dla ulic [42]

Warunki ułożenia kanału	Wartość *p* dla kanału deszczowego [%]
Boczny kanał w płaskim terenie	100
Kolektor w płaskim terenie	50
Kolektor lub kanał boczny przy spadkach terenu powyżej 2 %	20
Kolektor lub boczny kanał przy spadku terenu powyżej 4 %	10

Wysokość opadu *H* na danym obszarze należy przyjąć na podstawie ogólnodostępnych danych meteorologicznych, np. „Atlasu klimatu Polski” [20].

Metoda natężeń stałych jest stosowana do opracowań koncepcyjnych, wstępnych, dla zlewni niedużych (np. do 50 ha).

Dla krótkich odcinków dróg obydwie metody (natężeń stałych i natężeń granicznych) – dają zbieżne wyniki. Czas trwania deszczu przyjmuje się na poziomie 10-15 min.

e) Metoda natężeń granicznych

Metoda natężeń granicznych jest metodą szczegółową – lepiej pasującą do warunków zlewni mocno wydłużonych – jakimi są typowe zlewnie drogowe.

Ogólna postać wzoru na maksymalny przepływ maksymalny:

$$Q = F \cdot \psi \cdot \varphi \cdot q \ \ [\mathrm{dm}^3/\mathrm{s}]$$

przybiera tu postać:

$$Q = F \cdot \psi \cdot q \ \ [\mathrm{dm}^3/\mathrm{s}] \qquad (1.8)$$

Opóźnienie odpływu wlicza się poprzez odpowiednie wyznaczenie czasu trwania deszczu miarodajnego, które uwzględnia retencję powierzchniową i kanałową. Szczegółowe zasady obliczeń zawiera norma [42]; poniżej przytoczono najważniejsze z nich.

Z punktu widzenia danego odcinka kolektora (lub kanału) – najniekorzystniejszy jest deszcz o czasie trwania równym czasowi spływu wody z najdalszego punktu zlewni do kolektora.

Czas miarodajny deszczu t_m oblicza się jako sumę trzech elementów:

- czasu dopływu wody do początku rowu lub kanału, nazywany czasem koncentracji terenowej t_k,
- czasu przepływu przez rów do punktu obliczeniowego t_p,
- czasu retencji w rowie lub kanale t_r.

$$t_m = t_k + t_p + t_r \ \ [\mathrm{s}] \qquad (1.9)$$

Wartości czasu koncentracji terenowej t_k przyjmuje się w zależności od rodzaju i klasy technicznej drogi z tablica 1.10 i 1.11.

Tablica 1.10. Wartości czasu koncentracji terenowej t_k dla ulic [42]

Warunki ułożenia kanału	Czas koncentracji terenowej t_k [s]
Boczny kanał w płaskim terenie	600
Kolektor w płaskim terenie	300
Kolektor lub kanał boczny przy spadkach terenu powyżej 2 %	1200
Kolektor lub boczny kanał przy spadku terenu powyżej 4 %	60

Tablica 1.11. Wartości czasu koncentracji terenowej t_k dla dróg zamiejskich ([42], [49])

Klasa techniczna drogi	Czas koncentracji terenowej t_k [s]
Autostrada – A, droga ekspresowa – S	120
Droga główna ruchu przyspieszonego – GP	300
Droga główna – G, droga zbiorcza – Z	600
Droga lokalna – L, droga dojazdowa – D	1000

Czas przepływu przez rów / kanał - t_p określa wzór 1.10:

$$t_p = \frac{l}{v} \text{ [s]} \tag{1.10}$$

gdzie:

l – długość kanału / rowu [m],

v – prędkość przepływu przez kanał / rów [m/s].

Przyjmuje się, że czas retencji kanałowej t_r wynosi 0.2 czasu przepływu przez rów/kanał t_p, stąd wzór 1.9 na obliczenie czasu miarodajnego t_m przyjmuje ostateczną postać:

$$t_m = t_k + 1{,}2 \cdot \frac{l}{v} \text{ [s]} \tag{1.11}$$

Ponieważ wartości prędkości przepływu przez rów/kanał v oraz natężenia przepływu wód opadowych Q są od siebie zależne ($Q = P \cdot v$, gdzie P – pole powierzchni czynnego przekroju rowu/kanału [m^2]), konieczne jest wykonanie obliczeń iteracyjnych według schematu:

1) założenie wstępnej prędkości przepływu v_{z1} w kanale,
2) obliczenie wstępnej wartości czasu miarodajnego deszczu t_m,

3) obliczenie wstępnej wartości natężenia miarodajnego deszczu q,
4) obliczenie wstępnej wartości natężenia miarodajnego przepływu wód opadowych Q,
5) założenie wymiarów rowu i obliczenie pola powierzchni czynnego przekroju rowu P,
6) obliczenie wartości prędkości przepływu v w rowie i porównanie z wartością wstępną v_{z1},
7) przyjęcie nowej wartości v_{z2} i ponowne wykonanie obliczeń od punktu 2).

Norma [42] zaleca powtarzanie powyższych czynności do momentu uzyskania zgodności kolejno obliczonych wartości t_m co najmniej do 5% dla $t_m < 900$ s lub do 10% dla $t_m > 900$ s.

Jeżeli obliczony ze wzoru (1.11) czas miarodajny deszczu jest mniejszy od 600 s, to należy przyjąć $t_m = 600$ s.

f) Przepływy miarodajne (nominalne) – dla wymiarowania urządzeń podczyszczających

Zgodnie z obowiązującymi przepisami, nawet wody deszczowe pochodzące ze zlewni uznanych za zanieczyszczone nie muszą być oczyszczane w pełnej ilości, lecz w ilościach określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełniać przy wprowadzeniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego [55]. Rozporządzenie omówiono szczegółowo w rozdz. 2.1.

Nie ma obowiązku podczyszczania maksymalnego spływu deszczowego z dróg (Q_{max}) wyznaczonego wg metod natężeń stałych lub granicznych. Prawo wymaga podczyszczania tylko jego części. Ta część spływu deszczowego, która wymaga podczyszczania zgodnie z rozporządzeniem, nazywana jest często przepływem nominalnym (Q_{nom}) lub miarodajnym dla wyznaczania przepustowości urządzeń podczyszczających. Wyznaczana jest ona na podstawie opadu q miarodajnego dla wyznaczania przepustowości urządzeń podczyszczających, często nazywanego potocznie opadem „nominalnym" (q_{nom}).

Przepływy deszczowe większe od nominalnych mogą być odprowadzane do odbiorników bez podczyszczania.

O ile na użytek projektowania urządzeń odwadniających opracowano szereg (omówionych wyżej) metod obliczeniowych pozwalających na wyznaczenie maksymalnych przepływów deszczowych, o tyle nie ma jednoznacznego narzędzia obliczeniowego dla obliczenia przepływów nominalnych do wymiarowania urządzeń podczyszczających.

Przepływ nominalny wyznacza się ze wzoru ogólnego (1.4.) – podstawiając pod natężenie opadu q wartość określoną w rozporządzeniu [55] dla danej zlewni (wartości podane w rozdz. 2.1.). Jednak należy pamiętać, iż metoda natężeń stałych – została opracowana na użytek wyznaczania przepływów maksymalnych. Stąd brak jednoznaczności, w kwestii stosowania w formułach obliczeniowych współczynnika opóźnienia φ.

W prasie branżowej pojawiają się publikacje, które zalecają uwzględnianie współczynnika opóźnienia dla większych zlewni, przy czym jako praktyczną granicę podaje 5÷10 ha (wraz z większymi) [33]. W przypadku zlewni drogowych - urządzenia podczyszczające bardzo rzadko obsługują zlewnie większe od 5 ha.

Ministerstwo Środowiska w rozporządzeniu [55] – nie rozstrzyga jaką metodą obliczeniową należy wyznaczać przepływ pochodzący z opadów o natężeniu nominalnym pozostawiając tę kwestię środowiskom naukowym – w pierwszej kolejności Instytutowi Ochrony Środowiska.

Zgodnie z własnym doświadczeniem - IOŚ rekomenduje przyjmowanie wartości: $\varphi = 1$ dla wszystkich zlewni.

Dla warunków jw. wzór do wyznaczania przepływów nominalnych przybiera postać:

$$Q_{nom} = F \cdot \psi \cdot q_{nom} \quad [dm^3 / s] \tag{1.12}$$

g) Średni odpływ roczny

Roczną objętość wód i ścieków opadowych z drogi V określa się według wzoru:

$$V = a \cdot H \cdot F_s \cdot 10 = 9 \cdot H \cdot F_s \quad [m^3 / rok] \tag{1.13}$$

gdzie:

V – roczna objętość ścieków opadowych [m^3/rok],

H – roczna wysokość opadów [mm/rok],

F_s – powierzchnia szczelna drogi [ha],

a – współczynnik zmniejszający wielkość H o wysokość opadu nie dającą odpływu (parowanie, rozchlapywanie poza granice jezdni), a = 0,9.

Jeżeli system odwodnienia drogi – ze względu na ukształtowanie terenu – odwadnia również powierzchnie nie będące drogami – analogicznie można wyznaczyć objętość spływów nie zanieczyszczonych – podstawiając do ww. wzoru powierzchnię szczelną zlewni nie zanieczyszczonej (np. powierzchnię skarp – z zastosowaniem odpowiednich współczynników spływu – wg tab. 1.4.÷1.5.).

1.2.3. Ładunek zanieczyszczeń

Ładunek zanieczyszczeń niesiony przez wody i ścieki opadowe - $Ł_X$ – w skali roku - w odniesieniu do analizowanego parametru zanieczyszczenia X można określić wg wzoru:

$$Ł_X = V \cdot S_X \quad [kgX / rok] \tag{1.14}$$

gdzie

S_X – prognozowane stężenie analizowanego parametru zanieczyszczenia w spływach nieoczyszczonych, ocenione metodami podanymi w rozdz. (np. zawiesina ogólna lub węglowodory ropopochodne) [kg/m^3]

V – roczna objętość ścieków opadowych z odwadnianej powierzchni [m^3/rok]

Często jest to ładunek jednostkowy, odniesiony np. do 1 km długości odcinka drogi.

Powyższy wzór jest wzorem ogólnym. Uwzględnia ładunek zanieczyszczeń spływających z pasów ruchu. Jeżeli chcemy analizować ładunki zanieczyszczeń na wypływie z systemu odwodnienia, a do systemu odwodnienia drogi dopływają również wody z innych powierzchni – całkowity ładunek analizowanego parametru zanieczyszczenia można liczyć analogicznym wzorem - jako sumę ładunków ze wszystkich odwadnianych powierzchni.

Ładunek dopuszczalny $Ł_{dopX}$ wynosi:

$$Ł_{dopX} = V \cdot S_{dopX} \ [kgX / rok] \tag{1.15}$$

gdzie:

S_{dopX} – dopuszczalne stężenie zanieczyszczenia X (np. zawiesiny, węglowodorów ropopochodnych)

Analogicznie możemy wyznaczyć ładunki miesięczne lub chwilowe (sekundowe) – podstawiając zamiast rocznej objętości wód – objętość odpowiadającą opadom miesięcznym lub przepływ chwilowy (maksymalny, bądź nominalny).

1.3. Obliczanie koniecznego stopnia redukcji zanieczyszczeń przed ich wprowadzeniem do odbiorników – jako podstawa doboru urządzeń podczyszczających

Konieczny minimalny (oczekiwany) stopień redukcji zanieczyszczenia X oznaczono jako R_X. Można go obliczyć ze wzoru:

$$R_X = (1 - S_{dopX} / S_X) \cdot 100\% \ [\%] \tag{1.16}$$

Jest on jednym z kryteriów (obok kryteriów geośrodowiskowych) doboru urządzeń podczyszczających ścieki opadowe.

1.4. Prognoza oddziaływania na wody powierzchniowe

W prognozie oddziaływania na odbiornik ważne są zarówno parametry jakościowe, jak i ilościowe wód odprowadzanych z systemów odwodnieniowych drogi. Niekiedy analiza ilościowa (czyli analiza hydrauliczna przepustowości odbiornika) może okazać się ważniejsza od jakościowej – gdyż parametry hydrauliczne odbiornika mają ogromny wpływ na sprawność systemu odwodnienia.

Przekroczenie przepustowości odbiornika może prowadzić do podtopień systemów odwodnienia drogi, bądź okolicznych terenów. Może również zmienić właściwości cieku – zwiększyć jego zdolności erozyjne, destabilizować koryto jak również istotnie zmienić ekosystem danego odbiornika. Stąd w niektórych przypadkach, aby ocenić wpływ zrzutów wód opadowych na odbiornik niezbędną okazuje się ekspertyza hydrologiczna obejmująca znaczną część lub nawet całą zlewnię odbiornika (w przypadku małych odbiorników).

Analizę jakościową możemy przeprowadzić wg przykładu jak niżej.

Jeśli znane są:

- Stężenia analizowanych zanieczyszczeń (np. zawiesin, węglowodorów ropopochodnych) w odbiorniku w bliskim przekroju poprzecznym położonym powyżej miejsca (miejsc) zrzutu spływów oczyszczonych (S_{X0}),
- stężenia analizowanych zanieczyszczeń (zawiesin, węglowodorów ropopochodnych, itp.) na wylocie do odbiornika (S_{Xw}),
- obliczeniowy zrzut wód opadowych do odbiornika (ilość) Q_{deszcz} (możemy analizować różne dopływy charakterystyczne: maksymalny, nominalny, średni roczny, itp.),
- przepływy charakterystyczne w odbiorniku Q_{odb} (średni, niski, wysoki, itp. – możemy analizować wpływ na odbiornik w szerokim spektrum przepływów),

to w oparciu o bilans mas można prognozować stężenie parametru zanieczyszczenia X (S_{Xi}) w odbiorniku poniżej miejsca zrzutu:

$$S_{Xi} = \frac{Q_{deszcz} \cdot S_{Xw} + Q_{odb} \cdot S_{X0}}{Q_{deszcz} + Q_{odb}} [g / m^3] \tag{1.17}$$

Ocenę wpływu na stany wód w odbiorniku wskutek odprowadzanych wód opadowych – możemy wykonywać dla różnych urządzeń podczyszczających – w zależności od ich skuteczności.

Tak szczegółowe obliczenia możliwe są do wykonania dopiero w fazie zaawansowanego projektu budowlanego – np. w ramach operatów wodno-prawnych.

2. Sposoby ograniczania ilości zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska w związku z odwodnieniem pasa drogowego

2.1. Przegląd uwarunkowań

Wśród metod i technologii stosowanych w celu ograniczenia ilości zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska naturalnego z odwadnianego pasa drogowego można wyróżnić:

- metody i technologie ograniczające przedostawanie się zanieczyszczeń do wód opadowych,
- metody i technologie podczyszczania wód opadowych,
- metody i technologie wspomagające te procesy.

Do najprostszych działań w ramach punktu A) będzie należało sprzątanie dróg, ulic i poboczy a także np. optymalizacja zużycia i rodzaju stosowanych środków przeciw oblodzeniowych oraz poprawa stanu technicznego nawierzchni drogowych i pojazdów.

Nie ma jednej gotowej recepty na właściwy sposób odprowadzenia i oczyszczania ścieków deszczowych. Projekt odwodnienia, w tym również budowy urządzeń oczyszczających, powinien być za każdym razem poprzedzony szczegółowym rozpoznaniem pod względem lokalnych warunków hydrogeologicznych, ekologicznych (tj. wrażliwości lokalnego środowiska) i hydrograficznych.

W czasie projektowania, budowy i eksploatacji dróg należy zawsze mieć na uwadze następujące czynniki:

- sposób zagospodarowania przestrzennego,
- charakter i stopień zagrożenia zlewni,
- naturalne warunki przestrzenne i przyrodnicze zlewni, wrażliwość odbiorników
- miejscowe warunki lokalizacyjne,
- możliwości techniczne,
- uwarunkowania eksploatacyjne.

Właściwe rozwiązanie odwodnienia oraz podczyszczania ścieków deszczowych - to takie, które uwzględnia lokalne uwarunkowania jw., a jednocześnie jest racjonalne pod względem technicznym (zapewnia sprawne odwodnienie) i ekonomicznym (nie tylko koszty inwestycyjne, ale również eksploatacyjne, trwałość, itp.).

Dobór rozwiązania technicznego oczyszczania ścieków deszczowych, uzależniony jest od rodzaju odbiornika oraz stopnia wrażliwości i warunków przestrzennych zlewni,

Ze względu na zasadę działania lub funkcję - urządzenia zabezpieczające odbiorniki spływów opadowych można podzielić na cztery podstawowe grupy:

- urządzenia retencyjne (zwiększające retencję odpływu np. minimalne spadki podłużne w rowach i kanałach odwadniających, progi i przegrody piętrzące, zbiorniki retencyjne),
- oczyszczalnie biologiczne (rowy, muldy i powierzchnie trawiaste, oczyszczalnie korzeniowe, stawy retencyjno-infiltracyjne, wszystkie obiekty seminaturalne),
- podczyszczalnie mechaniczne (osadniki, separatory substancji ropopochodnych, zbiorniki retencyjno-sedymentacyjne lub retencyjno-filtracyjne, ale również np. rowy trawiaste, muldy,),
- urządzenia odcinające odpływ do odbiornika substancji niebezpiecznych (zastawki ręczne lub mechaniczne, przegrody poprzeczne w rowach, zasuwy odcinające, zamknięcia automatyczne na dopływie lub odpływie z separatora, sygnalizacja alarmowa separatora).

Wymienione urządzenia często spełniają jednocześnie kilka zadań. Najczęściej współpracują tworząc razem układ oczyszczania.

Poważną trudność w doborze sposobu oczyszczania ścieków deszczowych stanowi fakt, iż nie można mówić o typowym składzie ścieków deszczowych. Znacząca jest również nierównomierność zrzutu ładunku zanieczyszczeń w jednostce czasu. Czynniki wpływające na stopień zanieczyszczenia spływów opadowych z dróg – omówiono w rozdziale 1.1.

Jedynym **powtarzalnym elementem w charakterystyce ścieków opadowych z dróg jest dominacja zanieczyszczeń związanych z zawiesiną ogólną**. Podwyższona zawartość związków ropopochodnych występuje praktycznie wyłącznie w spływach ze stacji paliw i parkingów. Najwyższe stężenia zanieczyszczeń występują na ogół w pierwszym okresie spływu i po dłuższej przerwie w opadach.

Podstawę formalną do rozwiązywania problematyki ochrony wód w infrastrukturze dróg i autostrad stanowi Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełniać przy wprowadzeniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego [55] oraz ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne [48]. Przedstawione przepisy określają, kiedy wody opadowe uznaje się za ścieki, jakie ilości wód opadowych należy oczyścić w zależności od rodzaju zlewni oraz do jakich parametrów należy je oczyścić.

Standardy emisji zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych odprowadzanych z dróg krajowych, wojewódzkich oraz powiatowych klasy G, parkingów o powierzchni powyżej 0.1 ha oraz obiektów dystrybucji paliw, określa § 19 przytoczonego wyżej rozporządzenia. Zgodnie z tym rozporządzeniem, zawartość zawiesiny ogólnej w ściekach odprowadzanych do środowiska nie może być większa niż 100 mg/l, a węglowodorów ropopochodnych – 15 mg/l.

Podane wartości odnoszą się do tej ilości ścieków opadowych, jaka powstaje z opadu o natężeniu q wynoszącym co najmniej 15 l/s · ha - spływającego odwadnianej powierzchni szczelnej dróg, parkingów i terenów przemysłowych.

W przypadku spływów z terenów magazynowania i dystrybucji paliw – wymienione wyżej graniczne wartości parametrów zanieczyszczeń – obowiązują dla ścieków opadowych powstających z opadu o częstości występowania raz w roku (C = 1) i czasie trwania 15 minut (patrz wzór 1.7. lecz w ilości nie mniejszej niż ilość ścieków odprowadzana z 1 ha powierzchni szczelnej z opadów o natężeniu 77 l/s.

Do obliczania przepływów na podstawie natężenia opadu korzysta się ze wzoru 1.13. (wyprowadzonego ze wzoru ogólnego 1.5) podstawiając pod natężenie opadu q powyższe wartości.

Odpływ wód opadowych i roztopowych w ilości przekraczającej powyższe wartości może być wprowadzany do odbiornika bez oczyszczania, a urządzenie oczyszczające powinno być zabezpieczone przed dopływem wód o natężeniu większym niż jego przepustowość nominalna.

W przypadkach, kiedy korzystając z zapisów rozporządzenia [55] projektuje się urządzenie podczyszczające nie posiadające zdolności przyjęcia całego spływu opadowego ($Q_{nom} < Q_{max}$), należy stosować odpowiednie rozwiązania projektowe chroniące urządzenie przed przeciążeniem hydraulicznym (np. zapewnienie odpowiedniej retencji w zbiornikach bądź rowach, zastosowanie przelewów). Konkretne rozwiązania zależeć będą od wielkości zlewni, warunków terenowych i gruntowo-wodnych, a przede wszystkim od charakteru i wielkości odbiornika wód opadowych i związanych z tym wymagań ochrony środowiska wodnego.

Projektowane wielkości odpływów nie mogą mieć niekorzystnego wpływu na odbiorniki.

W konkretnych zlewniach mogą wystąpić szczególne uwarunkowania ochronne – surowsze od standardów określonych w rozporządzeniu [55] – wprowadzone prawem lokalnym (np. przepisami o ustanowionych strefach ochronnych albo warunkami korzystania z wód dorzecza).

Według polskiej normy PN-S-02204 [42] – pkt.3.3.1, ustawy Prawo wodne [48], ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. Prawo geologiczne i górnicze [46] i związanego z nią rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych wymagań,

jakim powinny odpowiadać dokumentacje hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie [53], na obszarach szczególnej ochrony wód podziemnych nie wolno stosować systemu odwodnienia, który nie zapewnia szczelności. Nie należy lokalizować zbiorników retencyjnych (bez uszczelnień), odparowujących (bez uszczelnień) i infiltracyjnych, warstw i studni chłonnych oraz nasypów filtracyjnych. Należy stosować urządzenia kanalizacyjne lub retencyjno-sedymentacyjne o odpowiedniej szczelności oraz wyprowadzać kanały odwadniające i kolektory prowadzące spływy z dróg - poza strefy ochrony pośredniej ujęć wód podziemnych i powierzchniowych.

Obostrzeń należy się również spodziewać w przypadku lokalizacji elementów odwodnienia na terenach zalewowych. Warunki zgody na realizację inwestycji (bądź jej części) w obszarze zalewowym, w tym szczegółowe wymagania techniczne dot. urządzeń ochrony wód, wydawane są dla każdego przypadku indywidualnie – przez właściwy Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej.

Natomiast wszędzie tam, gdzie jest to możliwe - przy odwadnianiu zlewni o charakterze komunikacyjnym należy preferować odprowadzanie spływów z dróg poprzez rowy trawiaste i unikać stosowania kanałów podziemnych oraz rowów uszczelnionych. W miejscach, gdzie nie zachodzi niebezpieczeństwo zanieczyszczenia wód gruntowych, należy przede wszystkim stosować powierzchniowe (rozproszone) odwadnianie drogi, polegające na wprowadzaniu ścieków opadowych bezpośrednio do przydrożnego terenu z uwzględnieniem aspektów własnościowych gruntów, wykorzystując oczyszczające właściwości gruntu.

Urządzenia podczyszczające wody deszczowe z jezdni i pasa drogowego należy lokalizować bezpośrednio na wylocie kanalizacji zbierającej zanieczyszczone wody. Jednocześnie należy stosować zasadę, aby wód opadowych spływających z przyległego terenu nie wprowadzać do urządzeń oczyszczających wody spływające z jezdni i pasa drogowego.

Ekonomicznie i ekologicznie uzasadnione jest stosowanie nieskomplikowanych urządzeń oczyszczających, przede wszystkim takich, które pozwalają na wykorzystanie i intensyfikację naturalnych procesów redukcji zanieczyszczeń oraz zmniejszają natężenie odpływu do odbiornika.

Bardziej szczegółowe zalecenia dotyczące stosowania poszczególnych sposobów odprowadzania i oczyszczania spływów opadowych przedstawiono w tablica 2.2., natomiast skuteczność działania urządzeń zabezpieczających środowisko naturalne przed zanieczyszczeniem spływem powierzchniowym w zależności od rodzaju urządzenia – w tablica 2.1.

Tablica 2.1. Skuteczność działania urządzeń ograniczających zanieczyszczenia w spływach opadowych [30]

Urządzenie oczyszczające	Efekt oczyszczania		Uwagi, zalecenia
	Zawiesiny ogólne	Substancje ropopochodne	
rowy trawiaste, powierzchnie trawiaste	40-90%	20-90%	intensyfikacja procesów przez stosowanie progów i przegród piętrzących; redukcja zanieczyszczeń zależna od pory roku, grunt dobrze przepuszczalny, trawa gęsta – wysoko koszona
zbiorniki retencyjno-oczyszczające (szczelne)	80%	80%	zalecany osadnik przed zbiornikiem lub wydzielona część zbiornika – redukcja zawiesin łatwoopadających, przegroda zanurzona (zasyfonowany odpływ), bardzo małe obciążenie hydrauliczne, zwykle <4 $(m^3/h)/m^2$, maksymalne 7 $(m^3/h)/m^2$, b. mały, wskaźnik powierzchni flotacji >0.2 $m^2/(l/s)$
zbiorniki retencyjno – filtracyjne, zbiorniki infiltracyjne	80%	80%	osadnik na dopływie do zbiornika – redukcja zawiesin łatwoopadających, zasyfonowany odpływ, bardzo małe obciążenie hydrauliczne, zwykle <4 $(m^3/h)/m^2$, maksymalne 7 $(m^3/h)/m^2$, wskaźnik powierzchni flotacji >0.2 $m^2/(l/s)$, wskazane k_f =5x10^{-6} m/s
piaskowniki, osadniki, studnie osadnikowe	60-80%	60-80%	redukcja zawiesin stanowi funkcję obciążenia hydraulicznego, ewentualnie dodatkowe wyposażenie – zasyfonowany odpływ, maksymalne obciążenie hydrauliczne 36 $(m^3/h)/m^2$
separatory substancji ropopochodnych (klasa II)	-	≥ 95%	w badaniach testowych w warunkach laboratoryjnych minimalna powierzchnia czynna A_{min}=0.2·Q_n $[m^2]$
separatory substancji ropopochodnych (klasa I)	-	≤5 mg/l* 18-96%** śr. 58%**	
obecność mikroorganizmów	50-70%	97%	badania doświadczalne
rowy chłonne, studnie chłonne	80%	80%	k_f>10^{-6} m/s, zalecane osadniki przed urządzeniami, możliwość zatykania złoża, szczególnie w studniach chłonnych, niewielkie zastosowanie w systemach odwodnienia dróg krajowych i wojewódzkich
Warunkiem uzyskania założonego efektu oczyszczania spływów opadowych jest systematyczna, właściwa eksploatacja urządzeń.			

Urządzenie oczyszczające	Efekt oczyszczania		Uwagi, zalecenia
	Zawiesiny ogólne	Substancje ropopochodne	

* badania w warunkach laboratoryjnych (produkty naftowe)
** badania w warunkach rzeczywistych

Skuteczność wszystkich stosowanych urządzeń wyrażona wskaźnikiem procentowym jest zawsze uzależniona od stężeń zanieczyszczeń w wodach dopływających do urządzenia. Wysokie skuteczności opisywane w tabeli powyżej – dotyczą wód silnie zanieczyszczonych (w górnych granicach spotykanych dla wód opadowych). W przypadku badań w warunkach rzeczywistych prowadzonych na separatorach najczęściej dopływające ścieki mają relatywnie niskie stężenia substancji ropopochodnych (dużo niższe od warunków normowych), zawierają ponadto wiele domieszek o różnym składzie chemicznym.

Tablica 2.2. Zalecenia dotyczące stosowania poszczególnych sposobów odprowadzania, regulacji oraz oczyszczania spływów opadowych z dróg (opracowano na podstawie [30] oraz doświadczeń własnych)

Rodzaj urządzeń	Zalecenia do stosowania	Stosowanie w uzasadnionych przypadkach	Uwagi
Kolektory		+	Odwadniające mosty, wiadukty, estakady, węzły i obiekty towarzyszące
Rowy szczelne		+	O możliwości stosowania decydują głównie warunki hydrogeologiczne i ukształtowanie terenu, w trasie drogi- ewentualne wyposażenie w studzienki osadowe
Rowy trawiaste	+		Wyposażenie systemu: progi, drenaż, geowłóknina, warstwa filtracyjna, studzienki osadnikowe
Zbiorniki retencyjno-oczyszczające	+		Szczelne przepływowe - dla dużych zlewni, ewentualne wyposażenie: deflektor dopływu, zasyfonowany odpływ, kraty na wylocie, materiały sorbentowe, zapory pływające,
Zbiorniki retencyjno-infiltracyjne	+		Ewentualnie stawy obsadzone roślinnością; wydzielona strefa osadzania na wlocie, deflektor na wlocie, zasyfonowanie odpływu, ewentualnie materiały sorbentowe

Rodzaj urządzeń	Zalecenia do stosowania	Stosowanie w uzasadnionych przypadkach	Uwagi
Urządzenia regulujące przepływ	+		We wszystkich przypadkach stosowania obiektów na wydzieloną część przepływu (tzw. 'przepływy nominalne') lub jako element zbiorników retencyjnych
Piaskowniki	+		Ewentualne wyposażenie w deflektor dopływu, kratę na odpływie, zasyfonowany odpływ, zastawkę odcinającą oraz współpraca z przelewem burzowym lub innym urządzeniem regulującym dopływ
Osadniki	+		Ewentualnie osadniki wielostrumieniowe, wyposażenie: deflektor dopływu, dodatkowo ścianka zanurzona na odpływie - zwykle poprzedzają inne urządzenia, współpraca z przelewem burzowym lub innym urządzeniem regulującym dopływ
Separatory substancji ropopochodnych	+*	+	Poprzedzone osadnikiem lub innym urządzeniem sedymentacyjnym, współpraca z przelewem burzowym lub innym urządzeniem regulującym dopływ
Separatory zintegrowane z osadnikiem	+*	+	Współpraca z przelewem burzowym lub innym urządzeniem regulującym dopływ
Studzienki osadnikowe	+		W trasie i na wylotach rowów, krata na dopływie, niekiedy zasyfonowany odpływ

* na obiektach towarzyszących (np.: MOP, SP, UOA itp.)

Projektując rozwiązania techniczne, ograniczające ilości zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska należy pamiętać, że nie istnieją urządzenia ani obiekty bezobsługowe. Każde z zastosowanych urządzeń oczyszczania ścieków deszczowych wymaga kontroli, czyszczenia, konserwacji oraz unieszkodliwiania usuwanych z nich odpadów. W zależności od rodzaju zastosowanych urządzeń, koszty eksploatacyjne są bardzo różne. Rozwiązania najprostsze, wykorzystujące naturalne warunki terenu oraz biologiczne procesy oczyszczania, cechują się niskimi kosztami eksploatacji i właśnie dlatego zasługują na szczególną uwagę. W konkretnych sytuacjach nie należy rezygnować z rozwiązań technicznych bardziej skomplikowanych, droższych w eksploatacji, ale niejednokrotnie

niezastąpionych. Jednak zawsze zastosowanie takich urządzeń powinno być szczegółowo umotywowane wymogami ochrony środowiska.

Jednym ze sposobów ograniczania ładunku zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska gruntowo-wodnego jest zmniejszenie zanieczyszczeń akumulowanych na drogach, z czym wiążą się bezpośrednio warunki utrzymania dróg.

W okresie zimowym do utrzymania przejezdności dróg używane są różne środki chemiczne, głównie związki soli. Optymalizowanie użycia środków chemicznych, szczególnie w pobliżu wrażliwego środowiska wodnego, ma duże znaczenie dla ochrony środowiska. Rodzaje oraz szczegółowe warunki stosowania środków używanych na drogach publicznych oraz ulicach i placach określa Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 października 2005 r. [54].

W celu ograniczania ilości zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska z odwadnianego pasa drogowego konieczne jest przestrzeganie Ustawy z dnia 28 października 2002 r. o przewozie drogowym towarów niebezpiecznych [49] oraz umowy ARD [58]. Przedstawiona ustawa określa zasady przewozu drogowego towarów niebezpiecznych, wymagania w stosunku do kierowców i innych osób wykonujących czynności związane z tym przewozem oraz organy właściwe do sprawowania nadzoru i kontroli w tych sprawach.

Utrzymywanie czystości dróg i niedopuszczanie do zaśmiecenia pasa drogowego ograniczają ilości zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska, jak również wpływają na prawidłową pracę urządzeń odwadniających. Ilość zanieczyszczeń odprowadzanych do systemu odwadniającego wpływa na częstość wybierania nagromadzonego osadu, koszty eksploatacyjne urządzeń sedymentacyjno-flotacyjnych oraz rowów i kanałów odwadniających, a także na efektywność ich działania.

2.2. Metody seminaturalne

Wybór sposobu oczyszczania ścieków opadowych pochodzących z odwadniania pasa drogowego powinien uwzględniać – oprócz aspektów ekonomicznych – także warunki środowiskowe. Należy go dokonać w myśl zasady minimalizacji ingerencji w środowisko naturalne i zmian w jego ekosystemach. Skutecznym sposobem w tym zakresie jest stosowanie metod seminaturalnych, które naśladują i wykorzystują procesy zachodzące w środowisku naturalnym (wodnym i glebowym). Są to różne procesy biochemiczne jak i fizyko-chemiczne, w tym: sedymentacja, sorpcja, utlenianie, fermentacja i rozkład mikrobiologiczny.

Obiekty realizowane w oparciu o metody seminaturalne:

- ograniczają ładunki zanieczyszczeń wprowadzanych do środowiska naturalnego, w tym umożliwiają usunięcie zawiesin i związków ropopochodnych do stężeń niższych od wartości dopuszczalnych dla ścieków opadowych odprowadzanych do wód lub gruntów;
- minimalizują zmiany stosunków wodnych poprzez retencję i infiltrację opadów z danego obszaru, co wpływa korzystnie na lokalny bilans wodny ,
- pełnią rolę buforów ograniczających spływ substancji niebezpiecznych, rozlanych na drogach wskutek katastrof;
- wykorzystują istniejące lub tworzą nowe ekosystemy wodne;
- zmniejszają stopień ingerencji inwestycji drogowej w krajobraz, wzbogacają krajobraz wzdłuż pasów drogowych;
- często umożliwiają zmniejszenie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych systemów oczyszczania ścieków opadowych z odwodnienia dróg.

Ze względu na pełnioną funkcję można wyróżnić następujące typy urządzeń:

- urządzenia infiltracyjne: powierzchnie i rowy trawiaste (w tym również rowy stokowe – o ile nie posiadają uszczelnienia), muldy, dreny, sączki, zbiorniki infiltracyjne, nawierzchnie i rowy infiltracyjne,
- urządzenia retencyjno-infiltracyjne: zbiorniki, stawy i rowy,
- wetlandy, filtry hydrofitowe, zbiorniki odparowujące wykorzystujące ewapotranspirację roślin.

2.2.1. Urządzenia infiltracyjne

a) Powierzchnie trawiaste

Jako powierzchnie trawiaste wykorzystuje się tereny o dużym współczynniku filtracji, gdzie wody opadowe infiltrują przez warstwę zadarnionego gruntu. Spływ po nich powinien być rozprzestrzeniony możliwie równomiernie. Można to uzyskać stosując różne sztuczne bariery z otworami lub odpowiednio uformowane kanały wypełnione kamieniami, zlokalizowane w poprzek zbocza.

Zastosowanie tego sposobu oczyszczania ograniczają następujące czynniki:

- brak odpowiedniej powierzchni pasa drogowego do dyspozycji,
- niska przepuszczalność gruntu,
- wysoki poziom wód gruntowych,
- inne lokalne przeciwwskazania do infiltracji np. obszary ochronne ujęć wód (obszary o wysokiej wrażliwości – patrz rozdz. 3.).

b) Rowy trawiaste

Rowy trawiaste są obiektami, których skarpy i dno pokrywa warstwa humusowa o miąższości minimum 20 cm, porośnięta gęstą i wysoko koszoną trawą. Z uwagi na dość duże wymogi obszarowe, najczęściej stosowane są do odwadniania dróg na terenach pozamiejskich. Rowy trawiaste wykazują dość wysoki stopień redukcji zanieczyszczeń(patrz tablica 2.1), który w przypadkach dróg o małym obciążeniu ruchem może być wystarczający dla spełnienia przez ścieki opadowe standardów jakościowych zgodnie z obowiązującymi przepisami [55]. W zależności od pojemności rowów i wielkości powierzchni odwadnianej, można je stosować jako samodzielne urządzenie lub równolegle z innymi obiektami, np. zbiornikami, które przejmą ewentualny nadmiar ścieków. Najczęściej buduje się rowy o przekrojach trapezowych, trójkątnych i opływowych [30].

Zalecenia projektowe dla rowów trawiastych stosowanych jako urządzenia oczyszczające:

- odwadniana powierzchnia nie powinna być większa niż 2 ha,
- spadki dna rowu powinny być jak najmniejsze, jednak powinny zapewniać odprowadzania spływów opadowych z dróg,
- pochylenie skarp nie powinno być większe niż 1:3,
- rów powinien być obsiany gatunkami traw dobrze tolerujących podwyższone zasolenie,
- koszenie rowu powinno być dokonywane z częstotliwością nie pozwalającą na nadmierne jego zarastanie,
- grunt w podłożu rowu powinien być przepuszczalny (współczynnik filtracji $k > 3.5 \cdot 10^{-6}$ m/s),
- w rowach pełniących również funkcje retencyjne zaleca się stosowanie przegród spowalniających przepływ (np. palisad, progów, narzutów kamiennych, itp.), i zwiększających skuteczność oczyszczania.

c) Rowy stokowe, muldy, dreny, sączki

Rowy stokowe oraz muldy pełnią rolę ochronną i (w mniejszym stopniu) infiltracyjną. Stosuje się je na stromych zboczach, gdzie chronią rowy przydrożne przed nagłymi dopływami znacznych ilości wód spływających ze stoków oraz stanowią ochronę skarp przed erozją. Muldy to płytkie wykopy pełniące rolę urządzeń odwadniających.

Dreny niekiedy umieszcza się pod dnem rowów – w warstwie filtracyjnej, co ułatwia zmagazynowanie wody na czas potrzebny do jej infiltracji do gruntu (w przypadków gruntów o niewysokich współczynnikach filtracji).

Sączki drogowe odprowadzają wody z warstw nawierzchni drogi lub z jej podłoża gruntowego. Stanowią żwirową warstwę filtracyjną, oddzieloną od gruntu

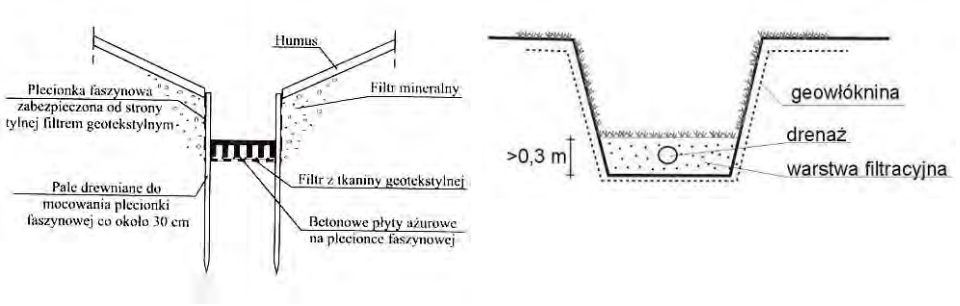
rodzimego np. geowłókniną. Zasadniczo nie służą do infiltracji wody do gruntu, lecz do jej odprowadzenia ze zlewni, gdzie nie ma warunków do infiltracji. Jednak z chwilą zmiany warunków gruntowych (wyjście z obszaru słabej przepuszczalności gruntów i wejście w obszar dobrej przepuszczalności) element, który pracował jako sączek (analogiczna konstrukcja) może zacząć oddawać wodę do otoczenia i wówczas zamienia się w urządzenie infiltracyjne. W wyglądzie zewnętrznym obydwa rozwiązania prawie się nie różnią. Jedyną różnicę może stanowić odmienny dobór geowłókniny filtracyjnej (dobieranej na odwrotne kierunki filtracji – w typowym sączku – do środka; w odmianie służącej do infiltracji – na zewnątrz).

d) Rowy i nawierzchnie infiltracyjne

Są to rowy i powierzchnie wypełnione warstwą filtracyjną zbudowaną z piasku gruboziarnistego i żwiru, z opcjonalnym zastosowaniem przewodów drenarskich. Dreny mogą pełnić 2 role - doprowadzają wodę z części nieprzepuszczalnej lub pełnią rolę magazynującą (zwiększają pojemność retencyjną rowu).

Warstwy filtracyjne należy zabezpieczać przed napływem zawiesin, co zapobiega szybkiej kolmatacji gruntu. W przypadku nawierzchni jedynym miejscem umożliwiającym zabezpieczenie jest warstwa wierzchnia. W celach ochronnych stosuje się różnego rodzaju geowłókniny. W przypadku rowów infiltracyjnych, które są zasilane wodami opadowymi nie tylko w formie bezpośredniego spływu powierzchniowego, ale również dopływami z systemu odwodnienia (np. z kanalizacji, albo sąsiadujących z nimi rowów szczelnych) – na przejściu systemu szczelnego w infiltracyjny - należy stosować urządzenia podczyszczające (piaskowniki lub osadniki).

Nawierzchnie infiltracyjne zaleca się stosować na parkingach o małym obciążeniu ruchu.



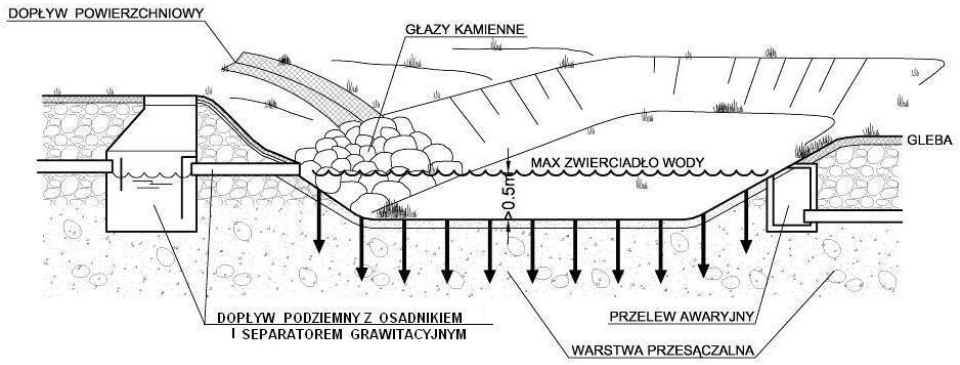
Rys. 2.1. Przykłady rowów z warstwą filtracyjną ([10], [30])

e) Zbiorniki infiltracyjne

Zbiorniki infiltracyjne mają za zadanie retencjonowanie dopływających ścieków opadowych przy jednoczesnej ich infiltracji do gruntu. Czas gromadzenia wody w tych zbiornikach jest wydłużony z powodu infiltracji, dlatego też należy projektować ich objętość retencyjną obliczoną na deszcz miarodajny, uwzględniając wielkość wsiąkania, a także uwzględniając urządzenia przelewowe. Deszcz miarodajny do wymiarowania zbiorników retencyjnych jest inaczej zdefiniowany niż deszcz miarodajny do wymiarowania kanalizacji, czy urządzeń podczyszczających (przepływ nominalny) [8], [10] (patrz 2.2.2.).

Dno zbiornika stanowią warstwy żwirowo-piaskowe o uziarnieniu rosnącym w głąb (patrz rys. 2.2., rys. 2.3.). Na styku warstw o znaczących różnicach uziarnienia (z reguły pomiędzy warstwą humusu a pierwszą warstwą mineralną, czasami również pomiędzy ostatnią warstwą a gruntem rodzimym) – stosowane są geowłókniny filtracyjne. Aby usprawnić infiltrację można dodatkowo stosować drenaż rozprowadzający. Oczyszczanie w zbiornikach infiltracyjnych zachodzi głównie w warstwie infiltracyjnej i osadach dennych. Aby zwiększyć sprawność oczyszczania zaleca się obsadzanie zbiornika roślinnością wodną przybrzeżną i pływającą. Dzięki temu tworzy się bardziej naturalny ekosystem, który pozwala na dłuższą eksploatację i zapewnia lepsze efekty oczyszczania. Nie należy dopuścić do nadmiernego zarastania zbiornika i często wykaszać nadmierną roślinność.

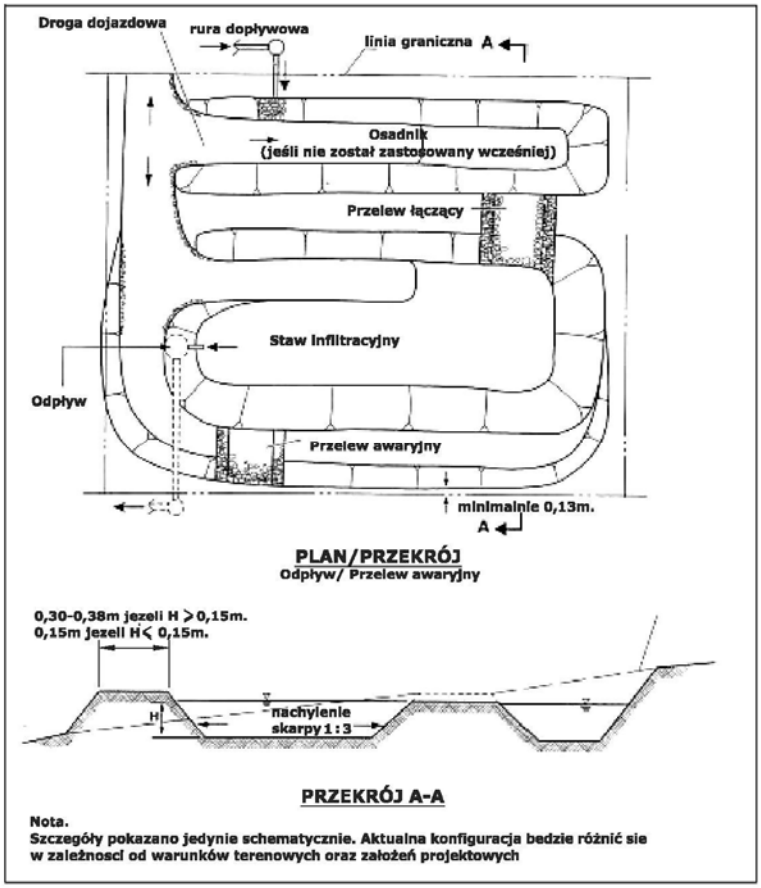
Z uwagi na możliwość zatykania się warstwy infiltrującej, powinno się stosować przed zbiornikiem infiltracyjnym urządzenia usuwające zawiesiny (patrz rozdz. 2.4.1.).



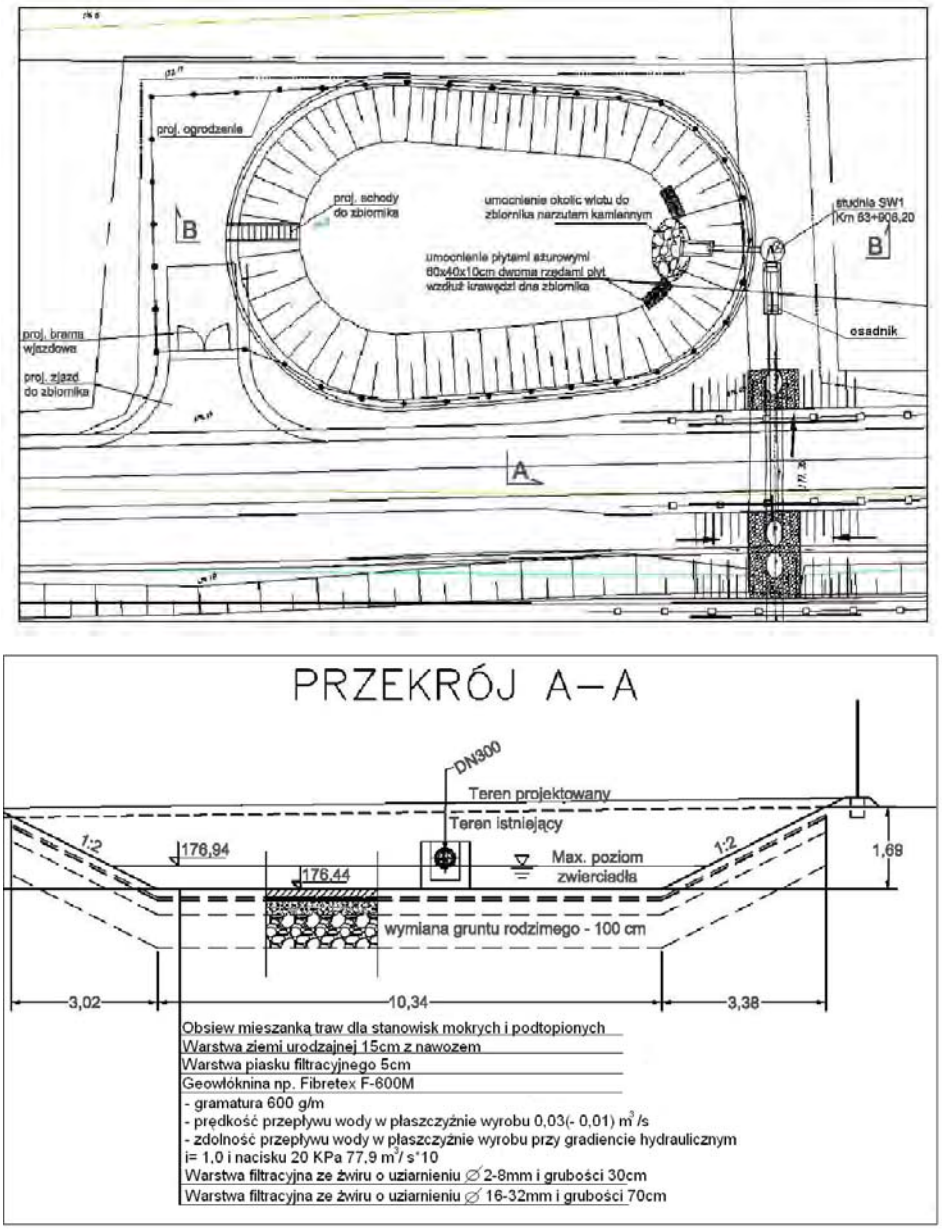
Rys. 2.2. Zbiornik infiltracyjny – schemat ideowy [13]

Urządzenia infiltracyjne mają następujące wymagania projektowe:

- grunt do głębokości 1,5 m poniżej dna zbiornika musi zapewniać szybkość filtracji co najmniej 1,25 cm/h ($3.5 \cdot 10^{-6}$ m/s) – dla zbiorników i co najmniej 0,7 cm/h ($1.9 \cdot 10^{-6}$ m/s) – dla rowów infiltracyjnych, a także - znajdować się powyżej poziomu wód gruntowych [50] (nie należy umiejscawiać zbiorników na terenach podmokłych),
- zbiorniki infiltracyjne - w części nadziemnej należy kształtować wg tych samych zasad co zbiorniki retencyjne. Ich część infiltracyjna (podziemna) składa się z warstwy żwiru o średnicy ziaren d = 2-8 mm, przykrytej warstwą ochronną ze żwiru o średnicy $d > 10$ mm, z przekładką ochronną z geowłókniny filtracyjnej (wymienianej okresowo). Właściwości filtracyjne powinny zapewnić odprowadzanie do gruntu napływających i magazynowanych wód w obliczeniowym czasie 1 roku [42],
- według wymagań dla autostrad - gdy odwadniana powierzchnia ma powyżej 4 ha, w Polsce zaleca się przyjmowanie pojemności retencyjnej zbiorników w wielkości 250 m^3 na 1 ha powierzchni szczelnej [51],
- w Niemczech - w przypadku piasków gliniastych – zaleca się przyjmowanie pojemności zbiornika 250 m^3/ha, a w przypadku glin piaszczystych – 300 m^3/ha powierzchni szczelnej, zalecany współczynnik filtracji dla zbiorników jest większy i wynosi $k_f = 5 \cdot 10^{-6}$ m/s [13],
- budowa powinna być wykonana przy pomocy lekkiego sprzętu, aby zminimalizować zagęszczenie gruntu na dnie zbiornika,



Rys. 2.3.A. Zbiornik infiltracyjny – przykład projektowy



Rys. 2.3.B. Zbiornik infiltracyjny – przykład projektowy

- przed urządzeniami infiltracyjnymi zaleca się budowę urządzeń usuwających zawiesiny - np. osadników, filtrów piaskowych, korzeniowych

lub stref sedymentacyjnych (wydzielonych w początkowej części zbiornika),
- należy zabezpieczyć zbiorniki przed zanieczyszczaniem ich odpadami o większych gabarytach (butelki, puszki itp.), poprzez zainstalowanie krat przed wlotem do zbiornika,
- powinien być zapewniony dojazd do zbiornika, jak również do urządzeń zabezpieczających zbiornik przed zanieczyszczeniami jw.

2.2.2. Urządzenia retencyjne i retencyjno-infiltracyjne

Urządzenia retencyjne mają za zadanie gromadzenie spływów opadowych i stopniowe ich odprowadzanie. Zalecane jest łączenie retencji z infiltracją poprzez wykonywanie systemów urządzeń o funkcjach retencyjno-infiltracyjnych, szczególnie ze względu na poprawę bilansu wodnego i warunków środowiskowych.

a) Zbiorniki retencyjne

Zbiorniki retencyjne pełnią głównie rolę wyrównawczą dopływu wód opadowych (wyrównanie składu) oraz zmniejszają ilość wód odpływających w jednostce czasu. Dzięki temu obiekty kanalizacyjne zlokalizowane poniżej (urządzenia podczyszczające, kanały, itp.) mogą być mniejsze.

Zbiorniki retencyjne mogą także pełnić funkcję urządzenia zatrzymującego zawiesiny (sedymentacja uzupełniająca, zbiorniki retencyjno-sedymentacyjne), ale nie jest to ich podstawowa funkcja. Z reguły w procesie projektowania dąży się do ograniczenia akumulacji zawiesin na dnie zbiorników – stosując odpowiednie osadniki przed wlotem do zbiornika.

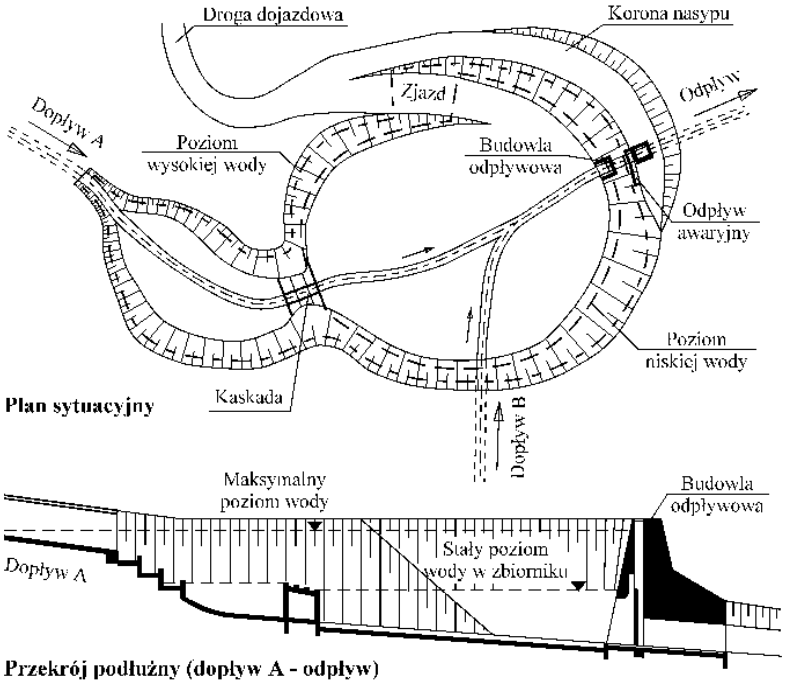
Zbiorniki retencyjne powinny być stosowane wspólnie z urządzeniami oczyszczającymi, takimi jak stawy lub zbiorniki infiltracyjne, filtry hydrofitowe, itp.

Podstawowym parametrem charakteryzującym zbiorniki retencyjne jest ich pojemność użyteczna. Do wymiarowania pojemności użytecznej zaleca się przyjmować opady miarodajne o mniejszym prawdopodobieństwie niż przyjęte dla elementów odwodnienia (kanałów, rowów) – doprowadzających wodę do zbiornika ([8], [10]). Przykładowo, jeśli zgodnie w wymaganiami normowymi – dla danej kategorii drogi do projektowania rowów, czy kanałów przyjęto deszcz o prawdopodobieństwie p = 50%, to zbiornik retencyjny powinien zapewnić odpowiednią retencję opadów o prawdopodobieństwie p = 20%. Z kolei czas trwania opadu krytycznego z punktu widzenia zbiornika retencyjnego – z reguły jest dłuższy niż czas trwania deszczu miarodajnego przyjętego do wymiarowania kanalizacji (bądź rowów). Wymiarowanie szczegółowe - prowadzi się w oparciu o nomogramy ([8], [10], [30],[13]). Przy wymiarowaniu na wcześniejszych etapach

projektowania - można też korzystać z metod uproszczonych – w oparciu o wskaźniki pojemności zbiornika do powierzchni szczelnej odwadnianej zlewni.

W przypadku wykorzystywania zbiorników retencyjnych (lub ich części) również jako dodatkowych urządzeń sedymentacyjnych (np. do usuwania najdrobniejszych frakcji zawiesin) – zasady wymiarowania w planie – są analogiczne do zasad wymiarowania osadników. Powierzchnia zbiornika powinna spełniać wymagania wynikające z granicznego obciążenia hydraulicznego dla najdrobniejszej frakcji zawiesin, którą chcemy wydzielić (rozdz. 2.4.1., wzory 2.1., 2.2.).

Forma przestrzenna i sposób rozwiązania konstrukcji zbiornika będą decydowały o jego charakterze – nie każdy zbiornika retencyjny będzie obiektem seminaturalnym (patrz rozdz. 2.4.6.). Za obiekty seminaturalne będziemy uznawać te zbiorniki, w których projektuje się strefy roślinne o znaczeniu technologicznym.



Rys. 2.4. Zbiornik retencyjny otwarty– przykład rozwiązania z dużą różnicą poziomów dopływu i odpływu wg [10]

b) Stawy

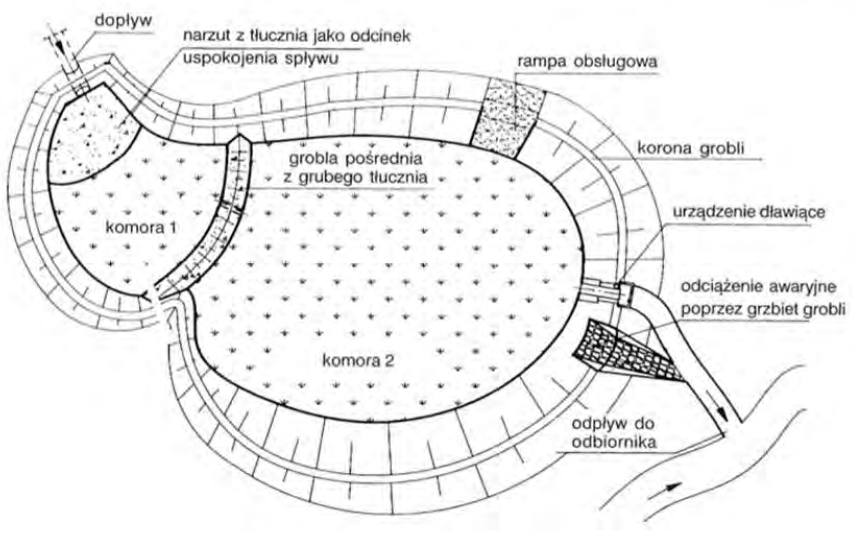
W wielu przypadkach terminy ‘staw’ / ‘zbiornik’ – są stosowane zamiennie (każdy staw retencyjny jest również zbiornikiem), przy czym określeniem ‘staw’ z

reguły wyróżnia się obiekty otwarte, stosunkowo płytkie, o dłuższym czasie zatrzymania i bardziej naturalnym charakterze, czy wyglądzie oraz szerszym spektrum funkcjonalnym (tzn. posiadające nie tylko z funkcję retencyjną, ale też biologiczną, krajobrazową, itp.).

Często są to naturalne zbiorniki lub zagłębienia terenowe, przystosowane do oczyszczania ścieków opadowych niewielkim nakładem pracy. Mogą mieć nieregularne kształty, a także nie uszczelnione dno i skarpy. Bardzo ważną rolę w oczyszczaniu pełni roślinność wodna, obficie rosnąca zarówno na brzegach jak i na powierzchni wodnej stawów. Duża powierzchnia i niewielka głębokość czynna pozwala na wytworzenie idealnych warunków do usuwania zanieczyszczeń poprzez sedymentację oraz procesy biologiczne.

W oparciu o te same zasady wymiarowania i zasiedlania roślinnością – można również wykonać stawy całkowicie sztuczne – tzn. od początku do końca wykreowane przez człowieka w miejscu, gdzie ich wcześniej nie było – np. wykorzystując różnego rodzaju wyrobiska. Określenie '**semi**naturalne' oddaje bowiem istotę problemu – czyli podglądanie, naśladowanie procesów i form przestrzennych występujących w naturze, ale w konkretnym miejscu mogących być świadomym wytworem człowieka. Po kilku, czy kilkunastu latach funkcjonowania różnica pomiędzy stawem naturalnym – przystosowanym do funkcji technologicznych, a stawem sztucznym – celowo w danym miejscu wybudowanym przez człowieka – całkowicie się zaciera.

Podobnie jak w zbiornikach – zaleca się wstępne wydzielenie grubszych zanieczyszczeń stałych w osadnikach lub w wydzielonej części wlotowej stawu.



Rys. 2.5. Schemat ideowy stawu retencyjnego [13]

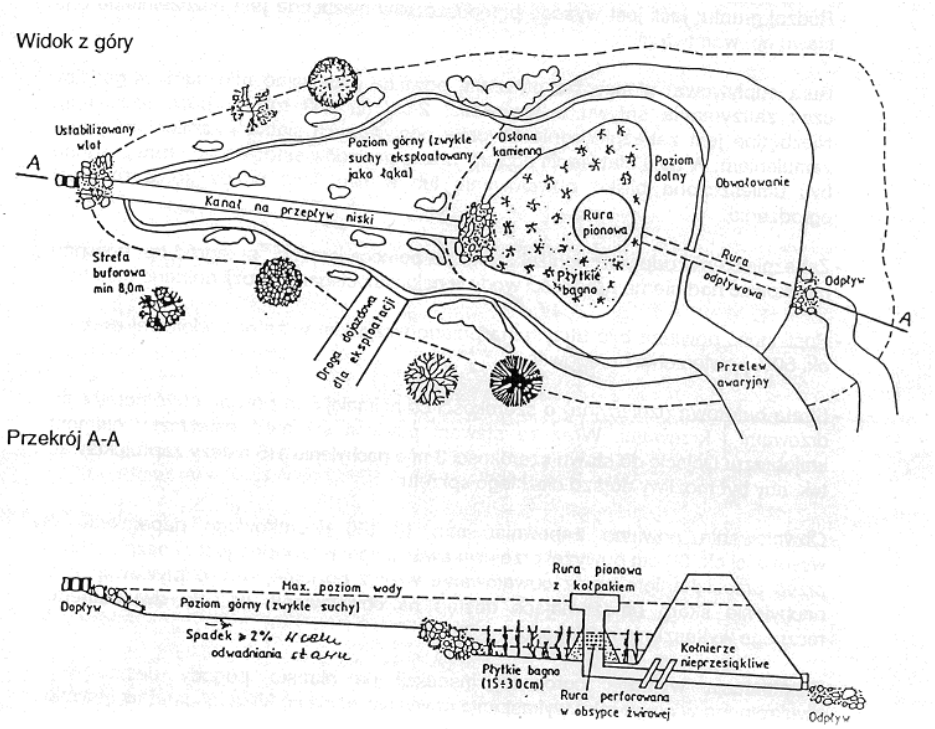
Szczegółowe rozwiązania przestrzenne i funkcjonalne stawów mogą przybierać różne formy, min.:

- Stawów o rozszerzonej retencji (‘suchych’),
- Stawów ze stałą strefą wodną (‘mokrych’)

Wybrane zalecenia projektowe dla stawów o rozszerzonej retencji przedstawiono poniżej:

- zalecane są dwa poziomy retencji, przy czym górna część stawu jest wymiarowana i nachylona (minimum 2%) w ten sposób, by pozostawała sucha, z wyjątkiem okresów dużych spływów, zaś dolna jest zalewana regularnie. zaleca się utrzymanie stałej, płytkiej (15-30 cm) części wodnej w stawie, co przeciwdziała re-sedymentacji zanieczyszczeń zgromadzonych na dnie i zapobiega akumulacji drobnych zanieczyszczeń wokół pionowej rury odprowadzającej. Roślinność wodna pomaga w usuwaniu rozpuszczonych zanieczyszczeń, które nie podlegają osadzaniu;
- zalecana jednostkowa objętość retencyjna wynosi od 125÷250 m^3/ha powierzchni szczelnej odwadnianej drogi [22]. Wartość górna (w połączeniu z zastosowaniem części bagiennej jw.) umożliwia zarówno uzyskanie wysokiego stopnia oczyszczania jak również obniżenia natężenia spływu, a tym samym - przeciwdziałanie erozji dolnego kanału odpływowego podczas większych deszczów;

- zalecany czas retencji 6÷24 godziny, tym większy im lepszy efekt oczyszczania chcemy osiągnąć (optymalny – 24 h godz.) [22]. Dla dużych zlewni -w celu przeciwdziałania erozji dolnych kanałów odpływowych - może wystąpić konieczność zastosowania dłuższego czasu zatrzymania (nawet do 40 godz.);
- urządzenie utrzymujące retencję wymaga szczególnie dokładnego zaprojektowania i wykonania. Otwory utrzymujące retencję w dolnej części stawu mogą ulegać zatykaniu. Otwory w dolnej części pionowej rury wylotowej powinny być chronione siatką lub tkaniną filtracyjną oraz obsypką żwirową lub kamienną o odpowiednio większej średnicy. Konstrukcja rury pionowej musi zapewniać dostępność do czyszczenia;



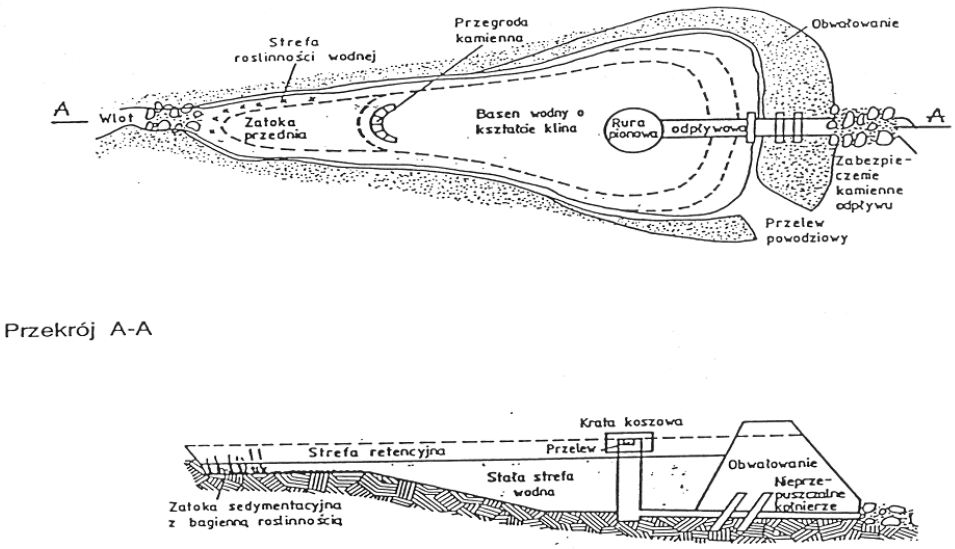
Rys. 2.6. Staw retencyjny o rozszerzonej retencji wg [22]

- kanał doprowadzający wody opadowe do dolnej części stawu winien być wykonany z materiałów o wysokiej odporności na ścieranie (np. kamień, beton, bruk), a przy wlocie do stawu - zakończony nasypem kamiennym lub innym materiałem redukującym prędkość wody i rozprzestrzenianie jej strumienia, co przeciwdziała re-sedymentacji zanieczyszczeń;

- nachylenie skarp stawu powinno wynosić od 1:3 do 1:20 i umożliwiać dostęp sprzętu eksploatacyjnego – np. kosiarek mechanicznych;
- obwałowanie stawu powinno umożliwiać dodatkowe napełnienie o 10÷20% i wznosić się min. 0,5 m ponad przelew awaryjny;
- niezbędne jest zabezpieczenie przed przesiąkaniem wzdłuż poziomej rury odprowadzającej;
- niezbędny jest dojazd do zbiornika (nawierzchnia ustabilizowana np. płytami ażurowymi lub z tworzyw sztucznych, szerokość 3,0 m, nachylenie nie większe niż 1:10) oraz zjazd na dno stawu dla celów konserwacji, z ustabilizowaną nawierzchnią, o szerokości 3 m i nachyleniu nie większym niż 1:5;
- wskazane jest, aby staw otoczyć wkomponowaną w krajobraz strefą buforową (szerokość ok. 8 m), obsadzoną drzewami i krzewami, szczególnie na terenach osiedli i terenach rekreacyjnych;
- stawu nie należy oddawać do eksploatacji przed ustabilizowaniem się górnej części retencyjnej (porost roślinnością).

Wybrane zalecenia projektowe dla stawów ze stałą strefą wodną:

- zalecany kształt klinowy, najwęższy przy wlocie, najszerszy przy obwałowaniu. Minimalny stosunek długości do szerokości powinien wynosić 3:1. Przy szerszych stawach niezbędne są przegrody kamienne powodujące rozprzestrzenianie się strugi wody. Preferuje się nieregularną linię brzegową,
- głębokość średnia: 0,9-1,8 m: przy wlocie najpłycej, przy wylocie najgłębiej. Płytka część brzegowa powinna mieć szerokość około 3 m,
- roślinność powinna być utrzymana przede wszystkim w zatoce wlotowej oraz na około 50% powierzchni brzegowej,
- jeżeli w podłożu występują utwory przepuszczalne niezbędne jest uszczelnienie dna stawu np. warstwą gliny lub innymi materiałami hydroizolacyjnymi umożliwiającymi ukorzenienie roślin (patrz rozdz. 2.3.);
- zabezpieczenie odpływu ze stawu za pomocą kamieni, przegród itp. powinno redukować nadmierne prędkości wody i erozję dolnego kanału,



Rys. 2.7. Zbiornik retencyjny ze stałą strefą wodną wg [22]

- zalecana jednostkowa objętość stałej części wodnej od 125÷280 m^3/ha powierzchni szczelnej odwadnianej drogi. Spotyka się również stawy o większych pojemnościach (np. 450 m^3/ha). Stawy mokre z reguły stosuje się dla zlewni nie mniejszych niż 4 ha [22];
- Czas retencji z reguły wynosi >24 godziny (im dłuższy - tym lepszy efekt oczyszczania), stosowane są nawet stawy o czasie zatrzymania do 2 tygodni [22];
- rura odpływowa powinna być zabezpieczona przed zamuleniem otworów odpływowych (np. siatką i kamieniami). W celu ułatwienia dojścia do urządzeń oraz z powodów estetycznych rura powinna być umieszczona blisko obwałowania lub nawet w nim, lecz wtedy konieczne jest ogrodzenie,
- dojazd do zbiornika, dostępność obwałowań do zabiegów eksploatacyjnych (wykaszanie roślinności), wysokość wolnej burty (ponad poziom przelewu awaryjnego), zabezpieczenie przed przesiąkaniem przez obwałowanie wzdłuż poziomej rury odpływowej, strefa buforowa – zalecenia jak w stawach o rozszerzonej retencji.

c) Zbiorniki retencyjno-infiltracyjne

Zbiorniki retencyjno-infiltracyjne pełnią rolę wyrównawczą natężenia przepływu wód i oczyszczającą (poprzez infiltrację przez warstwę filtracyjną gruntu lub przewody drenarskie). Ze zbiornika retencyjno-infiltracyjnego mogą

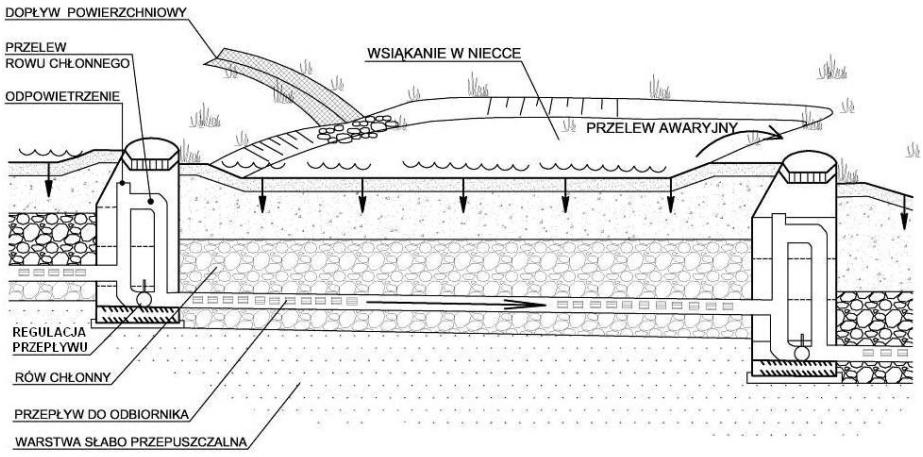
występować dwa wzajemnie uzależnione odpływy - do gruntu i do systemu odwodnienia położonego poniżej lub do odbiornika powierzchniowego.

W granicach dolnych napełnień zbiornika – z reguły występuje wyłącznie odpływ do gruntu. Przy większych napełnieniach może wystąpić odpływ do odbiorników powierzchniowych lub kanalizacji. Jednocześnie – z uwagi na zwiększone ciśnienie – rośnie ilość wód infiltrujących do gruntu.

Wymiarowanie zbiornika w planie – zależy od przepuszczalności gruntu i od ilości wód, które chcemy infiltrować (patrz [13],[32]). Wymiarowanie części retencyjnej – wg nomogramów – jak dla zbiorników retencyjnych.

d) Rozwiązania mieszane

W przypadku rozwiązań odwołujących się do metod seminaturalnych oprócz rozwiązań klasycznych – omówionych powyżej – w praktyce inżynierskiej stosowanych jest szereg kombinacji ww. elementów (przykład – rys. 2.8). Jedynymi ograniczeniami są tutaj warunki przestrzenne i wyobraźnia oraz wiedza projektanta.



Rys. 2.8. Przykład rozwiązania mieszanego – łączącego elementy zbiornika retencyjno-infiltracyjnego oraz filtra pionowego [13]

2.2.3. Inne obiekty hydrofitowe, wetlandy

W literaturze przedmiotu – jako synonim obiektów technicznych z roślinnością hydrofitową wykorzystywanych do oczyszczania i zagospodarowania ścieków – stosowany bywa termin ‘wetlandy’ (patrz Tablica 2.6. tab. 2.5.) pochodzący od anglojęzycznego terminu ‘constructed wetlands’. Przykłady zastosowań wetlandów omówiono poniżej.

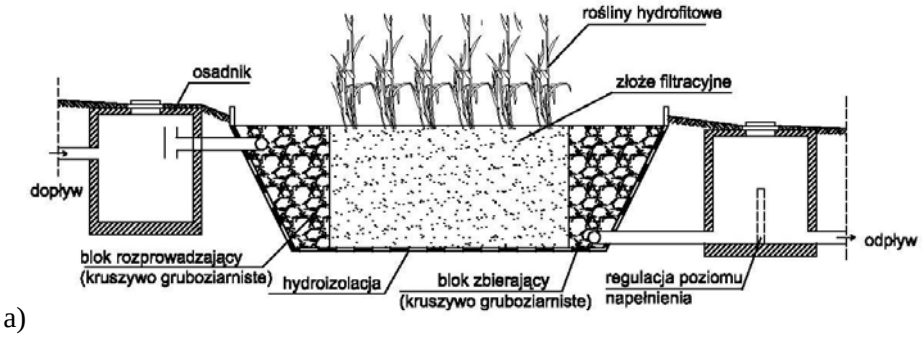
a) Filtry hydrofitowe

Konstrukcje filtrów ze złożem piaskowo-żwirowym porośniętym roślinnością hyrofitową wzorowane na rozwiązaniach hydrofitowych oczyszczalni ścieków można z powodzeniem wykorzystać do pogłębionego oczyszczania ścieków opadowych – zarówno do usuwania drobnych zawiesin, jak też związków ropopochodnych, biogennych, a także metali ciężkich. Stosowane są w nich analogiczne schematy jak przy oczyszczaniu skażonych gleb, czyli metoda fitoremediacji, która wykorzystuje właściwości metaboliczne roślin wyższych oraz metoda bioremediacji związków biogennych i zanieczyszczeń naftowych przez mikroorganizmy i rośliny. W wyniku tych procesów tworzy się ekosystem wzajemnych oddziaływań, w którym rośliny wytwarzają dogodne warunki do rozwoju mikroflory bakteryjnej, a na skutek dopływu produktów naftowych rozwijają się mikroorganizmy zdolne do ich rozkładania. Dotychczas wykryto około 100 gatunków takich mikroorganizmów [19]. Aby zintensyfikować ich rozwój można dodatkowo stosować inokulanty bakteryjne.

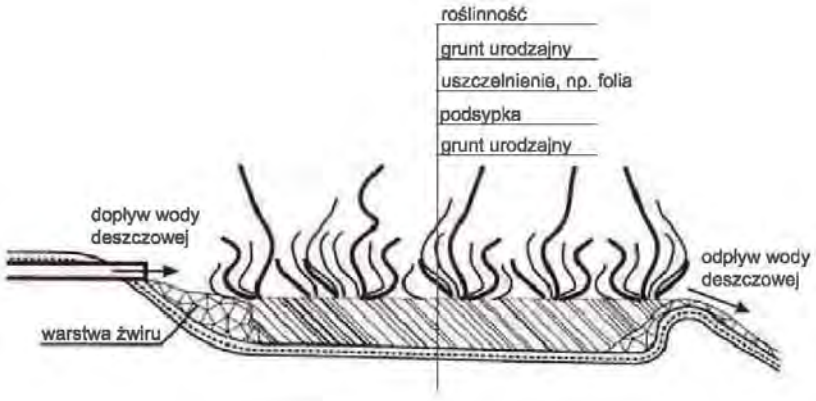
Podstawowym ograniczeniem stosowania fitoremediacji może być zbyt duże stężenie zanieczyszczeń ropopochodnych, nie tolerowane przez rośliny. Jednak w przypadku ich stężeń stwierdzanych w wodach opadowych nie stanowi to zagrożenia, za wyjątkiem sytuacji awaryjnych. Podobna sytuacja występuje z metalami ciężkimi. Rośliny magazynują je w swoich tkankach – usuwając je w ten sposób z wody. Choć potencjalnie szkodliwe – metale ciężkie stwierdzane w wodach opadowych – nie osiągają stężeń nie tolerowanych przez roślinność hydrofitową stosowaną w filtrach.

W filtrach stosuje się rośliny o rozbudowanym systemie korzeniowym - przede wszystkim rośliny wodne (hydrofity) - posiadające zdolność przewodzenia tlenu do korzeni i jego uwalniania do podłoża gruntowego. Przed filtrem należy bezwzględnie podczyścić ścieki mechanicznie (osadnik lub zbiornik retencyjno-sedymentacyjny). W przeciwnym wypadku występuje groźba szybkiej kolmatacji filtra.

Filtry hydrofitowe mogą z powodzeniem zastąpić separator i zadowolić administratorów dróg pod względem wymagań ochrony środowiska – zwłaszcza w przypadku odbiorników chronionych, o zaostrzonych wymaganiach względem zawiesin lub w przypadku innych specyficznych wymagań (usuwanie zanieczyszczeń bakteriologicznych, biogennych, metali, itp.).

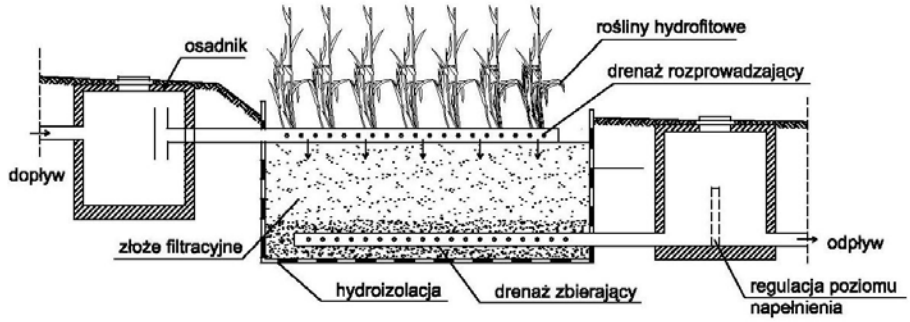


a)



b)

Rys. 2.9. Schematyczny przekrój filtra hydrofitowego o przepływie poziomym a) z budowlą regulacyjną na odpływie; b) konstrukcja uproszczona – tzw. pasaż roślinny[32].



Rys. 2.10. Schematyczny przekrój filtra hydrofitowego o przepływie pionowym

Projektowanie wymaga bardzo starannego doboru wypełnienia filtra pod względem właściwości filtracyjnych gdyż w przypadku ścieków opadowych mamy zazwyczaj do czynienia z wielokrotnie większymi przepływami niż w przypadku oczyszczalni ścieków bytowych. Z uwagi na ograniczoną przepustowość dostępnych wypełnień filtracyjnych – filtry z reguły – współpracują ze zbiornikami retencyjnymi, albo z przelewami burzowymi.

W przypadku współpracy z przelewem burzowym – na filtr hydrofitowy należałoby kierować przepływy pochodzące z opadów o natężeniu 15 $dm^3/(ha \cdot s)$, a tylko nadmiar wody - obejściem do kolejnego obiektu w ciągu technologicznym lub bezpośrednio do odbiornika (patrz przykłady – rys. 2.12.)

Najbardziej popularnym rozwiązaniem konstrukcyjnym są filtry o przepływie poziomym, nazywane również pasażami roślinnymi ([13], [32]). W filtrach wzorowanych na rozwiązaniach stosowanych w oczyszczalniach ścieków – na odpływie z filtra występuje element służący do regulacji poziomu napełnienia (spadku hydraulicznego) – np. w postaci regulowanej zastawki. Pasaże roślinne posiadają konstrukcję uproszczoną, w której poziom napełnienia wyznacza rzędna korony wału odpływowego – bez możliwości regulacji. Przedmiotem wymiarowania hydraulicznego jest odpowiednia powierzchnia przekroju czynnego – zapewniająca filtrację przepływu deszczowego [13],[32].

Wzrastające zastosowanie rozwiązań z filtrami o przepływie pionowym w oczyszczalniach ścieków bytowych oraz towarzyszący im rozwój badań potwierdzających wysoką efektywność działania sprawiają, iż w określonych warunkach można je również rekomendować do podczyszczania ścieków opadowych. Rozwiązania filtrów z przepływem pionowym wymagają dużo większych wysokości dyspozycyjnych (różnica wysokości pomiędzy dopływem a odpływem), pozwalają jednak na uzyskanie znacznie większych wydatków filtracji. gdyż przy tej samej powierzchni urządzenia w planie przekrój czynny jest w tym rozwiązaniu wielokrotnie większy niż w filtrze o przepływie poziomym. Możliwe jest również zastosowanie konstrukcji z okresowym piętrzeniem wody na powierzchni filtra (filtr pełni jednocześnie rolę retencyjną).

W przypadku filtrów z przepływem pionowym znacznie więcej uwagi należy poświęcić rozwiązaniu rozprowadzenia wód po powierzchni filtra. Równomierne rozprowadzenie wód po całej powierzchni – warunkuje skuteczność filtra. Nie można również rezygnować z budowli regulacyjnej na odpływie (tak jak w pasażach roślinnych). Rozwiązania z filtracją pionową wymagają bowiem cyklicznego przewietrzania (całkowite opróżnienie), a w okresach suszy – świadomego (czasowego) podnoszenia poziomu odpływu. celem zapewnienia wody dla potrzeb życiowych roślin.

b) Zbiorniki odparowujące wykorzystujące ewapotranspirację roślin hydrofitowych

Ze względu na nasz klimat i związane z nim niskie parowanie, klasyczne szczelne zbiorniki odparowujące nie spełniają swoich zadań. Ponadto, ich eksploatacja wymaga wielu dodatkowych i uciążliwych czynności, które powodują dodatkowe koszty eksploatacyjne. Wykorzystując metody seminaturalne – można w odczuwalny sposób poprawić bilans wodny zbiorników odparowujących i zintensyfikować ich działanie.

Odpowiednio zasiedlone roślinnością hydrofitową – zbiorniki mogą w okresie wegetacyjnym transpirować od 4 do 8mm wody/d, co w całym sezonie wegetacyjnym odpowiada od 0.96 m do 1.92 m słupa wody [21]. Posługując się pewnym uproszczeniem można założyć, iż dzięki odpowiedniej szacie roślinnej w okresie szczytowym sezonu wegetacyjnego można uzyskać ok. 2.5-krotnie wyższą wysokość parowania w stosunku do wysokości parowania z wolnej tafli wody [3]. W okresie zimowym taka różnica nie występuje, jednak warto pamiętać, iż w Polsce największe wysokości opadów występują właśnie w miesiącach letnich.

Oznacza to realną szansę rozwiązania problemów z przepełniającymi się, nieskutecznymi zbiornikami parującymi poprzez ich przebudowę na obiekty seminaturalne - wykorzystujące ewapotranspirację roślin.

c) Inne możliwości wykorzystania obiektów hydrofitowych w drogownictwie

Obiekty hydrofitowe (wetlandy) ze względu na swoje specyficzne właściwości (szerokie spektrum usuwanych zanieczyszczeń, odporność na wahania składu i ilości ścieków, itp.) wydają się być ogromna szansą również dla rozwiązania problemów oczyszczania ścieków z miejsc obsługi podróżnych (MOP) – szczególnie z szaletów publicznych na parkingach oraz innych obiektów utrzymania dróg i autostrad (obwody utrzymania dróg, miejsca poboru opłat, itp.) – w tym również ścieków przemysłowych (np. z myjni). Z uwagi na tematykę niniejszej publikacji ograniczoną do zagadnień odwodnienia pasa drogowego – autorzy jedynie sygnalizują możliwości innych zastosowań.

2.2.4. Gatunki roślin stosowanych w metodach seminaturalnych

Jednym z ważniejszych czynników odpowiadających za skuteczne działanie urządzeń wykorzystujących metody seminaturalne jest roślinność. Rodzaj i ilość roślin jest limitowana warunkami, jakie należy stworzyć, aby skutecznie eliminować zanieczyszczenia. Zaleca się stosowanie roślin wodnych oraz gatunków traw, które wykazują zdolność do biodegradacji i akumulowania zanieczyszczeń (metale ciężkie, związki ropopochodne) oraz odpornych na zwiększone zasolenie i związki ropopochodne. Są to rośliny nie wymagające dużych zabiegów pielęgnacyjnych, nie

ma zatem problemów z ich rozrostem; trawy należy tylko kosić, a większe rośliny przycinać przynajmniej 2 razy w roku.

W tablica 2.3 podano ważniejsze gatunki traw oraz roślin wodnych, jakie zaleca się do stosowania w metodach seminaturalnych.

Tablica 2.3. Trawy i rośliny wodne stosowane w seminaturalnych systemach oczyszczania [8]

	Nazwa rośliny	Rodzaj urządzenia			
		Zbiornik, staw	Filtry	Oczyszczalnie hydro botaniczne	Rowy i powierzchnie trawiaste
Rośliny wodne i wodolubne	manna mielec *(Gliceria maksima)*	+	+	+	
	tatarak zwyczajny *(Acorus calamus)*	+		+	
	trzcina pospolita *(Phragmites australis)*	+	+	+	
	strzałka wodna *(Sagittaria sagitifolia)*	+		+	
	oczeret jeziorny, sitowie jeziorne *(Schoenoplectus lacustri Scirpus lacustris)**	+		+	
	pałka szerokolistna *(Typha latifolia)*	+	+	+	
	pałka wąskolistna *(Typha angustifolia)*	+	+	+	
	turzyca sztywna *(Caricetum hudsonie)*		+	+	
	sit *(Juncus)*		+	+	
	rzęsa drobna *(Lemna minor)*	+		+	
	kosaciec żółty *(Irys pseudoacornus)*	+		+	
	wierzba *(Salix)*	+		+	
Trawy	mietlica olbrzymia *(Agrostis gigantea)*				+
	kostrzewa czerwona *(Festuca rubra)*				+
	grzebienica pospolita *(Cynosurus cristata)*				+
	życica trwała *(Lolium perenne)*				+
	wiechlina cebulkowata *(Poa bulbosa)*				+
	wiechlina zwyczajna *(Poa trivialis)*				+
* obydwie nazwy gatunkowe występują w literaturze równolegle[34], [29]					

Istniejące na polskich drogach zbiorniki podczyszczające wody opadowe, praktycznie nie są obsadzane roślinnością. Skutkuje niewykorzystaniem zdolności oczyszczających roślin, jak również możliwości tworzenia naturalnych ekosystemów wodnych polepszających walory krajobrazowe. W przypadkach, gdy

uwarunkowania przestrzenne na to pozwalają – warto sięgać po rozwiązania seminaturalne.

Niejednokrotnie natura sięga po nie sama i obiekty pierwotnie do tego nie przeznaczone samoczynnie porastają szatą roślinną. W innych przypadkach w obiektach obsadzonych określonymi gatunkami roślin z czasem zmienia się skład gatunkowy szaty roślinnej, która dostosowuje się do lokalnych warunków. Taką naturalną sukcesję roślinności (z nielicznymi wyjątkami) należy uznać za zjawisko pozytywne. (Wyjątki dotyczą sytuacji, gdy zmiana szaty roślinnej jest spowodowana zaniedbaniami eksploatacyjnymi – np. brakiem dopływu wody do części obiektów z powodu kolmatacji przewodów i wtórnym zalądowieniem akwenu.)

2.2.5. Wybór metody i ocena skuteczności oczyszczania

Stosowanie systemów naturalnych do oczyszczania wód opadowych w pełni zapewnia dotrzymanie standardów normatywnych dla odprowadzania ścieków opadowych do wód i gruntów. Potwierdzają to wyniki badań przeprowadzonych przez szereg ośrodków naukowych (tablica 2.4, tablica 2.5 oraz tablica 2.6.).

Tablica 2.4. Skuteczność usuwania zanieczyszczeń ze ścieków deszczowych z dróg uzyskiwana w seminaturalnych systemach oczyszczania

Autor	Typ urządzenia	Skuteczność usuwania [%]							
		Zawiesina ogólna	Substancje ropopochodne	Metale ciężkie	Ołów	Cynk	ChZT	BZT_5	Fosfor ogólny
EPA [11]	systemy infiltracyjne	81	62	-	67	71	67	-	-
Barret M. E. i In.[2]	infiltracja powierzchniowa	87	-	-	41	91	61	-	-
Thomas R., Schueler [35]	rowy i powierzchnie trawiaste	40-80	-	20-60	-	-	20-60	20-60	20-60
	rowy infiltracyjne	60-100		60-100	-	-	60-80	60-80	40-60
	stawy, zbiorniki retencyjno-infiltracyjne	60-100	-	60-80	-	-	60-80	60-80	40-60
	zbiorniki infiltracyjne	60-100	-	60-100	-	-	60-80	60-80	40-60

Tablica 2.5 Porównanie skuteczności działania wybranych naturalnych metod zagospodarowania-oczyszczania spływów opadowych [37]

Typ obiektu	Sprawność oczyszczania	Czas działania lata	Stosowa-lnośc	Klimat	Eksploa-tacja	Koszty porównawcze
nawierzchnie porowate (infiltracyjne)	średnia / wysoka	>20	mała	zimny	trudna	średnie
rowy trawiaste	mała /średnia	>20	średnia	jałowy /zimny	łatwa	niskie
rowy infiltracyjne	średnia	5	mała	jałowy /zimny	trudna	niskie
Baseny (zbiorniki) infiltracyjne	średnia	5	mała	jałowy /zimny	trudna	średnie
stawy suche	średnia	>20	wysoka	jałowy /zimny /wilgotny	łatwa	niskie
stawy mokre	wysoka	>20	wysoka	jałowy /wilgotny	średnia	Średnie /wysokie
Wetlandy	wysoka	>20	mała	jałowy /wilgotny	średnia	wysokie

Tablica 2.6. Zakres stosowania wybranych urządzeń infiltracyjnych [30]

Źródło powstawania spływu opadowego	**Sposób odprowadzania do gruntu**				
	Powierzchnie trawiaste	Niecki, muldy	Zbiorniki infiltracyjne		Studnie chłonne, rowy chłonne, dreny
			Małe obciążenie Fzr:Fs<15:1	Duże obciążenie Fzr:Fs>15:1	
małe parkingi (ograniczone wykorzystanie)	+++	+++	+++	++	+
parkingi o intensywnym wykorzystaniu	+++	++	++	++	+
drogi o natężeniu ruchu 2000 pojazdów na dobę	+++	+++	+++	++	+

Źródło powstawania spływu opadowego	**Sposób odprowadzania do gruntu**				
	Powierzchnie trawiaste	Niecki, muldy	Zbiorniki infiltracyjne		Studnie chłonne, rowy chłonne, dreny
			Małe obciążenie Fzr:Fs<15:1	Duże obciążenie Fzr:Fs>15:1	
drogi o natężeniu ruchu od 2000 do 15000 pojazdów na dobę	+++	+++	+++	++	+
drogi o natężeniu ruchu >15000 pojazdów na dobę	+++	++	++	++	+

+++ na ogół dopuszczalne

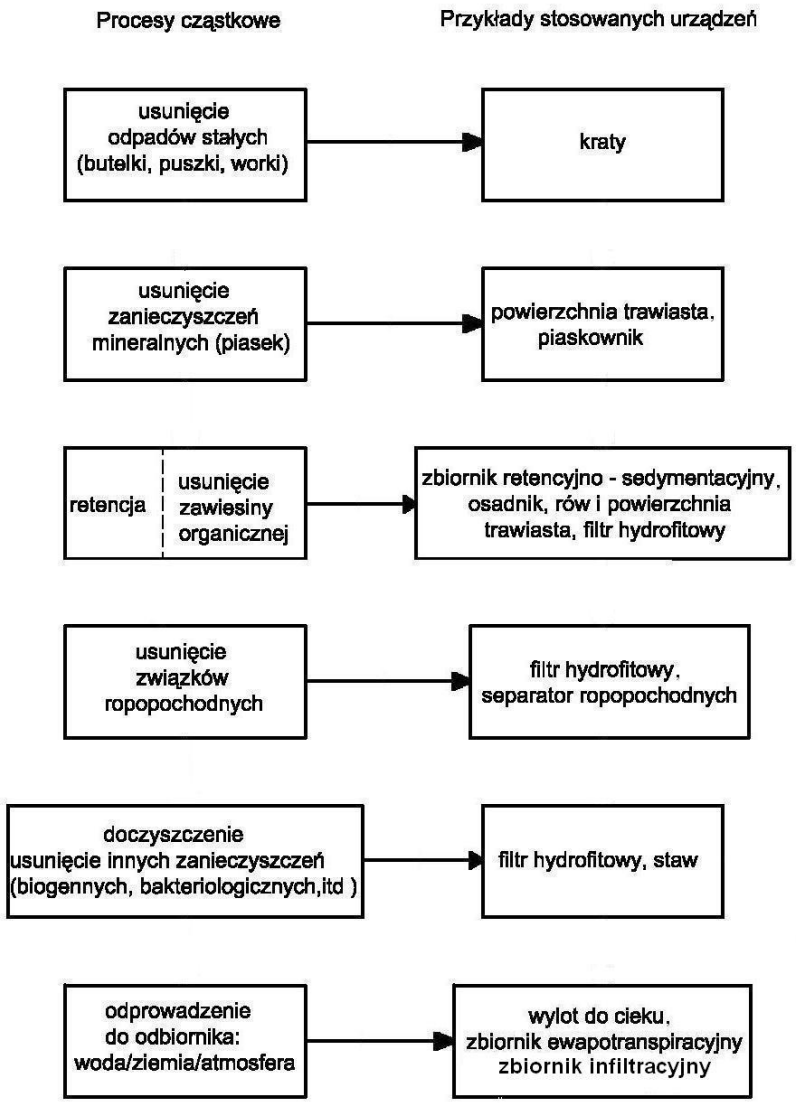
++ na ogół dopuszczalne z możliwością usunięcia zanieczyszczeń lub

\+ dopuszczalne w wyjątkowych przypadkach

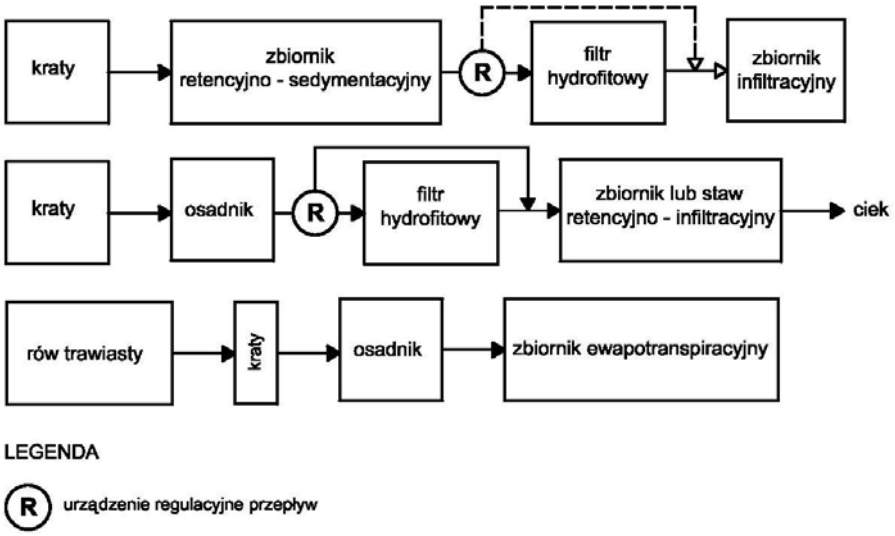
Fzr – powierzchnia zredukowana zlewni

Fs – powierzchnia zbiornika infiltracyjnego

O wyborze typu urządzenia do seminaturalnego oczyszczania wód opadowych zawsze powinien decydować konkretny układ inżynierskо-środowiskowy, czyli droga i istniejące wokół niej warunki ekoinżynierskie. Podstawowy schemat możliwych rozwiązań, niezbędnych dla oczyszczenia wód pochodzących z odwodnienia pasa drogowego pokazano na rys. 2.11 a na rys. 2.12 – przykłady konfiguracji ciągów technologicznych wykorzystujących obiekty seminaturalne.



Rys. 2.11. Przykładowy schemat sposobów oczyszczania wód opadowych z pasa drogowego



Rys. 2.12. Schematy przykładowych układów do oczyszczania wód opadowych z wykorzystaniem metod seminaturalnych

2.2.6. Podstawowe zasady eksploatacyjne

Urządzenia oczyszczające, aby w pełni spełniały swoją rolę i efektywnie zmniejszały obciążenie środowiska naturalnego zanieczyszczeniami, należy właściwie eksploatować. Prace eksploatacyjne powinny obejmować:

a) rowy i powierzchnie trawiaste

- koszenie trawy i chwastów na poboczach, skarpach i rowach,
- usuwanie namułów gromadzących się najczęściej po ulewnych opadach,
- likwidowanie uszkodzeń konstrukcyjnych rowów, powstających m.in. wskutek erozji wodnej,
- w okresie wiosennym zapewnianie spływu wody z jezdni poprzez wykonywanie przecinek w śniegu na poboczach i usuwanie śniegu z poboczy w miejscach powodujących podtopienia,
- w okresie zimowym usuwanie śniegu z poboczy,
- systematyczne usuwanie nagromadzonych odpadów (puszki, butelki, opakowania foliowe itp.) i osadów;

b) rowy szczelne

- usuwanie nagromadzonych osadów, jak również odpadów;

c) zbiorniki infiltracyjne

- czyszczenie zbiornika i kontrola jego stanu,
- utrzymanie zieleni poprzez koszenie traw i roślin wodnych,
- usuwanie nagromadzonego osadu w miarę potrzeb (doświadczenia istniejących obiektów wskazują na okres co 3-5 lat), ale zaleca się aby grubość osadów nie przekraczała 10-20 cm; w czasie usuwania osadu nie wolno naruszyć projektowanego dna (zalecany reper z poziomem odniesienia do dna oryginalnego),
- wymiana zanieczyszczonych warstw filtracyjnych w zależności od wyników badań,
- w ramach regeneracji zbiornika można przeorać jego dno;

d) zbiorniki retencyjno-infiltracyjne, stawy

- inspekcja co najmniej 2 razy w roku po okresie pogody deszczowej,
- kontrola stanu technicznego dopływów i odpływów, oczyszczanie, udrażnianie,
- kontrola ilości osadów,
- usuwanie osadów w przypadku przekroczenia wartości dopuszczalnej (¼ pojemności przeznaczonej na jego magazynowanie); w czasie usuwania osadu nie wolno naruszyć projektowanego dna (zalecany reper z poziomem odniesienia do dna oryginalnego),
- usuwanie i pielęgnowanie roślinności (dla stawów mokrych i suchych - 2-krotne wykaszanie trawy w ciągu roku);

e) studnie i rowy chłonne, układy drenarskie

- usuwanie powłoki uszczelniającej i warstwy nagromadzonego osadu,
- utrzymanie drożności wlotu do studni,
- konserwacja urządzeń podczyszczających,
- wymiana warstw filtracyjnych,
- czyszczenie studzienek kontrolnych i ewentualne płukanie przewodów drenarskich;

f) Filtry hydrofitowe, zbiorniki ewapotranspiracyjne

- regularne usuwanie osadów z urządzeń sedymentacyjnych poprzedzających filtr/zbiornik,
- okresowa inspekcja – 2 razy w roku,
- kontrola stanu technicznego elementów przepływowych i rozprowadzających wodę,

- kontrola drożności filtra – obserwacja pracy w czasie opadów (czy urządzenie przepuszcza wodę, czy nie występują lokalne podpiętrzenia), w razie potrzeby wymiana zakolmatowanej warstwy złoża filtracyjnego (dot. filtr hydrofitowych),
- kontrola akumulacji osadów resztkowych w obiekcie, w razie potrzeby – odmulanie do poziomu dna projektowanego (dot. zbiorników ewapotranspiracyjnych),
- kontrola stanu obwałowań, likwidacja szkód po gryzoniach,
- pielęgnacja roślinności, usuwanie roślin obumarłych, w razie potrzeby uzupełnianie ubytków.

Przykłady niektórych urządzeń wraz z widocznymi problemami eksploatacyjnymi przedstawiono na fot. 2.1 - fot. 2.8.

Fotografie fot. 2.9 – fot. 2.13 przedstawiają przykłady zrealizowanych obiektów seminaturalnych.

Fot. 2.1. Utrudniony dopływ wody rowem szczelnym do piaskownika i separator

Fot. 2.2. Zatkany wlot do piaskownika i separatora

Fot. 2.3. Rów szczelny, który niedługo przekształci się w rów trawiasty

Fot. 2.4. Brak urządzeń do wyłapywania zawiesin oraz większych odpadów

Fot. 2.5. Staw filtracyjny - zła eksploatacja powodująca eutrofizację zbiornika

Fot. 2.6. Staw infiltracyjny - brak roślinności wodnej

Fot. 2.7. Dopływ do stawu infiltracyjnego z roślinnością wodną - przykład dobrego rozwiązania, gdyby nie brak krat i osadnika przed zbiornikiem

Fot. 2.8. Oczyszczalnia roślinno-stawowa jako przykład do zastosowania przy MOP

Fot. 2.9. Staw infiltracyjny suchy [39]

Fot. 2.10. Staw infiltracyjny z roślinnością

Fot. 2.11. Budowa stawu o rozszerzonej retencji z groblami filtracyjnymi – Bielkowo, woj. pomorskie

Fot. 2.12. Rów infiltracyjny - droga Lublin-Dorohusk

Fot. 2.13. Rozwiązanie mieszane – połączenie stawu retencyjno-infiltracyjnego z filtrem pionowym

2.3. Przegrody i bariery hydroizolacyjne

W obszarach ochronnych ujęć wód podziemnych, obszarach chronionych źródlisk lub innych obszarach wrażliwych na skażenia substancjami wytwarzanymi podczas użytkowania dróg (przykłady – rozdział 3.) - kluczową kwestią ekologiczną przy budowie dróg staje się umiejętne zastosowania barier (przegród) hydroizolacyjnych chroniących grunty i wody gruntowe przed rozprzestrzenianiem się zanieczyszczeń, których nośnikiem są wody opadowe.

Najróżniejszego rodzaju przegrody i bariery będą stosowane w konstrukcjach rowów odwadniających, stawów i zbiorników retencyjnych, osadników, czy zbiorników ewapotranspiracyjnych.

Wśród najczęściej stosowanych przegród hydroizolacyjnych można wyróżnić:

przegrody naturalne;

- warstwy naturalnych skał ilastych,
- przesłony gruntowo-bentonitowe, czyli warstwy naturalnych skał ilastych, których parametry zostały ulepszone poprzez dodanie domieszki bentonitu,

bariery geosyntetyczne:

- maty bentonitowe – bentomaty (zwane również geosyntetycznymi barierami iłowymi),
- geomembrany (zwane także geosyntetycznymi barierami polimerowymi),
- geosyntetyczne przesłony kompozytowe – przegrody mieszane (zwane geokompozytami).

W kolejnych podrozdziałach przedstawiono bardziej szczegółową systematykę.

2.3.1. Przegrody naturalne

a) Warstwy naturalnych skał ilastych

Skały ilaste są popularnymi skałami osadowymi, zbudowanymi głównie z minerałów ilastych o średnicy poniżej 0.002 mm, takich jak: kaolinit, montmorylonit i illit oraz kwarcu, skaleni, łyszczyków i substancji organicznej. Minerały ilaste mają zdolność do adsorbowania na swojej powierzchni cząstek wody. Jest to woda słabo związana (błonkowata), której ilość zależy od składu granulometrycznego oraz mineralnego skały i wynosi od 1 % (w piaskach gliniastych) do 45 % (w iłach).

Surowce ilaste znajdują powszechne zastosowanie w ochronie środowiska. Wykorzystując zdolności sorpcyjne minerałów ilastych można skutecznie ograniczyć negatywny wpływ toksyn wytwarzanych przez człowieka i ich migrację w środowisku przyrodniczym. Warstwa ilasta tworzy z jednej strony skuteczny ekran zabezpieczający przed migracją zanieczyszczeń (bardzo niskie współczynniki filtracji), a z drugiej - pozwala na zatrzymanie ewentualnych zanieczyszczeń, jakim udało się przedostać w obręb iłu. Zanieczyszczenia są zatrzymywane pomiędzy ziarnami gruntu lub w obszarach międzywarstwowych, gdzie ulegają sorpcji, reakcjom rozkładu chemicznego lub rozkładu wywołanego przez szczepy bakterii.

W zależności od dominującego minerału wyróżniamy następujące odmiany iłów: kaolinitowe, montmorylonitowe, illitowe i solne. Specyficzną odmianą iłów są iły warwowe, wykształcone w postaci naprzemianległych, jaśniejszych i ciemniejszych warstewek o grubości kilku milimetrów.

Iły w stanie suchym tworzą spoisty i twardy agregat mineralny, który nie daje się łatwo rozcierać. Chłonąc wodę stają się jednak plastyczne (dają się łatwo formować), a silnie nawodnione przechodzą w stan płynny (tworzą zawiesinę). Poddane wysychaniu ponownie trącą plastyczność i przechodzą stopniowo w stan zwarty. Procesy te powodują, że iły są zaliczane do tzw. gruntów ekspansywnych, co oznacza wyraźną zmianę konsystencji w zależności od wilgotności i temperatury; przy zwiększonej wilgotności pęcznieją, a przy wysychaniu – kurczą się. Dlatego też wykonanie przesłon hydroizolacyjnych z iłów wymaga szczególnej staranności celem uzyskania jak największej szczelności. Zawsze należy liczyć się z możliwością spękania warstwy ilastej w okresie suszy i tym samym – jej rozszczelnieniem oraz zmianą objętości wskutek ekspansywności gruntu. Z tego też powodu, przy budowie elementów systemu odwodnienia i retencji odcieków, np. zbiorników odparowujących lub elementów zbiorników chłonnych, zalecane jest wykonanie – oprócz przegród naturalnych – dodatkowej przegrody geosyntetycznej (patrz rozdz. – 2.3.2.)

b) Przesłony gruntowo-bentonitowe

W przypadku występowania w podłożu warstwy naturalnych skał ilastych o niejednorodnych parametrach uszczelniających, albo różnej lub niewystarczającej miąższości – aby uzyskać wymagane parametry – można zastosować tzw. przesłonę gruntowo-bentonitową. W praktyce oznacza to wymieszanie w odpowiedniej proporcji gruntu rodzimego z bentonitem.

Bentonit jest skałą ilastą, która zawiera minerały z grupy smektytów, w tym głównie montmorylonit (sodowy, wapniowy lub magnezowy) oraz kwarc, skalenie i biotyt. Bentonit zawierający montmorylonit sodowy wykazuje silne zdolności pęcznienia; może adsorbować nawet 9 razy więcej wody niż sam waży i zwiększać swoją objętość 25 – 30-krotnie. Po nasyceniu wodą uzyskuje dużą powierzchnię

właściwą (do 800 m^2/g) i tym samym stanowi szczelną barierę dla filtracji wody ($k=10^{-11}$ m/s), jest bardzo plastyczny i odporny na przełamanie, rozerwanie i ścinanie. Swoje właściwości zachowuje także podczas wielokrotnych zmian wilgotności; od całkowitego wysuszenia po ponowne nawodnienie. Jest również odporny na działanie niskich temperatur.

Wykonanie przesłony gruntowo-bentonitowej powinno być poprzedzone projektem technologicznym zawierającym wszystkie szczegółowe dane niezbędne do jej właściwego wykonania. Projekt taki może wykonać laboratorium gruntoznawcze – na podstawie odpowiednich badań (min. uziarnienia, wilgotności , stopnia zagęszczenia gruntu, przewodnictwa hydraulicznego gotowej mieszanki itd.).

Przesłony wykonuje się metodą *in situ* – czyli bezpośrednio w terenie, w miejscu prowadzonych prac uszczelniających; lub w specjalnym węźle mieszalniczym, skąd gotową mieszankę dowozi się na plac budowy.

Fot. 2.14. Worki bentonitu rozłożone na powierzchni gruntu z regularnością, odpowiadającą jednostkowej dawce bentonitu

W przypadku metody *in situ* – dla zachowania wymaganej receptury wskazane jest odpowiednie rozłożenie worków z bentonitem na całej uszczelnianej powierzchni (fot. 2.14.) – w proporcji odpowiadającej dawce wg projektu technologicznego. Przykładowo, jeśli dawka wynosi 25 kg/m^2, a bentonit jest dostarczany w workach 50 kg, łatwo obliczyć, że jedno opakowanie przypadnie na powierzchnię 2 m^2, a np. 200 worków na powierzchnię 400 m^2. Do mieszania bentonitu stosuje się specjalne mieszarki lub zwykły sprzęt rolniczy. Warstwę bentonitu nanosi się na grunt uprzednio przygotowany (odpowiednio spulchniony, nawilżony – wg projektu), a po uformowaniu warstwy mieszanki – należy ją zagęścić do wskaźnika zagęszczenia I_S określonego w projekcie (zazwyczaj $I_S > 0{,}95$).

W węzłach mieszalniczych wykorzystuje się zarówno sprzęt specjalistyczny, jak również odpowiednio zaadaptowane urządzenia w węzłów betoniarskich. Typowy zestaw mieszalniczy składa się z dwóch zasobników na grunt i jednego na bentonit oraz taśmociągu, gdzie dozowane są poszczególne składniki w odpowiednich proporcjach (fot. 2.15). Dokładne dozowanie składników (gruntu, bentonitu oraz wody) i staranne ich wymieszanie prowadzi do uzyskania homogenicznej masy o żądanych parametrach.

Fot. 2.15. Zestaw typowego węzła mieszalniczego

Przygotowana mieszanka przewożona jest samochodami na miejsce wbudowania, gdzie zostaje rozprowadzana po powierzchni przy użyciu np. typowej układarki mas bitumicznych lub powszechnie stosowanego sprzętu do robót ziemnych, jak np. spycharki lub równiarki. Analogicznie jak w metodzie *In situ* – mieszanka powinna być zagęszczona do uzyskania wskaźnika zagęszczenia I_S określonego w projekcie.

Wszystkie parametry zagęszczania powinny być na bieżąco kontrolowane i korygowane.

Mieszanie gruntu z bentonitem bezpośrednio w terenie (*in situ*) jest z reguły korzystniejsze ze względów ekonomicznych, natomiast produkowanie mieszaniny w węźle mieszalniczym jest bardziej precyzyjne i skuteczniejsze pod względem technologicznym.

Miejsca styku przesłony z przenikającymi ją elementami, takimi jak przepusty rurowe, przewody instalacyjne oraz ściany lub stopy fundamentowe należy dodatkowo uszczelnić poprzez wykonanie w gotowej przesłonie bruzdy o szerokości i głębokości około 0,1 m oraz wypełnienie jej czystym bentonitem lub mieszanką gruntowo-bentonitową o stosunku 4:1 (4 części gruntu na jedną część bentonitu). Na wykonanej przesłonie bentonitowo-gruntowej powinna zostać ułożona warstwa kruszywa lub gruntu o grubości 0,15÷0,45 m, chroniąca ją przed erozją

powierzchniową i wysychaniem. Warstwę ochronną należy wykonać bezpośrednio po wykonaniu przesłony.

2.3.2. Bariery geosyntetyczne

Do języka inżynierskiego na trwałe weszły i są powszechnie stosowane takie terminy jak: geotekstylia, geomembrany, maty bentonitowe. Mając na uwadze tę powszechną praktykę również autorzy niniejszego rozdziału korzystają z tego słownictwa. Należy jednak zwrócić uwagę, iż w norma PN-EN ISO 10318:2007 [45] posługuje się innymi terminami, które poniżej przytoczono.

Bariera geosyntetyczna (GBR) – jest to wyrób geosyntetyczny o małej przepuszczalności, stosowany w geotechnice i budownictwie, w celu uniemożliwienia lub ograniczenia swobodnego przepływu płynów przez konstrukcję.

Norma wyróżnia 3 podstawowe rodzaje barier geosyntetycznych:

- geosyntetyczna bariera iłowa GBR-C (bentomata*) - łączona w zakładzie produkcyjnym konstrukcja z wyrobów geosyntetycznych w formie arkusza, która pełni rolę bariery, przy czym funkcję bariery zasadniczo pełni materiał iłowy,
- geosyntetyczna bariera polimerowa GBR-P (geomembrana*) - łączona w zakładzie produkcyjnym konstrukcja z wyrobów geosyntetycznych w formie arkusza, która pełni rolę bariery, przy czym funkcję bariery zasadniczo pełnią wyroby polimerowe,
- geosyntetyczna bariera bitumiczna GBR-B - łączona w zakładzie produkcyjnym konstrukcja z wyrobów geosyntetycznych w formie arkusza, która pełni rolę bariery, gdzie funkcję bariery zasadniczo pełni wyrób bitumiczny.

[* - nazwy popularne – dopisek autora]

Szczegółowe informacje na temat systematyki wyrobów geosynteteycznych są zawarte w zeszycie PG-6 [28].

W drogownictwie najczęściej stosowane są bariery iłowe (GBR-C) lub polimerowe, (GBR-P) rzadziej bitumiczne (GBR-B). Rodzaj bariery oraz jej odmiana powinny być dostosowane do wymagań szczelności, rodzaju i ilości przewidywanych zanieczyszczeń a także warunków wykonania (pora roku, temperatury, nachylenia, itp.). Na rynku pojawiły się również wyroby łączące w sobie kilka z ww. rozwiązań podstawowych – tzw. **geosyntetyczne przesłony kompozytowe** (patrz pkt. c)

a) Maty bentonitowe

Wśród barier typu GBR-C największą popularność zyskały tzw. maty bentonitowe - produkowane na bazie bentonitu oraz geosyntetyków stanowiących jego nośnik. Do ich produkcji stosuje się uszlachetniony bentonit, w którym - przy pomocy polimerów i dyspergatorów - doprowadzono do neutralizacji ładunków dodatnich zgromadzonych na krawędziach struktury krystalicznej i spowodowano wzrost odporności skały na zanieczyszczenia. Uszlachetniony bentonit wykazuje większą podatność na adsorpcję wody i pęcznienie, a tym samym – lepiej spełnia rolę hydroizolacyjną.

Maty bentonitowe, stosowane w budownictwie ziemnym składają się zazwyczaj z trzech elementów: warstwy bentonitu oraz dwóch warstw geotekstyliów. (Dodatkowo mogą być laminowane geomembraną – patrz pkt c).

W zależności od zastosowanej technologii, można je podzielić na trzy podstawowe rodzaje: klejone, przeszywane i igłowane. Znane są też technologie mieszane. W matach klejonych trzy komponenty maty łączone są w jednolity produkt za pomocą kleju (dodanego do bentonitu) oraz poprzez walcowanie. W matach przeszywanych bentonit układa się na jednym z geosyntetyków, przykrywa drugim i całości przeszywa się ściegiem podłużnym.

Współcześnie są wytwarzane głównie maty igłowane. Zespolenie poszczególnych warstw w jednorodny wyrób zapewnia proces igłowania, polegający na zaczepianiu specjalnymi igłami włókien ze spodniej warstwy (włókniny) i przeciąganiu ich przez warstwę bentonitu aż poza wierzchnią warstwę (tkaninę), przez co osiąga się wzajemne powiązanie geotekstyliów oraz zamknięcie i ściśnięcie bentonitu. Maty igłowane produkowane są również na bazie pyłów bentonitowych, umieszczonych między dwoma warstwami geotekstyliów. Niekiedy mata igłowana jest produkowana poprzez mechaniczne nasycenie pyłami (wtrzepywanie) tylko jednej warstwy geosyntetyków. Tego typu maty są tańsze, ale niestety mają wady: muszą być okrywane gruntem niemal natychmiast po ułożeniu maty i nie mogą być stosowane na powierzchniach stromo nachylonych i pionowych. Technologia produkcji znacząco wpływa na sposób układania i walory wykonanej przesłony izolacyjnej. Silne igłowanie oraz zastosowanie granulatu zapobiega przesypywaniu się bentonitu w płaszczyźnie maty, jego wysypywaniu się oraz znacznemu pęcznieniu w trakcie hydratacji. Na matach tego typu nie ma potrzeby wykonywania ochronnych warstw okrywających natychmiast po ułożeniu maty i dlatego ich układanie jest znacznie wygodniejsze.

Specyficzna budowa mat bentonitowych – łącząca zalety naturalnych minerałów z osiągnięciami przemysłu tworzyw sztucznych (w szczególności mat igłowanych) – sprawia, iż w chwili obecnej jest to najbardziej uniwersalne i trwałe

rozwiązanie o bardzo wysokich parametrach hydroizolacyjnych (patrz tab. 2.6.), warte stosowania w budownictwie drogowym.

Ze względu na parametry technologiczne, maty tego typu mogą być układane bez względu na warunki atmosferyczne.

W matach igłowanych maksymalna zmiana pod wpływem uwodnienia wynosi zaledwie 3-5 mm, podczas gdy klejone geomaty bentonitowe lub maty słabo igłowane pęcznieją nawet do 15 mm. Jedną z ciekawszych cech igłowanych mat bentonitowych jest ich **odporność na uszkodzenia mechaniczne i zdolność do samo uszczelniania**. Dzięki pęcznieniu bentonitu – przestrzeń wokół uszkodzenia (np. przebicia gwoździem) wypełnia się, a bentonit szczelnie przylega do ciała obcego będącego sprawcą uszkodzenia (przykładowy gwoździ). Dzięki powyższym właściwościom w matach bentonitowych nie występują perforacje, których nie sposób uniknąć podczas montażu geomembrany.

Mata bentonitowa hamuje naturalny wzrost korzeni roślin; po dojściu do przegrody skręcają one i pełzną po jej powierzchni, a w strukturę maty wnikają jedynie korzonki włoskowate, nie obniżając jednak jej skuteczności hydraulicznej. Przy doborze roślin porastających obiekty odwadniające uszczelnione matą bentonitową należy pamiętać, iż w takich warunkach dobrze rozwijać się będą wszystkie gatunki płytko ukorzenione (np. trawy), natomiast znacznie gorzej - drzewa i krzewy.

Ze względu na wysokie ciśnienie pęcznienia, mata bentonitowa tworzy po uwodnieniu spójną i jednorodną barierę hydrauliczną, skuteczniejszą niż warstwa gruntu rodzimego (ilastego), w której zawsze może dojść do spękań spowodowanych wysychaniem gruntu i obecnością słabych wiązań strukturalnych. Mata bentonitowa wykazuje większą odporność na nierównomierne osiadanie podłoża, zachowując ciągłość struktury i funkcje hydrauliczne nawet przy znacznych jego przemieszczeniach.

Ze względu na ścinanie gruntu wzdłuż powierzchni izolacji, maty bentonitowe można stosować do uszczelnień skarp o większym nachyleniu niż w przypadku geomembran (nawet uszorstnionych). Wielkość kąta tarcia wewnętrznego decydująca o podatności na ścinanie – zależy od rodzaju materiału na styku z matą. Wśród naturalnych podłoży mineralnych w badaniach wykonanych w warunkach uwodnienia maty bentonitowej największą stateczność wykazywały styki maty z pospółką (37÷40º), grysem kwarcytowym oraz piaskiem i (38÷44º) [40].

W zagadnieniach związanych z odwodnieniem pasa drogowego - maty bentonitowe znajdą zastosowanie do uszczelnień wielu obiektów, min.:

- rowów, korpusów i skarp nasypów drogowych,

- wszelkich obiektów seminaturalnych nie przeznaczonych do infiltracji,
- zbiorników i osadników umacnianych elementami betonowymi.

Instalacja maty jest łatwa i szybka. Podłoże powinno być uformowane i zagęszczone zgodnie z wymaganiami dokumentacji projektowej, a ponadto: równe, pozbawione gruzu, korzeni, ostrych kamieni, lodu i stojącej wody. W przypadku instalacji maty bentonitowej na innych, wcześniej ułożonych materiałach geosyntetycznych, nie są wymagane żadne zabiegi przygotowawcze. Matę układa się na zakłady o szerokości od 0,15 do 0,23 m. Ze strefy zakładu usuwa się wszelkie zanieczyszczenia i nanosi ciągłą warstwę granulatu bentonitowego (w ilości 0,4 kg/mb). Krawędzie maty powinny być rozprostowane, pozbawione marszczeń i zagięć. Matę układa się włókniną (białą stroną) w stronę podłoża, rozpoczynając instalację od korony skarp. Należy ją zakotwić w koronie skarpy przy pomocy rowu kotwiącego lub poprzez wywinięcie na poziomą powierzchnię korony skarpy.

Na skarpach i innych powierzchniach o nachyleniu większym niż 1:4 dłuższy bok pasma musi biec równolegle do zbocza, a poszczególne pasma należy układać dachówkowo. Pasma układane na powierzchni poziomej mogą być zorientowane w dowolny sposób. Przed zasypaniem maty trzeba dokonać jej przeglądu i odbioru. W przypadku wystąpienia uszkodzeń (w postaci przecięć lub rozdarć) należy je naprawić przez ułożenie na uszkodzonym obszarze łaty wystającej co najwyżej 0,3 m poza obszar uszkodzenia, a na obrzeżach uszkodzenia zastosować obsypkę z bentonitu.

Instalację mat bentonitowych można przeprowadzać w dowolnych warunkach pogodowych, z wyjątkiem ulewnych deszczy. Należy zwrócić uwagę, aby ułożony materiał nie był zbyt długo wystawiony na działanie czynników atmosferycznych.

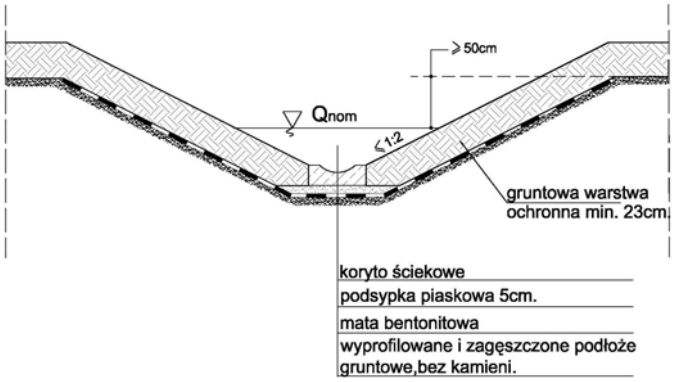
Ważnym warunkiem uzyskania przez matę bentonitową właściwej jej wysokiej szczelności jest jej odpowiednie obciążenie (gruntem, bądź elementami konstrukcyjnymi). Tylko mata poddana odpowiedniemu obciążeniu – pod wpływem wilgoci będzie się coraz bardziej uszczelniać. Stąd tak kluczowym czynnikiem jest grubość warstw okrywających. Grubość gruntowej warstwy okrywającej dla obiektów służących do tymczasowego lub stałego magazynowania wody – nie powinna być mniejsza niż **30 cm**, a absolutne minimum (dopuszczane wyłącznie dla obiektów okresowo napełnionych wodą i nie służących do retencji) wynosi **23 cm**.

Przy określaniu grubości warstwy okrywającej, projektant powinien brać pod uwagę warunki lokalne (geometrię obiektu, stosowane grunty i ich parametry, sposób i stopień zagęszczenia) i każdorazowo określić grubość przykrycia oraz sposób wykonania i zagęszczenia indywidualnie. Jeżeli mata będzie przykryta ciężkimi elementami betonowymi – mogą one zastąpić warstwę obciążającą z gruntu. Z kolei wszędzie tam, gdzie występuje zagrożenie styku maty z ostrymi krawędziami (kamieni, tłucznia, itp.) – należy albo zwiększać warstwę ochronną

piasku, albo stosować inne zabezpieczenia – np. dodatkową warstwę z geowłókniny. W przypadku współpracy z elementami ażurowymi (zwłaszcza na wysokich i mocno nachylonych skarpach) – trzeba zabezpieczyć grunt obsypki przed wymywaniem – np. poprzez podkładową warstwę z geowłókniny lub przez wypełnienie perforacji prefabrykatów betonowych zaprawą.

Przy wykonywaniu warstwy okrywającej z kruszywa, zaleca się ułożenie bezpośrednio na macie min. 0,05 m warstwy kruszywa drobnoziarnistego (d_{80}>0,25 mm). Materiał przykrywający powinien być pozbawiony ostrych kamieni o średnicy większej niż 50 mm i dużej zawartości węglanu wapnia (margla). Dotyczy to również podłoża maty.

Na rysunkach 2.13.÷2.16. przedstawiono kilka przykładowych zastosowań maty bentonitowej i jej zakotwienia w gruncie.

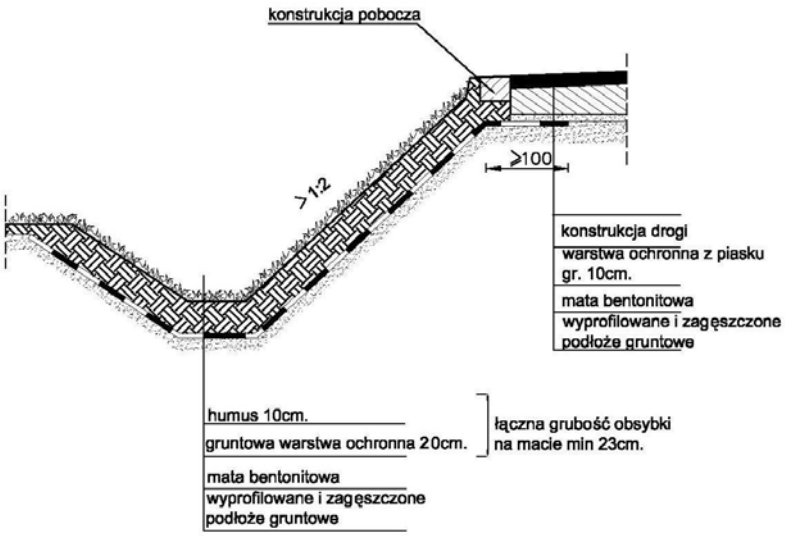


Rys. 2.13. Przykład uszczelnienia matą bentonitową rowu odwodnieniowego - bez konieczności dodatkowego kotwienia (nachylenie ≤1:2)

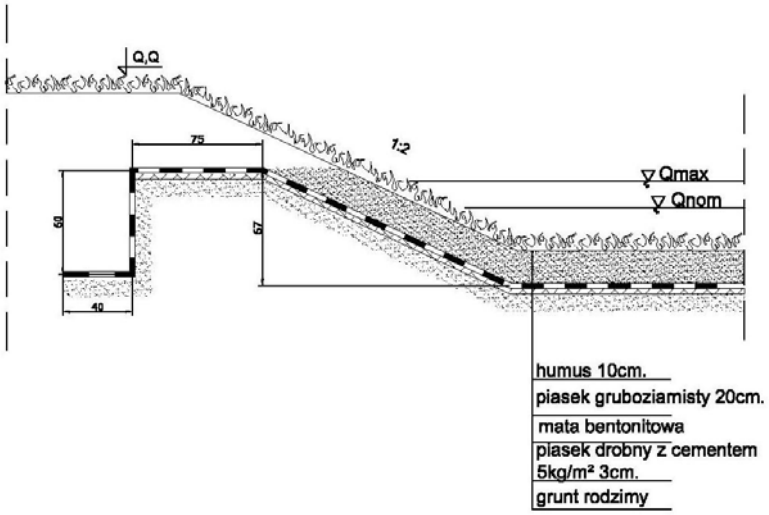
Praktyczne przykłady wykonania warstw uszczelniających z zastosowaniem mat podają ich producenci i dystrybutorzy.

W trakcie obsypywania kierunek prac powinien być tak dobrany, aby mata nie była nadmiernie naprężana – obsypywanie należy wykonywać zgodnie z kierunkiem zakładów. Nieosłonięte krawędzie należy zabezpieczyć folią, odpowiednio unieruchomioną workami z piaskiem lub innym obciążeniem. Podczas przykrywania maty na zboczach o nachyleniu większym niż 1:4 prace należy prowadzić w kierunku zgodnym z nachyleniem zbocza i rozpoczynać u jego podstawy.

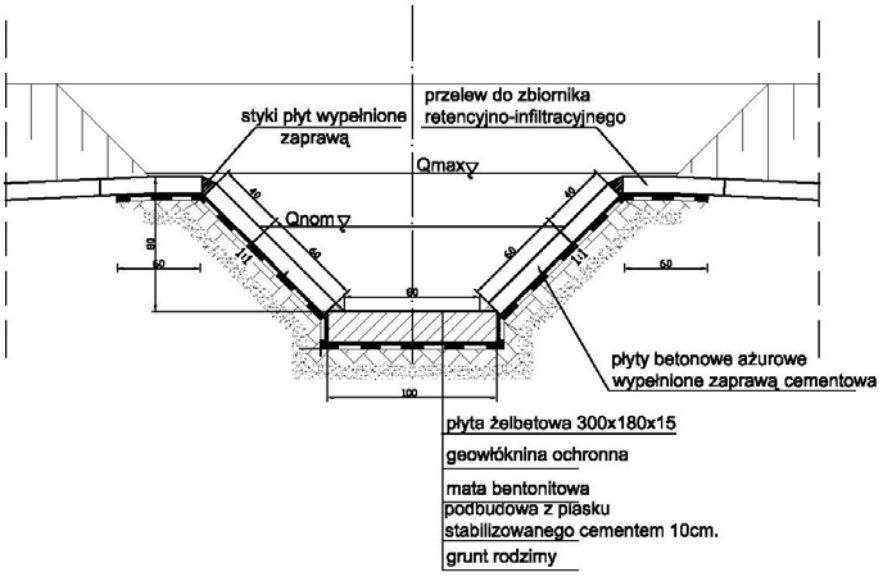
Jeżeli materiałem przykrywającym jest materiał wymagający mechanicznego rozścielania (np. inny geosyntetyk) - należy zastosować środki ostrożności chroniące matę przed zniszczeniem (zakaz ruchu ciężkiego sprzętu). Do rozwinięcia materiału syntetycznego można wykorzystać lekki sprzęt na oponach gumowych. Pojazdy te mogą jeździć bezpośrednio po macie, jednak pod warunkiem, że nie będą gwałtownie ruszać, zatrzymywać się lub skręcać. Jeżeli mata ma być przykryta geomembraną teksturowaną, należy stosować pokrycie poślizgowe (np. gładką folię HDPE o gr. 0,5 mm) ułatwiające przesunięcie geomembrany do właściwego położenia.



Rys. 2.14. Przykład uszczelnienia matą bentonitową rowu odwodnieniowego przy wysokiej skarpie drogowej - z kotwieniem poprzez wywinięcie na powierzchnię poziomą (nachylenie > 1:2)



Rys. 2.15. Przykład uszczelnienia matą bentonitową niecki sedymentacyjnej z roślinami z zakotwieniem typu L



Rys. 2.16. Przykład uszczelnienia matą bentonitową osadników deszczowych z płyt prefabrykowanych

Na tle innych barier i przegród hydroizolacyjnych maty bentonitowe wyróżniają się prostą technologią montażu i relatywnie niskimi kosztami, zwłaszcza po uwzględnieniu kosztów monitoringu środowiskowego.

b) Geomembrany

Geomembrany (bariery typu GBR-P) są produktami powszechnie stosowanymi w różnych dziedzinach budownictwa. Ze względu na niską wodoprzepuszczalność wykorzystywane są głównie do zabezpieczeń przeciwwodnych i przeciwwilgociowych najróżniejszych konstrukcji (np. konstrukcji oporowych). Podstawowym zastosowaniem tego typu materiałów jest wykonywanie izolacji pod warstwami drenażowymi. Do budownictwa ziemnego zostały one zaadaptowane m.in. ze względu na niskie koszty.

Z uwagi na trudności w układaniu i łączeniu, małą grubość i idące za nią niskie parametry mechaniczne - stosowanie tego typu produktu w odwodnieniach dróg powinno być zdecydowanie ograniczane. We wszystkich elementach odwodnieniowych, gdzie wskazany jest porost roślinny geomembrany zdecydowanie ustępują rozwiązaniom w postaci uszczelnień z gruntów naturalnych lub mat bentonitowych. Mogą natomiast stanowić atrakcyjną alternatywę dla uszczelnień z gruntów naturalnych, czy mat bentonitowych tam, gdzie z założenia współpracują one z konstrukcją betonową, którą mają doszczelniać (np. zbiornik retencyjny całkowicie umocniony elementami betonowymi, małe nachylenia skarp, brak roślin, itp.).

Znajdą również zastosowanie w hydroizolacjach tymczasowych, w których musimy ochronić wybrany obszar przed wodami opadowymi – na czas wykonania robót stwarzających zagrożenie dla jakości wód oraz w rozwiązaniach łączonych z innymi barierami (kilkuwarstwowych, w których geomembrana współpracuje np. z bentomatą albo z gruntem naturalnym).

Geomembrany stosowane w budownictwie inżynieryjnym mają postać pasm o różnej szerokości (dochodzącej do 9.0 m) lub płacht. Są wytwarzane na bazie polimerowych tworzyw sztucznych. Klasyfikowane są przede wszystkim wg rodzaju tworzywa użytego do produkcji lub rodzaju powierzchni geomembrany.

Ze względu na tworzywo zastosowane do produkcji wyróżniamy:

- geomembrany PVC produkowane na bazie polichlorku winylu,
- geomembrany PEHD produkowane na bazie polietylenu o różnej gęstości (wysokiej – HDPE lub niskiej - LDPE),
- geomembrany EPDM - jednowarstwowe gumowe membrany wykonane z monomerów etylenowo-propylenowo-dienowych.

Najpowszechniej stosowane w budownictwie inżynieryjnym są geomembrany PVC i PEHD, przy czym te drugie, zwłaszcza w postaci płaskich membran, stanowią materiał pewniejszy i bardziej odporny na uszkodzenia.

Ze względu na typ powierzchni membrany można wydzielić:

- membrany o obu powierzchniach gładkich (PVC, PEHD, EPDM),
- membrany jednostronnie uszorstnione (PVC, PEHD),
- membrany obustronnie uszorstnione (PVC, PEHD),
- membrany z wypustkami (PEHD).

Stosowanie geomembran uszorstnionych, zwanych też strukturyzowanymi, pozwala na wykonywanie izolacji na powierzchniach bardziej stromych. Jednakże należy zaznaczyć, że maksymalne wartości kąta ścinania gruntu, uzyskane przy zastosowaniu **geomembrany uszorstnionej, dochodzą do 30^o**, natomiast w przypadku zastosowania geomembran o powierzchniach **gładkich** kąt ten jest mniejszy i **nie przekracza 28^o.**

Instalacja geomembran powinna odbywać się według następujących zasad:

- podłoże powinno być pozbawione ostrych i wystających kamieni, korzeni i innych elementów, czyli równe, a jednocześnie ukształtowane i zagęszczone zgodnie z dokumentacją projektową,
- na pochyłych powierzchniach instalację membrany należy rozpocząć od najwyższego punktu. Jednocześnie zaleca się, aby pasma przebiegały równolegle do kierunku nachylenia zbocza. Zazwyczaj górne krawędzie pasm są kotwione na koronie skarpy (zakotwienie typu L). Układane pasma nie powinny być nadmiernie naprężone, ale nie mogą też tworzyć fałdów lub załamań. W trakcie układania niedopuszczalne jest przeciąganie geomembrany po podłożu, za wyjątkiem sytuacji koniecznej, np. dla utworzenia prawidłowego zakładu między poszczególnymi brytami.

Geoembrany układane są na zakład (rozwiązanie najczęściej stosowane) lub na styk (rzadko stosowane połączenia spawane). Wielkość zakładu najczęściej nie jest większa niż 0,1 m. Łączone krawędzie powinny być oczyszczone i wyprostowane. Do połączenia pasm wykorzystuje się kleje, taśmy lub zgrzewanie. Łączone powierzchnie powinny być suche. Prace związane z łączeniem poszczególnych pasm powinny być prowadzone w dobrych warunkach atmosferycznych – bez opadów i przy temperaturach dodatnich, zalecanych przez konkretnych dostawców (najniższe z temperatur dopuszczanych w zaleceniach dostawców to **5^oC**). Po wykonaniu połączenia powinna być przeprowadzona weryfikacja poprawności wykonanych robót. W przypadku połączeń zgrzewanych, pomiędzy miejscami zgrzania powstaje "tunel", który wykorzystuje się do ciśnieniowego sprawdzenia szczelności połączenia. W przypadku zgrzewania, bądź klejenia, dokonywanego na całej powierzchni zakładu, w celu sprawdzenia jakości

połączenia wycina się fragmenty zakładu i sprawdza jakość uzyskanego połączenia w laboratorium poprzez zrywanie.

Po wykonaniu izolacji trzeba dokonać jej przeglądu i odbioru, a w przypadku stwierdzenia uszkodzeń (w postaci przecięć lub rozdarć) - naprawić je poprzez wykonanie odpowiedniej łaty.

Do wykonania izolacji często zalecane jest ułożenie warstwy ochronnej z innego geosyntetyku (najczęściej geowłókniny), a następnie z gruntu. Grubość warstwy gruntowej oraz jej zagęszczenie powinno być zgodne z rozwiązaniami projektowymi. Warstwa ochronna powinna być wykonana z gruntu lub kruszywa nie zawierającego ostrych krawędzi. Określając grubość warstwy okrywającej, projektant powinien dokonać odpowiednich przeliczeń dotyczących jej stateczności.

c) Geosyntetyczne przesłony kompozytowe

W ostatnich latach często stosuje się geosyntetyczne przesłony kompozytowe. Są to bariery hydroizolacyjne utworzone ze składnika polimerowego (geomembrany HDPE, PVC itp.) przylegającego bezpośrednio do maty bentonitowej, cechujące się wysokimi parametrami mechanicznymi oraz całkowitym brakiem przecieku.

Przykładami tego typu materiałów geosyntetycznych są m.in.:

- SPL – mata bentonitowa o zawartości bentonitu min. 5000 g/m^2, laminowana folią PE 0,2 mm,
- SCL – mata bentonitowa o zawartości bentonitu min. 4000 g/m^2, laminowana folią PE 0,2 mm,
- STL – mata bentonitowa o zawartości bentonitu min. 3000 g/m^2, laminowana folią PE 0.2 mm.

Celem stosowania przesłon kompozytowych jest optymalizacja uszczelnienia i obniżenie wydatku przepływu. W ich funkcjonowaniu szczególną rolę odgrywa stopień bezpośredniego kontaktu membrany z warstwą mineralną; jeżeli jest on w pełni zachowany, to efektywna powierzchnia przecieku jest bardzo mała, całkowity przeciek jest możliwie najmniejszy, a skuteczność uszczelnienia - możliwie największa. Natomiast, jeżeli nie ma pełnego styku pomiędzy warstwą gruntu i membraną, ułatwiona jest zarówno migracja wody jak i zawartych w niej zanieczyszczeń. Mogą one wówczas zarówno gromadzić się w próżniach pomiędzy tymi materiałami jak i migrować dalej, głównie w kierunku poziomym. Brak styków dodatkowo potęguje przepływ wody przez geomembranę. Dlatego też skuteczność działania przesłony kompozytowej łatwiej jest osiągnąć w przypadku mat prefabrykowanych w zakładzie produkcyjnym niż komponowanych bezpośrednio w terenie.

W montażu geosyntetycznych przesłon kompozytowych stosowane są różne materiały uzupełniające, jak np. granulaty bentonitowe lub bentonity pylaste, które wykorzystuje się w przypadkach wymagających zwiększonej ilości bentonitu lub przygotowywania szpachli bentonitowej.

Technologia montażu przesłony kompozytowej jest podobna do technologii układania maty bentonitowej (rozdz. 2.3.2. pkt a)). Różnica polega jedynie na sposobie wykonania zakładu. W przypadku maty laminowanej, folię w obrębie zakładu zaleca się odkleić od maty, a zakład wykonać tak, aby miał postać: mata-mata-folia-folia. Zakład między matami należy oczyścić i przesypać dostarczonym granulatem bentonitowym (w ilości 0,4 kg/mb). W przypadku skarp o dużym nachyleniu i możliwości zsypywania się warstwy granulatu należy zastosować szpachlę bentonitową. Przygotowuje się ją poprzez wymieszanie bentonitu z wodą w stosunku wagowym 1:3. Zakład folia-folia należy docisnąć powodując jego sklejenie. W przypadku zanieczyszczenia tego zakładu lub utracenia właściwości klejących naniesionego kleju, warstwy folii można skleić za pomocą taśmy dwustronnej do folii PE.

2.3.3. Podsumowanie własności hydroizolacyjnych przegród i barier

W tablicy 2.7. zestawiono wydatki przepływu wody przez różne przegrody hydroizolacyjne obliczone dla słupa wody o wysokości 3,0 m i przykładowej powierzchni uszczelnienia 1 ha (10 000 m^2). Dla przyjętych założeń najlepsze efekty uszczelniające uzyskało zastosowanie mat bentonitowych, w drugiej kolejności – zastosowanie przegrody naturalnej z gliny, a ponad dwukrotnie gorsze wyniki uzyskało zastosowanie geomembrany. Tabela pokazuje jednak bliskość wyników ekranu z gliny i maty bentonitowej.

Upraszczając – dla wyrobienia sobie wyobrażenia o właściwościach hydroizolacyjnych omawianych materiałów – można przyjąć, iż 10mm maty bentonitowej odpowiada ekranowi z gliny o ok. 1m miąższości (dla naporu słupa wody wynoszącego 3m), a geomembrana w tych samych warunkach przepuszcza ponad 2,5 krotnie więcej wody.

Tablica 2.7. Porównanie wydatku przepływu cieczy przez różne przegrody hydroizolacyjne

Przegroda hydroizolacyjna	Charakterystyka	Wydatek przepływu [m^3/d]
ekran z gliny	warstwa o grubości 0,9 m, współczynnik filtracji $k=10^{-9}$ m/s	3.7
geomembrana	perforacja: 12 otworów o pow. 10^{-5} m^2 na 10.000 m^2 uszczelnienia, membrana ułożona na gruncie o $k=10^{-7}$ m/s	7.1
mata bentonitowa	grubość 10 mm, współczynnik filtracji $k=10^{-11}$ m/s	2.6

Skuteczność bariery uszczelniającej stosowanej podczas odwadniania dróg zależy od rodzaju zastosowanego materiału oraz rodzaju i stężenia zanieczyszczeń. Minimalizowanie przecieku zanieczyszczeń do środowiska wodno-gruntowego jest głównym zadaniem projektanta dobierającego system uszczelnienia.

Każdy rodzaj uszczelnienia ma ograniczoną odporność na czynniki mechaniczne, środowiskowe (np. promieniowanie słoneczne), czy chemiczne. Np. maty bentonitowe nie są wskazane do pracy w środowisku narażonym na bardzo stężone roztwory soli w czystej postaci, czy też na bardzo wysokie stężenia związków organicznych. Tabele odporności chemicznej poszczególnych tworzyw polimerowych – znajdziemy z reguły w danych technicznych producentów geomembran. W budownictwie drogowym przypadki wystąpienia zanieczyszczeń w tak wysokich stężeniach zdarzają się niezmiernie rzadko. Jednak w sytuacjach szczególnych zagrożeń rozlewami konkretnych substancji chemicznych analiza odporności chemicznej stanie się jednym z ważniejszych kryteriów projektowych bariery hydroizolacyjnej (dla konkretnych przypadków może być nawet ważniejsza od parametrów filtracji).

W takich przypadkach dobrze mogą się sprawdzić rozwiązania kompozytowe z odpowiednio dobranym materiałem powlekającym.

2.4. Urządzenia inżynierskie

Poza urządzeniami i obiektami seminaturalnymi oraz barierami hydroizolacyjnymi do zapobiegania rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń wód wykorzystywane będą różne urządzenia inżynierskie, m. in. urządzenia sedymentacyjno-flotacyjne (piaskowniki, osadniki, separatory substancji ropopochodnych), zbiorniki, w tym zbiorniki monolityczne, a nawet zamknięte zbiorniki podziemne, przepompownie oraz budowle regulacyjne, rozdzielcze i kontrolne (przelewy burzowe, komory rozdziału, studzienki kontrolne, itp.).

2.4.1. Osadniki i piaskowniki

Osadnik ścieków deszczowych służą do ochrony odbiorników przed zawiesinami. Ściekom odprowadzanym z dróg, parkingów i obiektów towarzyszącym drogom - powinny zapewnić wymaganą redukcję zawiesin.

Osadniki wód deszczowych mogą być stosowane:

- jako urządzenia podczyszczania końcowego - do podczyszczania ścieków deszczowych przed wprowadzeniem do odbiorników,
- jako jedno z urządzeń w ciągu technologicznym - przed innymi urządzeniami, które również usuwają zawiesiny, ale wymagają zabezpieczenia przed ich nadmierną ilością (np. stawy, zbiorniki, filtry, separatory substancji ropopochodnych).

Wielkość osadnika zależy od rodzajów oczyszczanych ścieków, stopnia ich zanieczyszczenia oraz od warunków, jakie muszą spełniać ścieki na odpływie z osadnika, tj.:

- warunków zrzutu przed wprowadzeniem wód do odbiornika – w przypadku zastosowania A),
- warunków wprowadzenia wód w ciągu technologicznym do dalszych urządzeń podczyszczających – w przypadku zastosowania B),

Osadniki usuwają ze ścieków zanieczyszczenia o gęstości większej od 1 g/m^3. Funkcję osadników pełnią również zbiorniki retencyjne (retencyjno-sedymentacyjne) i to przeważnie o bardzo małym obciążeniu hydraulicznym powierzchni. Zbiornik nie powinien być stosowany jako jedyne urządzenie sedymentacyjne w ciągu technologicznym, więc tam, gdzie to tylko możliwe poprzedza się go przynajmniej piaskownikiem - celem wstępnego zatrzymania najgrubszych frakcji zawiesin.

W przypadku podczyszczania wód deszczowych terminy osadnik i piaskownik są często używane zamiennie. Związane jest to z ziarnistym charakterem zawiesin deszczowych.

Zadaniem klasycznych piaskowników na oczyszczalniach komunalnych jest usuwanie ze ścieków piasku i innych zawiesin mineralnych (0,1÷0,2 mm i większe [16]), przy wykorzystaniu procesu sedymentacji. Na ogół dąży się do zatrzymania w urządzeniu czystego piasku, tzn. bez domieszek organicznych. W przypadku podczyszczania ścieków opadowych, którego głównym zanieczyszczeniem jest zawiesina ziarnista (często o charakterze mineralnym) – każde zastosowane urządzenie sedymentacyjne pełni rolę piaskownika, gdyż w ogromnej mierze zatrzymuje frakcje piaszczyste i żwirowe (każdy osadnik deszczowy jest piaskownikiem i każdy piaskownik jest swoistego rodzaju osadnikiem).

Różnica w projektowaniu klasycznych piaskowników stosowanych w oczyszczalniach komunalnych, a piaskowników projektowanych dla ścieków opadowych będzie tylko taka, iż w podczyszczalniach ścieków opadowych będzie nam zależało na wydzieleniu ziaren o mniejszej średnicy, w tym również na wydzieleniu zawiesin organicznych. Stąd stosowane będą mniejsze obciążenia hydrauliczne niż dla klasycznych piaskowników. Na potrzeby niniejszego opracowania przyjęto rozumienie terminów piaskownik i osadnik w taki sposób, iż terminem ‘piaskownik’ będziemy nazywać te osadniki, które zaprojektowano dla grubszych frakcji zawiesin – najczęściej jako jedno z kilku urządzeń w ciągu technologicznym (przypadek B), osadnikiem zaś urządzenie zaprojektowane na szerokie spektrum frakcyjne zawiesin – zarówno na frakcje grubsze, jak i drobniejsze (patrz schematy rys. 3.1.÷3.4.).

Wymiarowanie osadników ma na celu określenie wymaganej powierzchni użytkowej, przy uwzględnieniu prawa Stokesa. Głębokość osadnika jest bez znaczenia. Miarodajna jest tylko powierzchnia osadnika w stosunku do natężenia przepływu. Powierzchnię osadnika idealnego A_{os} oblicza się ze wzoru:

$$A_{os} = \frac{Q_{op}}{v_o} \ [\mathrm{m}^2] \tag{2.1}$$

gdzie:

Q_{op} - natężenie przepływu wód opadowych przez osadnik [m^3/h],

v_o - najmniejsza prędkość opadania [m/h].

Najmniejsza prędkość opadania (sedymentacji) jest to prędkość opadania najmniejszych i najlżejszych zawiesin, które przy wyznaczonym czasie przepływu ścieków opadną na dno osadnika. Wartość obciążenia hydraulicznego przyjmuje się w zależności od wielkości ziaren, które należy zatrzymać w osadniku. Dopuszczalne obciążenie osadnika wyraża się objętością doprowadzonych, ścieków przypadającą na jednostkę powierzchni w jednostce czasu. Jest to dopuszczalne obciążenie hydrauliczne powierzchni, wyrażone w [$m^3/(h \cdot m^2)$], równe prędkości opadania ziaren zatrzymywanych w osadniku.

W warunkach rzeczywistych proces sedymentacji poddany jest licznym zaburzeniom. Trudno też uzyskać naprawdę równomierne obciążenie hydrauliczne całej powierzchni osadnika. Stąd w literaturze przedmiotu spotyka się modyfikację ww. wzoru ([6], [12], [17]):

$$A_{os} = \alpha \frac{Q_{op}}{v_o} \text{ [m}^2\text{]} \tag{2.2}$$

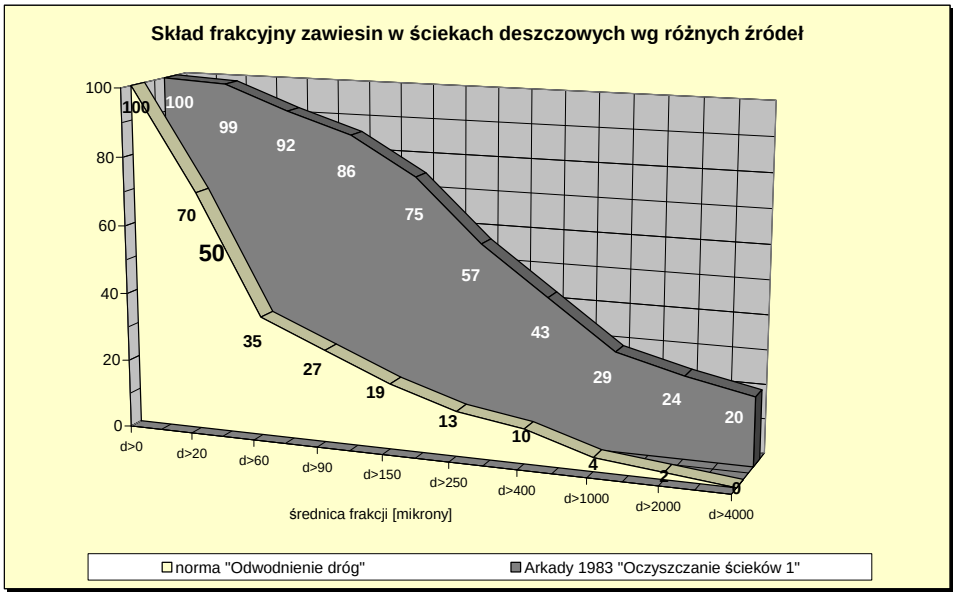
gdzie:

$Q_{op,}\, v_o$ – jak wyżej,

α – bezwymiarowy współczynnik zwiększający (odwrotność współczynnika sprawności hydraulicznej osadnika)

Fidala-Szope [12] zaleca, aby przyjmować $\alpha > 1{,}25$. W poradnikach inżynierskich do projektowania piaskowników i osadników ([6], [17]) zalecane jest przyjmowanie dopuszczalnych obciążeń hydraulicznych znacznie mniejszych od prędkości opadania cząstek, na które dany piaskownik czy osadnik jest projektowany. Zalecane krotności przewymiarowywania obiektów w stosunku do prędkości opadania cząstki wynoszą 1,75÷5,0 (co odpowiada współczynnikowi α).

Dobrze zaprojektowana podczyszczalnia musi posiadać odpowiednią powierzchnię czynną, zapewniającą uzyskanie zakładanej stałej sprawności instalacji. Wymusza to na projektancie urządzeń wykonania dokładnych obliczeń obciążenia hydraulicznego dla frakcji zawiesin, które chcemy wydzielić w projektowanym osadniku (czy piaskowniku) i zastosowania odpowiednich konstrukcji urządzeń. Prawidłowe obliczenie niezbędnej powierzchni osadnika wymaga również wiedzy (albo założeń) nt. składu frakcyjnego zawiesin w podczyszczanych ściekach.



Rys. 2.17. Skład frakcyjny zawiesin deszczowych wg różnych źródeł ([6], [42])

Wiedza na temat składu frakcyjnego zawiesin deszczowych nie jest usystematyzowana. Projektanci mogą się spotkać z publikacjami i badaniami wykazującymi zarówno na dominację zawiesin gruboziarnistych (frakcje piaskowe i żwirowe), jak i drobnoziarnistych o konsystencji „kisielu" (frakcje pylaste, ilaste i zawiesiny organiczne).

Rozwiązaniem może być skorzystanie z uproszczonej metody wymiarowania osadników– tablica 2.8. ([12], [30]).

Tablica 2.8. Orientacyjne wartości parametrów technologicznych osadników [30]

Maksymalne obciążenie hydrauliczne [$(m^3/h)/m^2$]	7	14	36
Minimalna średnica zatrzymanych ziaren [mm]	0.06	0.09	0.15
Przewidywany stopień redukcji zawiesin ogólnych [%]	80	70	60

Powyższe zalecenia sprawdzają się dość dobrze w warunkach miejskich.

Norma PN-S-02204 [42] zakłada, iż zawiesiny w spływach deszczowych z dróg są uziarnione bardzo drobno i zaleca przyjmować skład frakcyjny zawiesin w następujący sposób:

- średnica ziaren stanowiących wraz z mniejszymi 10% suchej masy d_{10}=0,007 mm,

- średnica ziaren stanowiących wraz z mniejszymi 50% suchej masy d_{50}=0,03 mm,
- średnica ziaren stanowiących wraz z mniejszymi 90% suchej masy d_{90}=0,4 mm.

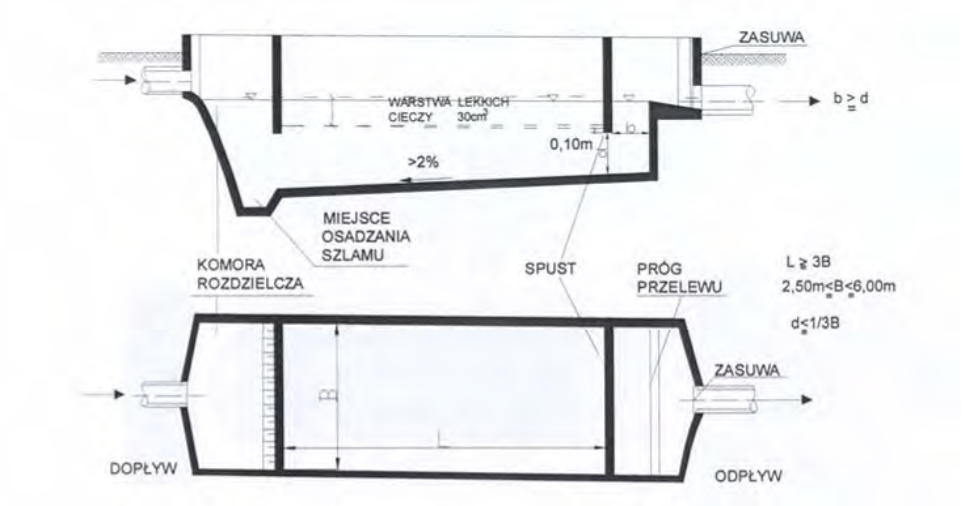
Tablica 2.9. Wybrane wartości prędkości sedymentacji dla drogowych ścieków deszczowych [42]

Frakcja osadu	Prędkość $V_{50\%}$	Proporcje wagowe
[mm]	[m/h]	[%]
< 0.05	**4.1**	68
> 0.05	50	32
razem	7.2	100

Natomiast prędkość sedymentacji, która pozwala na usunięcie zawiesin o określonych średnicach ziaren, należy przyjmować wg tablica 2.9.

Maksymalne powierzchniowe obciążenie hydrauliczne, jakie powinna posiadać oczyszczalnia ścieków deszczowych, aby mogła spełniać warunek określony w punkcie 3.2.2 ww. normy (wymagane usunięcie min. 50% zawiesiny drobnej), wynosi 4,1 m/h. Od strony pracy oczyszczalni oznacza to, że zatrzymane w niej muszą być wszystkie zawiesiny o prędkości sedymentacji większej niż 4,1 m/h. Od strony technologicznej oznacza to natomiast, że na każdy 1 m^3/h przepływających ścieków deszczowych potrzebne jest przynajmniej 0,24 m^2 powierzchni aktywnej, aby utrzymać zakładaną 50%-ową sprawność.

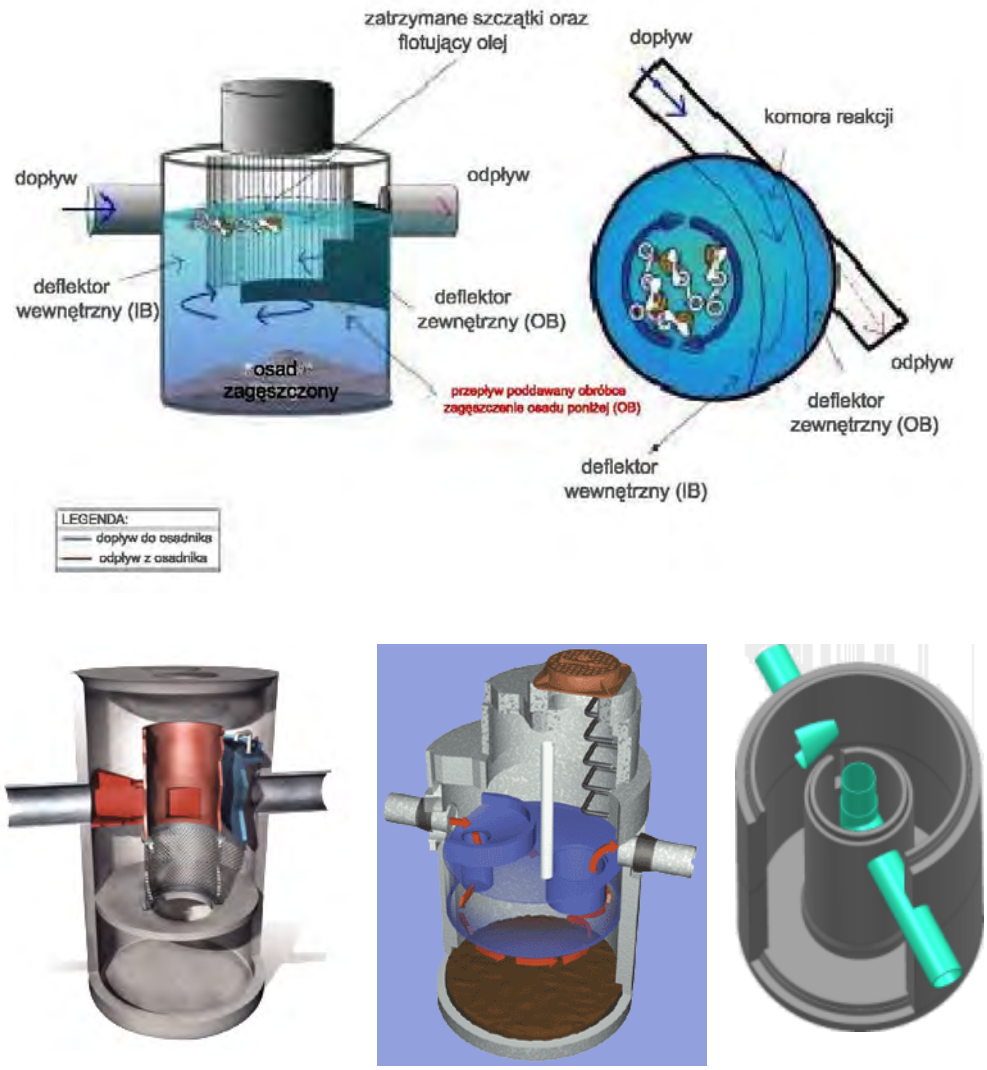
Kierunek przepływu ścieków w osadnikach może być poziomy podłużny (rys. 2.18) lub poziomy radialny o przepływie poziomym strug wody rozchodzących się promieniście od środka osadnika ku jego obwodowi.



Rys. 2.18. Ogólny schemat osadnika o przepływie poziomym podłużnym [30]

W celu zoptymalizowania wielkości osadnika stosowane są osadniki wielostrumieniowe, których budowa pozwala na znaczne zmniejszenie powierzchni osadnika przy zachowaniu wymaganej efektywności usuwania zawiesin. Zasada działania osadników wielostrumieniowych polega na rozdzieleniu strumienia dopływających ścieków na szereg płytkich strumieni płynących oddzielnie w równolegle działających przewodach tworzących pakiety wielostrumieniowe. Przewody te stanowią odrębne płytkie osadniki o głębokości od kilku do kilkudziesięciu centymetrów i charakteryzują się krótkim czasem przepływu - rzędu kilku minut. Pakiety wielostrumieniowe charakteryzuje współczynnik powierzchni czynnej wyrażony w m^2/m^3 (powierzchnia czynna w m^2 w objętości 1 m^3 pakietu).

W ostatnich latach na rynku pojawiły się również osadniki o przepływie wirowym, w których przy odpowiednim rozwiązaniu przestrzennym rozdzielenie faz o różnych ciężarach właściwych (zawiesin opadających, zawiesin lotnych i wody) jest wspomagane siłą odśrodkową. Osadniki o przepływie wirowym z reguły wykazują zdolność podczyszczania szerokiego spektrum przepływów, co jest istotną cechą w przypadku podczyszczalni wód deszczowych. Producenci wskazują również na bardzo korzystne parametry hydrauliczne osadników wirowych wyrażające się niskimi wartościami współczynnika α (patrz str. 85).



Rys. 2.19. Przykłady różnych rozwiązań osadników z przepływem wirowym [38]

W osadnikach montuje się:

- deflektory dopływu, mające za zadanie uspokojenie strugi dopływających ścieków (prawie zawsze),
- zasyfonowanie odpływu (opcjonalnie), mające za zadanie zabezpieczenie przed odpływem substancji pływających (osadnik wówczas staje się najprostszym grawitacyjnym separatorem substancji lekkich, w tym substancji ropopochodnych).

Osadniki mogą być dodatkowo wyposażone w regulatory dopływu oraz komory magazynowania i zagęszczania osadu, co może ograniczyć koszty eksploatacji osadnika.

Projektując osadnik wód deszczowych należ mieć na uwadze, jaką funkcję ma on spełniać w ciągu technologicznym (przypadek A?, czy B?). W przypadku, gdy osadnik ma oczyszczać wody w celu uzyskania końcowego odpływu w wymaganym standardzie jakości umożliwiających ich zrzut do odbiornika (A) - podstawą projektowania osadnika są zasady przedstawione powyżej, czyli powierzchnia osadnika zależna jest od ilości oczyszczanych wód i wymaganego stopnia redukcji zanieczyszczeń. Szacunkowy stopień redukcji zawiesiny ogólnej (w ściekach opadowych z obszarów miejskich) w zależności od obciążenia hydraulicznego osadnika poziomego przedstawiono w tablica 2.8.

W przypadku, gdy funkcją osadnika jest ochrona urządzeń zastosowanych kolejno w ciągu technologicznym (B) – poza ogólnymi zasadami jw. - dodatkową podstawą projektowania są wytyczne producentów urządzeń, które osadnik ma chronić (np. separatory). Przypadek współpracy osadników z separatorami – omówiono w rozdziale 2.4.2.

Jeżeli kolejne urządzenia w ciągu technologicznym – za osadnikiem zapewniają dodatkowe usuwanie zawiesin – osadnik deszczowy może być silniej obciążony, jednak jego skuteczność zawsze będzie zależna od obciążenia hydraulicznego (a nie od objętości). Również na odwrót – jeżeli z charakterystyki zanieczyszczeń w danej zlewni wynika, iż nawet najlepiej pracujący osadnik nie zapewnia uzyskania na wylocie wymaganego standardu zawartości zawiesin w ściekach oczyszczonych, należy zastosować następny stopień oczyszczania, np. stawy, filtry lub metody chemiczne.

Projektując podczyszczalnię deszczową z urządzeniami zintegrowanymi (osadnik z separatorem w jednym zbiorniku) wyposażonymi w przelew wewnętrzny (patrz rozdz. 2.4.3.) warto sprawdzić założenia technologiczne i sposób rozwiązania konstrukcji przelewu i części osadnikowej – zwłaszcza jeżeli projektowana podczyszczalnia obsługuje zlewnię silnie zanieczyszczoną. W przypadku urządzeń zintegrowanych wyposażonych w małe osadniki (najmniejsze z zalecanych w normie PN-EN 858-2:2005 [44]) zasilanych relatywnie brudnymi ściekami opadowymi występuje realne zagrożenie szybkiego przepełnienia osadnika oraz wypłukiwania części zawiesiny do sekcji separatora lub po prostu brakiem zatrzymywania drobnej zawiesiny w osadniku. Zjawisko to grozi kolmatacją wkładów w separatorze. Częściowo zakolmatowane wkłady stawiają większy opór hydrauliczny, co skutkuje piętrzeniem ścieków w całej podczyszczalni. To z kolei grozi przedwczesnym uruchomieniem przelewu w urządzeniu i zrzutem do odbiornika ścieków nieczyszczonych w zakresie przepływów, które zgodnie z prawem powinny być oczyszczane. W konstrukcjach zintegrowanych gdzie osadnik,

separator i przelew – stanowią jedno urządzenie we wspólnej obudowie – na zewnątrz urządzenia zintegrowanego zjawisko to może być zupełnie niedostrzegalne.

W związku z tym, że warunki konserwacji osadników i separatorów substancji ropopochodnych są do siebie podobne, zostaną one omówione wspólnie w dalszej części opracowania.

2.4.2. Separatory substancji ropopochodnych

Urządzenia sedymentacyjno-flotacyjne zwane potocznie separatorami zdefiniowane zostały w normach PN EN 858-1:2005 [43] i PN EN 858-2:2005 [44], gdzie określono definicje urządzeń, zasady wymiarowania, budowy, dostawy, montażu, eksploatacji i badań kontrolnych separatorów grawitacyjnych, koalescencyjnych oraz osadników poprzedzających separatory.

Zgodnie z prawem budowlanym do stosowania w budownictwie dopuszczone są separatory i osadniki, dla których dokonano oceny zgodności i wydano deklarację zgodności z normą PN-EN 858-1 i 2: 2005, aprobatą techniczną Instytutu Ochrony Środowiska. Możliwe jest również wprowadzanie do obrotu urządzeń wykonanych w oparciu o indywidualną dokumentację. W przypadku zastosowania separatora i osadnika, wykonanego według indywidualnej dokumentacji technicznej, dostawca zobowiązany jest wydać oświadczenie wskazujące, że zapewniono zgodność wyrobu z tą dokumentacją.

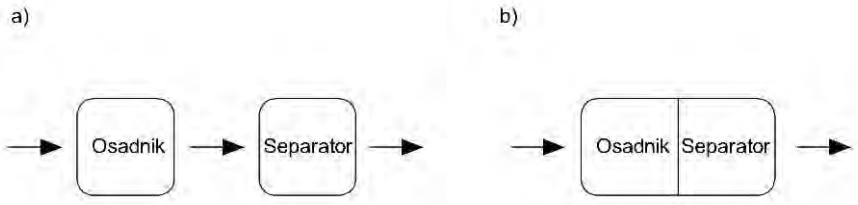
Większość dostępnych na rynku separatorów **jest stosowana w oparciu i indywidualnie wydane aprobaty techniczne IOŚ**, gdyż mało który producent w chwili obecnej jest w stanie spełnić wszystkie szczegółowe wymagania dot. sposobu produkcji i dokumentacji badawczej (jakościowej) zawarte w normie [43]. Jednak pewne ogólne zasady dot. konstrukcji separatorów są transponowane do większości wydawanych aprobat technicznych. Powołują się na nie również producenci wyrobów indywidualnych. Stąd w niniejszym rozdziale ww. normy zostaną omówione dość szczegółowo.

Przedmiotem norm ([43], [44]) są separatory substancji ropopochodnych w ich wszystkich zastosowaniach. W związku z różnymi zastosowaniami (ścieki opadowe – różne zlewnie; ścieki przemysłowe – np. z myjni; obiekty energetyczne zagrożone wyciekami substancji olejowych – np. stacje transformatorowe, parki zbiorników magazynowych, itp.) – ścieki dopływające do separatorów zawierają zawiesiny zróżnicowane zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym. Nie wszystkie zawiesiny w ściekach jw. mają charakter ziarnisty (jak w ściekach opadowych), ale zawsze niezbędne jest ich usunięcie. Dlatego norma [44] odnosi się również do osadników współpracujących z separatorami w ciągu technologicznym.

Osadnik zdefiniowano tu jako element instalacji oddzielacza, w którym osadza się szlam, muł lub żwir, stanowiący oddzielne urządzenie lub urządzenie budowane razem z oddzielaczem, jako spójny zespół.

Separator zdefiniowano jako element instalacji oddzielacza, który wydziela ciecz lekką ze ścieków i zatrzymuje ją.

Zgodnie z definicjami jw. – separatory ropopochodnych zawsze współpracują z osadnikami, z którymi mogą tworzyć jeden zintegrowany zbiornik lub stanowią dwa oddzielne obiekty (rys. 2.20.).



Rys. 2.20. Schemat zabudowy separatora: a - poprzedzonego wydzielonym osadnikiem, b - separator zintegrowany z osadnikiem w jednym zbiorniku

Zgodnie z normą [43] w skład elementów instalacji oddzielaczy, oprócz osadnika i separatora wchodzi również studzienka do poboru próbek. Jest ona montowana na odpływie z separatora i służy do monitorowania jakości wód odprowadzanych do odbiornika.

Normy ([43], [44]) wprowadzają podział separatorów substancji olejowych na dwie podstawowe grupy:

- Separatory I klasy,
- Separatory II klasy.

Separatory klasy I to urządzenia, w których podczas badań laboratoryjnych przeprowadzonych zgodnie z normą - maksymalna zawartość oleju normowego w ściekach oczyszczonych wynosi 5 mg/l. W separatorach klasy II poddanych tym samym badaniom laboratoryjnym - maksymalna dopuszczalna zawartość oleju normowego w ściekach oczyszczanych wynosi 100 mg/l.

W Polsce rozróżnianie separatorów wg klas jw. jest mało popularne. Bardziej rozpowszechnione są określenia: separator grawitacyjny, lamelowy, koalescencyjny. Z punktu widzenia efektywności w usuwaniu zanieczyszczeń ropopochodnych opisanych w normach - do grupy separatorów klasy II można zaszeregować większość prostych separatorów grawitacyjnych, natomiast separatory klasy I z reguły utożsamiane są z separatorami koalescencyjnymi.

Separatory grawitacyjne działają na zasadzie rozdziału substancji o różnych gęstościach pod działaniem wyłącznie sił grawitacji – krople cieczy lekkich (olej, benzyna) wypływają i gromadzą się na powierzchni wód opadowych.

Separatory koalescencyjne zapewniają wyższy stopień oddzielania, niż separatory grawitacyjne, ponieważ flotacja grawitacyjna wspomagana jest procesem koalescencji. Oprócz zasady siły ciężkości w separatorze koalescencyjnym znajdują zastosowanie fizyczne procesy adsorpcji i koalescencji. Krople o minimalnych rozmiarach gromadzą się na materiale koalescencyjnym (adsorpcja), powiększają się poprzez wzajemne łączenie się (koalescencja) i tworzą większe krople, które mogą się już oddzielić od ścieków na zasadzie sił grawitacji. Prędkość wznoszenia się kropli wzrasta proporcjonalnie do kwadratu jej średnicy. Proporcje te świadczą o znacznym przyspieszeniu procesu separacji. Można wyróżnić koalescencję typu kropla-kropla i kropla-powierzchnia graniczna.

W zależności od budowy oraz zastosowanych elementów koalescencyjnych, którymi mogą być empirycznie dobrane skosy powodujące hydrauliczną koalescencję, siatki, maty lub gąbki filtracyjne oraz pakiety lamelowe (separatory lamelowe), rozróżnia się wiele typów separatorów.

Separatory koalescencyjne są urządzeniami kosztownymi w budowie i eksploatacji, w związku z tym każdorazowo należy przeanalizować konieczność ich stosowania.

Wielkość nominalna separatora (NS) jest wielkością bezwymiarową, stosowaną do jego hydraulicznego wymiarowania. Odpowiada ona wartości przepływu przez separator (w l/s) podczas wyznaczania przepustowości. Zalecane wielkości nominalne separatorów są następujące: 1.5; 3; 6; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 65; 80; 100; 125; 150; 200; 300; 400 i 500. Według wymagań normy [43] wielkości nominalne i odpowiednia klasa każdego typu separatora określane są w warunkach laboratoryjnych. W przypadku produkcji wg aprobaty technicznej – regulują to przepisy krajowe.

Z uwagi na miejsce wykonania urządzeń, norma wprowadza separatory prefabrykowane, które w całości lub w postaci gotowych części są produkowane na wydziale produkcyjnym wytwórcy oraz separatory wykonywane w miejscu ich posadowienia. Wykonanie separatora w miejscu posadowienia – dopuszcza się dla urządzeń o wielkościach nominalnych równych lub większych niż 150 l/s. Urządzenia mniejszych przepustowości powinny być wykonywane w zakładach produkcyjnych.

Rys. 2.21. Przykład rozwiązania separatora koalescencyjnego [41]

Norma, producenci poszczególnych urządzeń oraz indywidualne aprobaty techniczne określają minimalne wymagania dla osadników z punktu widzenia zabezpieczenia właściwej pracy separatora – przy różnych jego zastosowaniach (nie tylko deszczowych). Kryterium objętościowe osadników stosowanych przed separatorami (patrz tablica 2.10) służy ułatwieniom w projektowaniu separatorów do podczyszczania ścieków zaolejonych różnego pochodzenia (głównie przemysłowych). Nie wyczerpuje ono jednak zasad projektowania dobrych osadników.

W przypadku podczyszczania ścieków deszczowych osadniki współpracujące z separatorami p**owinny jednocześnie spełniać warunki obciążenia hydraulicznego** wynikającego z dobrych praktyk projektowania osadników deszczowych (rozdz. 2.4.1. **oraz minimalnej objętości**, która jest funkcją wielkości nominalnej separatora i rodzaju zlewni (ilości osadów) – patrz tablica 2.10.

Tablica 2.10. Minimalna pojemność osadników współpracujących z separatorem [44]

Przewidywana przykładowa ilość osadu kanalizacyjnego		Minimalna pojemność osadnika
Mała ilość osadów (nie dotyczy oddzielaczy mniejszych lub równych NS 10, poza krytymi parkingami samochodowymi)	– ścieki technologiczne z określoną małą pojemnością osadu kanalizacyjnego, – wszystkie obszary zbierające wodę deszczową, gdzie występuje niewielka ilość mułu z ruchu ulicznego lub podobnych, tj. baseny spływowe na terenach zbiorników benzynowych i krytych stacjach benzynowych	$\frac{100 \cdot NS}{f_d}$
Średnia ilość osadów (minimalna pojemność osadników 600 l.)	– stacje benzynowe, myjnie samochodowe ręczne, mycie części, – place do mycia autobusów, – ścieki z garaży i placów parkingowych pojazdów, – elektrownie, zakłady mechaniczne	$\frac{200 \cdot NS}{f_d}$
Wysoka ilość osadów (minimalna pojemność osadników 600 l.)	– urządzenia myjące dla pojazdów terenowych, maszyn budowlanych, maszyn rolniczych, – place do mycia samochodów ciężarowych	$\frac{300 \cdot NS}{f_d}$
Minimalna pojemność osadników 5000 l.	– automatyczne myjnie samochodowe, tj. obracalne, przejazdowe	$\frac{300 \cdot NS}{f_d}$

Spotykane na rynku rozwiązania separatorów zintegrowanych z osadnikami obejmują zarówno separatory grawitacyjne (w tym z pakietami wielostrumieniowymi), jak i separatory koalescencyjne. Połączenie obu funkcji wiąże się ze wzrostem gabarytów urządzenia. Całkowite zapotrzebowanie powierzchni na osadnik i separator łącznie – dla konstrukcji zintegrowanych jest zazwyczaj mniejsze. Występuje również mniej czynności montażowych. Stąd rozwiązania zintegrowane cieszą się dość dużym zainteresowaniem.

Należy jednak pamiętać, iż separatory produkowane w formie zintegrowanej z osadnikiem z oczywistych przyczyn (producent separatora nie wie gdzie konkretnie zostanie zastosowane dane urządzenie) nie są dostosowane do każdych warunków aplikacyjnych – zwłaszcza do warunków konkretnej zlewni deszczowej. Konstrukcje zintegrowane najczęściej wykorzystywane są do podczyszczania ścieków zawierających niewielką ilość zawiesin (np. zaolejonych ścieków przemysłowych), a część osadnikowa separatora spełnia jedynie najłagodniejsze z kryteriów pojemnościowych (patrz tablica 2.10). Konstrukcje zintegrowane, w których przewidziano osadniki o zróżnicowanych wielkościach – tak, aby to projektant mógł zdecydować o wielkości osadnika optymalnego dla konkretnej

zlewni deszczowej – na polskim rynku ciągle jeszcze należą do chlubnych wyjątków.

Dlatego w trakcie projektowania należy każdorazowo sprawdzić sposób rozwiązania osadnika w urządzeniu zintegrowanym pod kątem zgodności parametrów osadnika (powierzchnia w planie/obciążenie hydrauliczne, pojemność, itp.) z uwarunkowaniami konkretnej aplikacji – zwłaszcza w przypadku aplikacji dla ścieków silnie zanieczyszczonych zawiesinami. Jeżeli osadnik w urządzeniu zintegrowanym nie spełnia parametrów wymaganych dla osadnika w przedmiotowej aplikacji należy zrezygnować z rozwiązania zintegrowanego i zastosować wydzielony osadnik przed separatorem – spełniający kryteria hydrauliczne i pojemnościowe.

Separator i osadnik mogą być wykonane z żelbetu, betonu, stali, polietylenu, laminatu poliestrowego, polimerobetonu lub stali nierdzewnej.

Dla separatorów wykonywanych na miejscu norma [43] określa sposób badania, stawiane wymagania oraz sposób konstruowania separatora.

Częścią centralną separatora jest komora separacji, w której następuje oddzielenie frakcji olejowych od wody oraz ich okresowe magazynowanie. Konstrukcja separatorów powinna zabezpieczać wydzieloną frakcję olejową przed przypadkowym lub niekontrolowanym wypływem. Zabezpieczenie, o którym mowa realizowane jest poprzez układ przegród wewnętrznych oraz odpowiednią pojemność magazynowania substancji odseparowanych, a także poprzez stosowanie różnego rodzaju automatycznych zamknięć. Różne rozwiązania zamknięć automatycznych omówiono w rozdziale 2.4.4.

Wymagana pojemność magazynowania substancji odseparowanych zależy od wielkości nominalnej. Dla separatorów prefabrykowanych pojemność ta powinna odpowiadać:

- co najmniej 10-krotności wielkości nominalnej (w litrach) – dla urządzeń wyposażonych w automatyczne urządzenia zamykające odpływ,
- co najmniej 15-krotności wielkości nominalnej (w litrach) – dla urządzeń nie posiadających automatycznych urządzeń zamykających.

Separatory mogą być wyposażone w oddzielny zbiornik do magazynowania cieczy lekkich.

a) Warunki doboru i określenie wielkości nominalnej separatorów

Zastosowanie separatorów (szczególnie koalescencyjnych) do usuwania substancji ropopochodnych z wód deszczowych powinno być zawsze szczegółowo umotywowane wymogami ochrony środowiska. Nie ma potrzeby stosowania separatorów tam, gdzie przekroczenie dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń

lekkich jest mało prawdopodobne, a środowisko średnio lub mało wrażliwe (przykłady – rozdział 3.). Niewątpliwie separatory powinny być stosowane na stacjach benzynowych, w rejonie tankowania paliw (szczegółowe przepisy lokalne z reguły zabraniają odprowadzania ścieków jw. do kanalizacji deszczowej) oraz na terenie obiektów towarzyszącym drogom, przy dużych rozjazdach (węzłach komunikacyjnych), wiaduktach i mostach oraz jeśli odbiornik wymaga szczególnej ochrony.

Każdy separator charakteryzują następujące wielkości:

- wielkość nominalna NS równa przepustowości nominalnej separatora,
- podstawowe parametry techniczne i konstrukcyjne zbiornika,
- pojemność magazynowania cieczy lekkich [m^3],
- dopuszczalna grubość warstwy substancji olejowych [cm],
- pojemność całkowita separatora [m^3],
- pojemność osadnika wyrażona w litrach lub m^3 (jeżeli osadnik jest zintegrowany z separatorem w jednym zbiorniku).

W celu zapewnienia prawidłowej pracy separatorów należy:

- właściwie ocenić ilość i jakość ścieków dopływających do urządzeń podczyszczających,
- dobrać odpowiedni typ urządzeń i układ oczyszczania,
- określić parametry techniczne i technologiczne poszczególnych elementów układu,
- na podstawie charakterystyk urządzeń produkowanych seryjnie dobrać gotowe urządzenie lub wykonać projekt indywidualny,
- zmontować poszczególne elementy układu oczyszczania zgodnie z projektem i instrukcją montażu,
- przestrzegać warunków eksploatacji i konserwacji urządzeń.

Podstawą do określenia wielkości nominalnej separatorów substancji ropopochodnych powinien być rodzaj i wielkość strumienia oczyszczanych cieczy. Należy przy tym uwzględnić:

- maksymalny strumień oczyszczanych ścieków (w przedmiotowym przypadku – ścieków opadowych),
- gęstość cieczy lekkiej stanowiącej główne zanieczyszczenie,
- obecność substancji, które mogą utrudniać oddzielanie (np. detergenty – z reguły nie dotyczy ścieków opadowych).

Wielkość nominalną separatora oblicza się ze wzoru:

$$NS = Q_r \cdot f_d \tag{2.3}$$

gdzie:

NS - wielkość nominalna separatora,

Q_r - maksymalny dopływ ścieków opadowych kierowanych do separatora [l/s],

f_d - współczynnik gęstości związany z cieczą lekką [-]

Współczynnik gęstości f_d uwzględnia zróżnicowanie gęstości cieczy lekkich podczas stosowania różnych kombinacji połączeń elementów instalacji. Ogólnie przyjmowane wartości współczynnika gęstości f_d podaje norma [44].

Tablica 2.11. Wartości współczynnika gęstości fd dla różnych układów technologicznych [44]

Gęstość [g/cm^3]	do 0.85	powyżej 0.85 do 0.90	powyżej 0.90 do 0.95
Układ połączeniowy:	Współczynnik gęstości f_d		
- osadnik - separator klasy II - studzienka do poboru próbek	1	2	3
- osadnik - separator klasy I - studzienka do poboru próbek	1 [a)]	1.5 [a)]	2 [a)]
- osadnik - separator klasy II - separator klasy I - studzienka do poboru próbek	1 [b)]	1 [b)]	1 [b)]
[a)] w przypadku oddzielaczy klasy I pracujących tylko grawitacyjnie należy stosować f_d dla oddzielacza klasy II [b)] dla oddzielaczy klasy I i II			

Przy prawidłowo zaprojektowanym separatorze maksymalna ilość ścieków dopływających do niego nie może przekroczyć jego przepustowości hydraulicznej (wyjątki omówiono w rozdz. 2.4.3.). .

b) Warunki instalowania

Separatory powinny być sytuowane w miejscach, łatwo dostępnych do czyszczenia i obsługi. Ponieważ wymagają stałego nadzoru i systematycznego czyszczenia.

- Zapewnienie dogodnego dojazdu sprzętu potrzebnego do wykonania czynności eksploatacyjnych separatora jest podstawowym warunkiem jego poprawnego funkcjonowania.

Lokalizacja i montaż urządzeń musi uwzględniać warunki wynikające z obliczeń statyczno-wytrzymałościowych.

Szczegółowe rozwiązania detali konstrukcyjnych separatorów (np. rodzaj pokryw, zastosowanie odsadzek, kotew lub fundamentów) – powinny być dostosowane do warunków gruntowo-wodnych (nośność gruntu, poziom wód gruntowych) w miejscu posadowienia oraz obciążenia naziomu (teren zielony, ciąg pieszy, teren najezdny).

2.4.3. Przelewy burzowe dla podczyszczalni wód opadowych, separatory substancji ropopochodnych o zmiennych parametrach przepływu

Zgodnie z § 19 Rozporządzenia [55] odpływ wód opadowych w ilości przekraczającej 15 l/s z 1 ha powierzchni szczelnej wymienionych dróg i parkingów może być wprowadzany do odbiornika bez oczyszczania, a urządzenie oczyszczające powinno być zabezpieczone przed dopływem o natężeniu większym niż jego przepustowość nominalna. Stosowanie przelewów burzowych przed urządzeniami oczyszczającymi spływy opadowe z dróg zaleca również norma [42]. W jednostkowym natężeniu dopływu do separatora uwzględnia się parametry opadu spłukującego zanieczyszczenia nagromadzone na powierzchni zlewni oraz fakt, że najbardziej zanieczyszczona jest pierwsza fala odpływu ścieków opadowych. Podczas deszczu nawalnego pierwsza fala wód opadowych trafia do separatora, natomiast przepływ przekraczający przepustowość nominalną - kierowany jest bezpośrednio do odbiornika.

Głównym zadaniem przelewów jest ochrona urządzeń oczyszczających przed nadmiernym przeciążeniem (przekroczeniem przepustowości nominalnej), co mogłoby grozić wypłukaniem zanieczyszczeń zgromadzonych w urządzeniach podczyszczających (zawiesin w osadniku, zanieczyszczeń lekkich – w separatorze). Przelewy burzowe umieszczane są przed oczyszczalnią (osadnikami, separatorami). Mogą być instalowane w wydzielonych komorach poprzedzających urządzenia oczyszczające lub wbudowane w korpus zbiornika urządzenia podczyszczającego (np. separatora). W separatorach zintegrowanych z osadnikiem przelew może być zlokalizowany przed lub za osadnikiem, co ma istotne znaczenie dla uzyskania efektu sedymentacji w przypadku dopływów przekraczających przepustowość nominalną.

Regulacja przepływu przez urządzenia podczyszczające projektowane tylko dla wydzielonej strugi (przepływu nominalnego) nie jest prosta. W tym celu stosowane są urządzenia regulacyjne o różnych konstrukcjach (regulatory

przepływu, upusty denne z progami, układy krawędzi przelewowych, itp. – patrz rys. 2.22.÷2.23., fot. 2.20.÷2.22.). W większości z nich w trakcie wzrostu napływu ścieków do podczyszczalni – występuje również wzrost przepływu w strumieniu kierowanym do urządzeń podczyszczających.

Oprócz urządzenia regulującego dopływ i rozdział strug - sam przelew burzowy powinien być zasyfonowany. Zapobiega to wydostawaniu się zawiesiny wolno opadającej oraz substancji ropopochodnych do odbiornika, a po ustaniu deszczu powoduje skierowanie tych zanieczyszczeń do podczyszczalni.

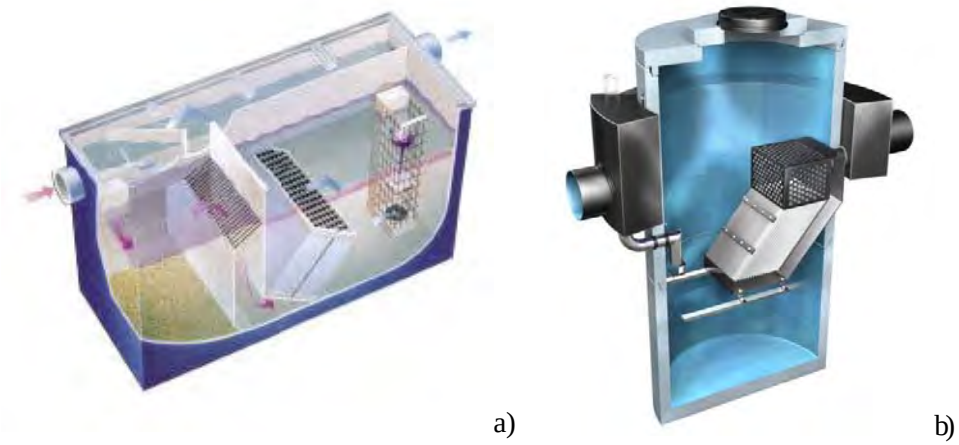
Fakt, że prawo sankcjonuje oczyszczanie tylko część ścieków deszczowych i dopuszcza kierowanie ich nadmiaru do odbiornika bez oczyszczenia nie oznacza, iż można takie rozwiązanie stosować bezkrytycznie. O wyborze układu podczyszczania – z podczyszczaniem wydzielonej strugi o przepływie nominalnym dla danej zlewni (i przelewem burzowym dla przepływów większych od nominalnych) - lub z podczyszczaniem całości ścieków opadowych powinna decydować analiza ryzyka i wrażliwości środowiska.

Częściowe oczyszczanie ścieków deszczowych przy zastosowaniu przelewu burzowego można stosować wszędzie tam, gdzie prawdopodobieństwo wystąpienia nagłego skażenia wód opadowych dużą ilością substancji ropopochodnych (np. w wyniku kolizji drogowej z udziałem cystern z paliwem) jest niewielkie, a potencjalne środowiskowe skutki takiego zdarzenia niezbyt groźne.

W obszarach szczególnie wrażliwych, gdzie nie można absolutnie ryzykować skażeniem wód (powierzchniowych, czy gruntowych) – rozwiązania z przelewami burzowymi nie są rekomendowane (rozdz. 3.1., rys. 3.1., .3.2.)

a) Urządzenia z przelewem wewnętrznym (przelew zintegrowany)

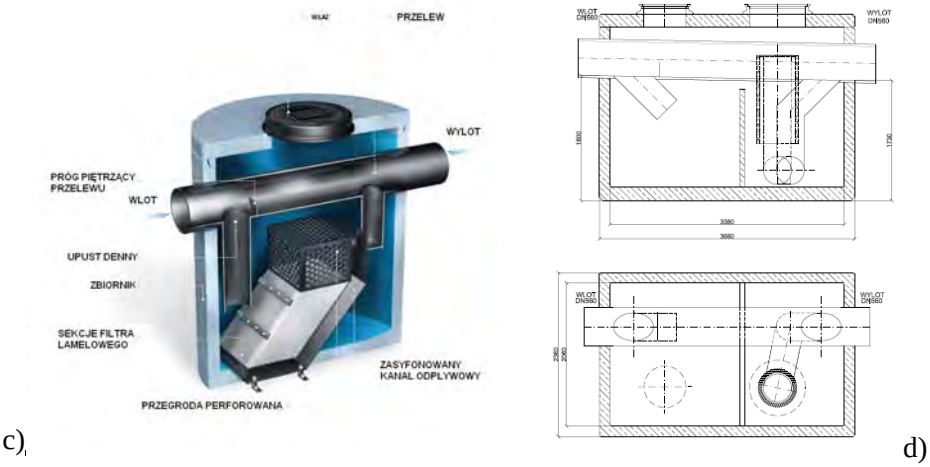
Dla urządzeń podczyszczających zintegrowanych z przelewem – warunkiem otrzymania aprobaty technicznej IOŚ są badania hydrauliczne urządzenia przelewowego potwierdzające prawidłowość rozdziału strug. Prawidłowo działające urządzenie przelewowe to takie, które gwarantuje skierowanie do podczyszczenia całej strugi przepływu nominalnego (przelew nie może się uruchamiać dopóki dopływ nie przekroczy przepustowości nominalnej urządzenia podczyszczającego), a podczas dopływów większych od nominalnych – w warunkach pracy w przeciążeniu - chwilowy przepływ w strudze podczyszczanej nie może przekroczyć 120 % przepustowości nominalnej urządzenia (NS).



a) b)

Rys. 2.22. Przykłady przelewów zintegrowanych [41]:

a) - z układem krawędzi przelewowych, b), c), d) - z upustem dennym i progiem



c) d)

Separatory zintegrowane z przelewem mogą być stosowane wyłącznie do ścieków opadowych!

Urządzenia zintegrowane - osadnik z separatorem i przelewem wewnętrznym w jednym zbiorniku (przykłady – rys. 2.22.a) i 2.22.d)) – są bardzo atrakcyjne dla projektantów i wykonawców ze względu na oszczędność czasu poświeconą na ich dobór i montaż. Jednak na etapie projektowania zawsze należy sprawdzić funkcjonalność rozwiązania zintegrowanego dla danej zlewni - przede wszystkim kryterium obciążenia hydraulicznego dla osadnika oraz mechanizm rozdziału strug w przelewie. W przypadku urządzeń zintegrowanych wyposażonych w osadniki zbyt małe dla danej zlewni oraz w wewnętrzny przelew działający w oparciu

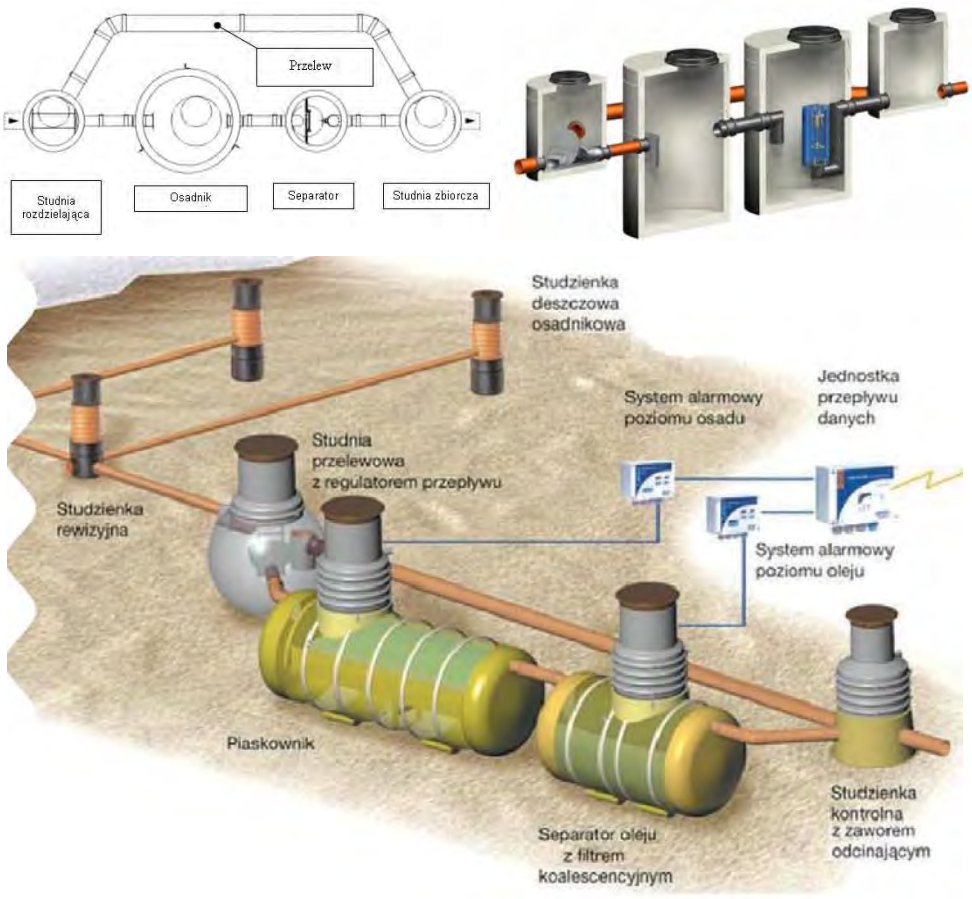
o różnicę napełnień (np. upust denny z progiem lub układ krawędzi przelewowych) – istnieje zagrożenie uczynnienia przelewu nie z powodu wzrostu dopływu do podczyszczalni powyżej wartości nominalnych, ale z powodu wzrostu wewnętrznych oporów przepływu przez urządzenie - np. zakolmatowany wkład koalescencyjny separatora (patrz rozdz. 2.4.1., str 90.) Na zewnątrz urządzenia zintegrowanego fakt przedwczesnego uruchomienia przelewu może być zupełnie niedostrzegalny. W takich przypadkach urządzenie zintegrowane może przez długi okres odprowadzać do odbiornika ścieki bez ich właściwego podczyszczenia (kontrole eksploatacyjne podczyszczalni deszczowych reguły prowadzone są nie częściej niż 2 razy do roku).

b) Zewnętrzne systemy przelewowe

Wielu producentów urządzeń podczyszczających oferuje systemowe rozwiązania przelewów burzowych dla podczyszczalni wód opadowych – z zastosowaniem przelewów zewnętrznych. Przed podczyszczalnią umieszcza się prefabrykowaną komorę rozdziału (najczęściej w formie studzienki) wyposażoną w urządzenie regulujące przepływ. Dostawca urządzeń podczyszczających oferuje kompletną dostawę zarówno komory rozdziału, zewnętrznego przewodu dla wód nadmiarowych oraz końcowej studzienki połączeniowej (rys. 2.23.).

W komorach rozdziału – oprócz tradycyjnych rozwiązań z krawędziami przelewowymi - stosowane są różnego rodzaju regulatory przepływu. Urządzenia te posiadają zdolność znacznie bardziej precyzyjnego rozdziału strug niż krawędzie przelewowe współpracujące z elementami dławiącymi.

Z uwagi na zastosowanie w różnych konfiguracjach technologicznych podczyszczalni ścieków opadowych – regulatory przepływu omówiono szerzej w rozdziale 2.4.7.



Rys. 2.23. Przykłady systemowych rozwiązań podczyszczalni deszczowych z przelewami zewnętrznymi – oferowanych przez dostawców urządzeń podczyszczających [41]

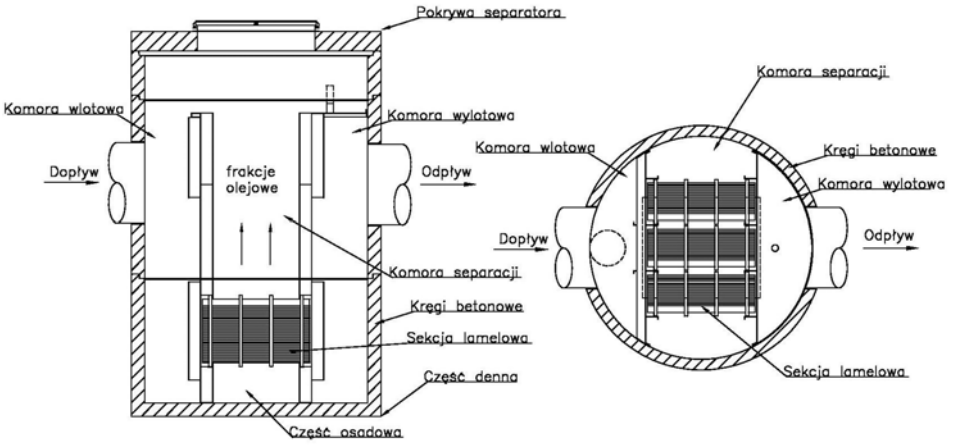
c) Separatory ropopochodnych o zmiennych parametrach przepływu

Oprócz układów podczyszczania wyposażonych w przelewy (wewnętrzna bądź zewnętrzne) na rynku są dostępne rozwiązania grawitacyjnych separatorów ropopochodnych przystosowanych do zmiennych parametrów przepływu – w tym do pracy w warunkach przeciążenia hydraulicznego (rys. 2.24.).

Urządzania te posiadają dwie wielkości znamionowe:

- przepustowość nominalną [dm^3/s] – odpowiadającą najwyższej skuteczności podczyszczania ścieków,
- maksymalną przepustowość hydrauliczną [dm^3/s] – odpowiadającą granicznemu dopływowi dla którego producent gwarantuje wytrzymałość

konstrukcji oraz to, iż nagromadzone zanieczyszczenia nie zostaną wyniesione z wnętrza urządzenia (potwierdzane badaniami laboratoryjnymi w toku postępowania o uzyskanie aprobaty technicznej).



Rys. 2.24. Przykładowe rozwiązanie i zasada działania separatora lamelowego o zmiennych parametrach przepływu [41] g)

Skuteczność działania separatora wraz ze wzrostem jego obciążenia hydraulicznego systematycznie maleje – od wartości maksymalnych gwarantowanych dla przepływów w granicach przepustowości nominalnej urządzenia (97 % skuteczności względem oleju stosowanego do badań wg normy [43]), poprzez 95÷90 % dla przepływów odpowiadających 20÷30 % maksymalnego obciążenia hydraulicznego (materiały katalogowe [41]g)). Skuteczność separacji podczas maksymalnego dopuszczalnego obciążenia hydraulicznego – nie została dokładnie określona w badaniach.

Z punktu widzenia przepisów prawa – działanie tego typu separatora podczas dopływów przekraczających przepustowość nominalną – odpowiada działaniu podczyszczalni wód opadowych z przelewem – gdzie część wód jest podczyszczana (struga kierowana do separatora), a cześć nie (struga kierowana do przelewu). Zjawisko przebiega w granicach dopływów deszczowych, których oczyszczania ustawodawca nie wymaga.

Występują jednak zasadnicze różnice konstrukcyjno-funkcjonalne, które mogą mieć wpływ na efekt środowiskowy podczyszczalni opartej na zastosowaniu separatorów o zmiennym przepływie:

- nie występuje tu żaden fizyczny przelew (ani wewnętrzny, ani zewnętrzny),
- podczyszczana jest zawsze cała struga - bardziej, bądź mniej efektywnie, ale zawsze ze skutecznością większą od zera, stąd ogólny efekt

środowiskowy może być większy od zastosowania podczyszczalni z przelewem ([31]),

- w przypadku wystąpienia kolizji drogowej skutkującej awaryjnym rozlewem ropopochodnych podczas trwania opadu – ilość zanieczyszczeń dopływających do urządzeń podczyszczających nie ma nic wspólnego z opadem spłukującym i może wystąpić również podczas kulminacji opadu,
- opcjonalne zastosowanie zamknięcia odpływu (patrz rozdz. 2.4.4.) – daje pewność zatrzymania całej strugi (nie ma możliwości wydostania się zanieczyszczeń poprzez przelew).

Dobierając wielkość separatora uwzględnia się obydwie wielkości znamionowe:

- pierwsza wielkość znamionowa separatora powinna być większa lub równa dopływowi ścieków opadowych pochodzących z opadu nominalnego (patrz rozdz. 1.2.2. c)),
- druga wielkość znamionowa – powinna być większa od maksymalnego przepływu deszczowego przewidywanego w danym systemie odwodnienia.

W tym wypadku wielkość znamionowa podawana przez producenta jako maksymalna przepustowość- nie może być przekraczana w żadnych warunkach, ze względu na bezpieczeństwo konstrukcji oraz możliwość wystąpienia opadów większych od obliczeniowych – dobrze jest gdy dobrane urządzenie posiada zapas przepustowości hydraulicznej (rzędu 15÷20 %).

2.4.4. Zamknięcia automatyczne

Normy [43] [44] rekomendują stosowanie urządzeń zabezpieczających, które w sposób automatyczny, bez ingerencji człowieka zamykają odpływ ścieków z separatora po wypełnieniu części komory separacji przeznaczonej na magazynowanie oleju (tzw. pojemność magazynowania substancji odseparowanych - patrz rozdz.2.4.2.).

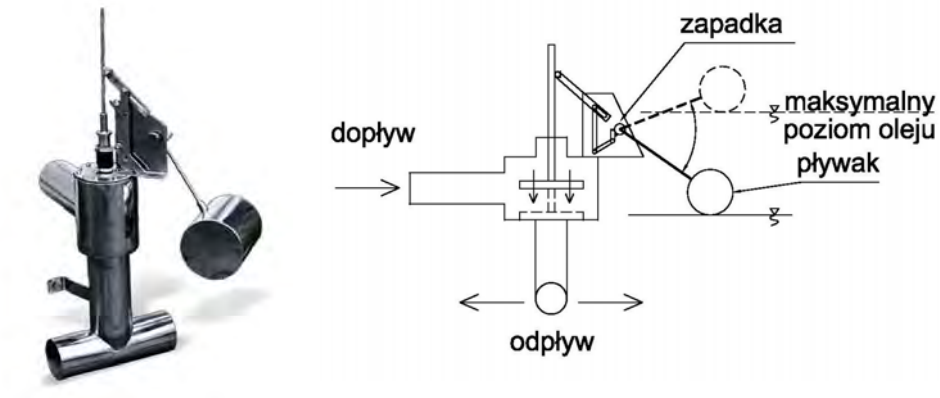
Zamknięcia automatyczne nie są bezwzględnie wymagane. W wielu aplikacjach mogą mieć istotne znaczenie praktyczne, ponieważ:

- wymuszają konserwację separatora (w przypadku zaniedbań eksploatacyjnych),
- w przypadku nagłego wycieku oleju – zamknięcie zapobiega skażeniu zbiornika.

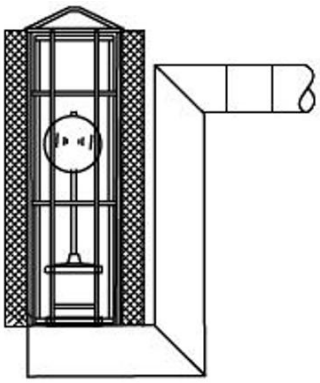
Stosowane są różne konstrukcje zabezpieczeń, min:

- zawory pływakowe,
- śluzy dopływu, klapy,

- zasuwy lub przepustnice sterowane układem sond olejowych kontrolujących stopień wypełnienia komory separacji.



Rys. 2.25. Przykładowe rozwiązanie [41] i zasada działania śluzy dopływu



Rys. 2.26.

Fot. 2.16.

Przykładowe rozwiązanie zaworu pływakowego w kolumnie koalescencyjnej separatora [41]

Fot. 2.17. Przykładowe rozwiązanie zamknięcia z przepustnicą – na połączeniu wypływu strugi podczyszczanej oraz wylotu przelewu nadmiarowego [41]

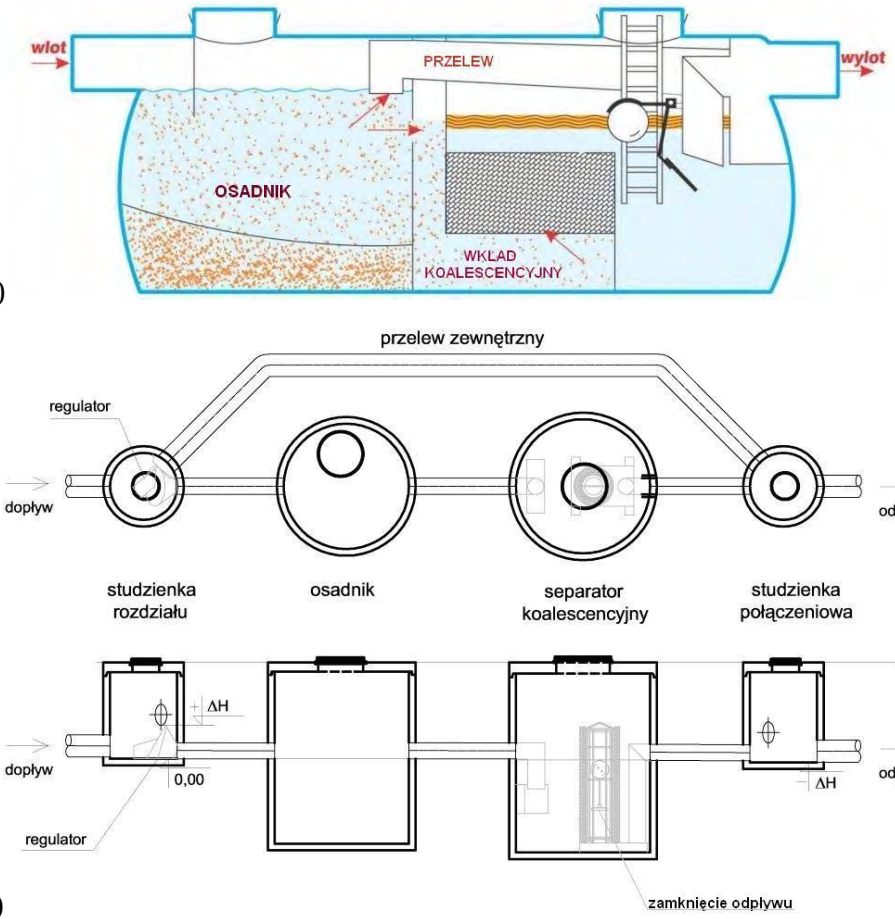
Automatyczne urządzenia zamykające wypływ ścieków oczyszczonych z separatora powinny zapewnić skuteczne działanie. Zamykanie powinno być uruchomione przez nagromadzoną ciecz lekką.

Jeżeli urządzenia zamykające są sterowane za pomocą pływaków, powinny one być łatwo wyjmowane i odpowiednio wytarowane - w zależności od rodzaju oleju stanowiącego dominujące zanieczyszczenie. Najczęściej pływaki tarowane są - na gęstość 0,85 g/cm^3 (większość zastosowań drogowych), rzadziej 0,95 g/cm^3 (np. w parkach zbiorników magazynowych dla oleju ciężkiego lub przy stacjach transformatorowych).

W przypadku stosowania zasuw lub przepustnic sterowanych sondami oleju – istotnym parametrem wpływającym na pracę zamknięcia jest czas reakcji – czyli czas w jakim sonda przekazuje sygnał oraz czas potrzeby na zamknięcie przepustnicy lub zasuwy przez napęd. Z reguły jest on dłuższy niż czas potrzebny na zamknięcie urządzenia z pływakiem (nawet do 1 minuty). Najszybciej działającym zamknięciem są śluzy dopływu. Zwolnienie zapadki przez ramię pływaka powoduje błyskawiczne opadnięcie układu blokującego, który odcina dopływ. Szybciej działające zamknięcia generują większe uderzenia hydrauliczne. Przy dużych dopływach – zjawisko uderzenia hydraulicznego może spowodować różne skutki uboczne w systemie odwodnienia. Stąd optymalny dobór rodzaju zamknięcia powinien być wynikiem analizy zagrożeń środowiskowych i technicznych warunków pracy systemu odwodnienia.

Skuteczność automatycznych urządzeń zamykających odpływ z separatora w większym stopniu zależy od układu instalacyjnego w którym separator pracuje niż od konstrukcji samego urządzenia zamykającego. Należy pamiętać, iż w przypadku zastosowań dla wód deszczowych, gdzie prawo dopuszcza omijanie urządzeń

podczyszczających poprzez różnego rodzaju konstrukcje przelewowe – dla dopływów przekraczających wielkości nominalne (patrz rozdz. 2, str. 31 i rozdz. 2.4.3. a÷b) – automatyczne zamknięcie odpływu wewnątrz separatora w wyniku jego przepełnienia substancjami ropopochodnymi może prowadzić do uczynnienia przelewu i skierowania dopływających zanieczyszczeń bezpośrednio do odbiornika.



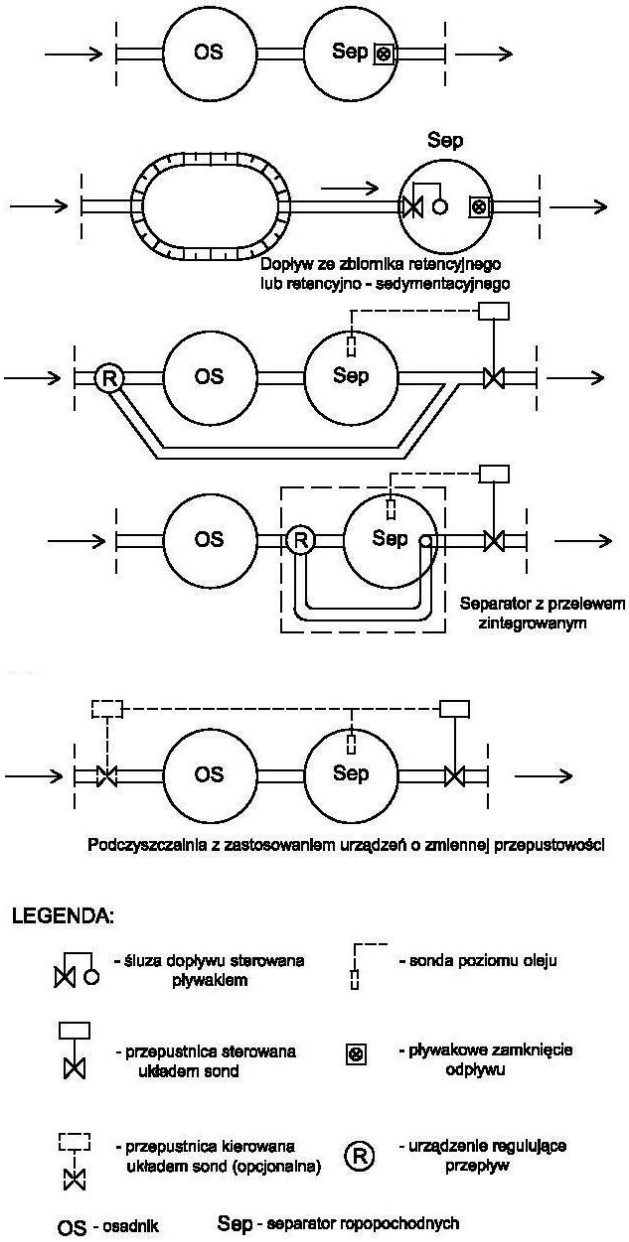
Rys. 2.27. Przykładowe rozwiązania podczyszczalni z separatorem wyposażonym w automatyczne zamknięcie oraz z przelewem wewnętrznym (A) lub zewnętrznym (B), w których zamknięcie odpływu z separatora jest nieskuteczne pod względem efektów ekologicznych - powoduje skierowanie całego rozlewu awaryjnego do obiegu. [41]

Stąd w przypadku podczyszczalni deszczowych z przelewem dla przepływów ponad nominalnych – skuteczną blokadą wypływu zanieczyszczeń z przepełnionego separatora jest albo zamknięcie zastosowane za podczyszczalnią (po połączeniu obydwu strug), albo zastosowanie analogicznego zamknięcia (np. automatycznej zasuwy sterowanej sondą olejową) przed całym zespołem podczyszczającym – łącznie z elementem rozdzielającym strugi. W takim przypadku zamknięcie zasuwy, czy urządzenia pływakowego zatrzyma nadmiar wydzielonych substancji olejowych w kanałach dopływowych.

Na rys. 2.28 Przedstawiono przykłady poprawnego - z punktu widzenia funkcjonalnego - usytuowania urządzeń zamykających przepływ w podczyszczalniach ścieków opadowych.

W przypadku, gdy zamknięcie znajduje się na odpływie z separatora (podczyszczanie na cały przepływ) lub na odpływie z całego układu podczyszczającego – po odcięciu odpływu możliwe jest dalsze spiętrzanie substancji ropopochodnych w kominie separatora i osadnika, aż po właz rewizyjny.

W przypadkach, gdy dysponujemy dużą pojemnością samej sieci kanalizacyjnej lub podczyszczalnia jest poprzedzona np. zbiornikiem – korzystniejsze może być zastosowanie zamknięcia na dopływie do separatora, gdyż jego pojemność magazynowa w chwili uruchomienia zamknięcia jest i tak na wyczerpaniu.



Rys. 2.28. Przykłady stosowania zamknięć automatycznych w ciągu technologicznym podczyszczani deszczowych

2.4.5. Odbiór, eksploatacja, praktyczne przesłanki wyboru urządzeń sedymentacyjno - flotacyjnych

a) Odbiór

Przy odbiorze urządzeń (osadnika / separatora) od firmy instalacyjnej, która wykonała montaż, należy zwrócić uwagę:

- na zgodność z projektem,
- na to, czy z urządzenia usunięto resztki gruzu, zaprawy bądź elementów flotujących (styropianu),
- na szczelność połączeń oraz samych zbiorników (osadnika/separatora),
- na właściwe osadzenie włazów rewizyjnych, tzn. nad filtrami koalescencyjnymi (innymi wkładami technologicznymi).

b) Podstawowe zasady eksploatacyjne osadników i separatorów.

Warunki konserwacji osadników i separatorów substancji ropopochodnych są do siebie podobne i stanowią poważny problem eksploatacji dróg. Częstość kontroli i konserwacji osadników oraz separatorów określa producent lub projektant urządzeń. Zgodnie z PN-EN 858-2:2005 [44] czyszczenie urządzeń powinno się odbywać nie rzadziej niż raz na sześć miesięcy.

Częstsze czyszczenie separatorów i osadników wymagane jest wówczas, gdy objętość osadu i substancji olejowych zbliża się do wartości dopuszczalnych ich magazynowania. Stan techniczny urządzeń ocenia się na podstawie systematycznej kontroli ilości nagromadzonych zanieczyszczeń, wyglądu wkładów (koalescencyjnych, wielostrumieniowych, itp.) w separatorach, sprawdzenia działania automatycznego urządzenia zamykającego. Należy zapobiegać samowolnemu usuwaniu automatycznego urządzenia zamykającego (np. poprzez podwieszenie pływaka do włazu na sztywnym łączu). Kontrole powinny być prowadzone co najmniej raz na kwartał oraz po wystąpieniu opadów nawalnych.

Najczęściej czyszczenie wykonuje się we wczesnych miesiącach wiosennych, w celu usunięcia nagromadzonych podczas zimy osadów i substancji olejowych z roztopów. Czyszczenie osadników i separatorów na sieciach deszczowych powinno zakończyć się najpóźniej do maja – czerwca, ponieważ w okresie letnim intensywne deszcze powodują wypłukanie zgromadzonych w separatorze substancji ropopochodnych oraz osadów. Drugie czyszczenie powinno być wykonane w okresie jesienno-zimowym, aby pozostawić miejsce na osady, które spływać będą do podczyszczalni ze szczególnym nasileniem w okresie wiosennych roztopów.

Obsługa instalacji powinna być wykonywana przez doświadczony personel. Najczęściej zadanie to zleca się specjalistycznej firmie serwisującej, dysponującej odpowiednim sprzętem do odbioru, transportu i utylizacji zanieczyszczeń oraz

posiadającej odpowiednie zezwolenia. Przebieg każdej kontroli i czyszczenia powinien być odnotowany w zeszycie eksploatacji urządzenia, który stanowi podstawę kontroli funkcjonowania urządzeń przeprowadzanych przez służby ochrony środowiska. W zeszycie eksploatacji odnotowuje się datę kontroli i jej zakres (ocena wizualna, pomiar grubości warstwy oleju i osadu itp.), datę czyszczenia, ilość wybranych odpadów i podpis przedstawiciela firmy czyszczącej. Powinien być również zamieszczony schemat urządzenia z danymi eksploatacyjnymi, dotyczącymi dopuszczalnych grubości warstwy olejów i osadów oraz lokalizacji punktów pomiarów kontrolnych.

Zasadniczo konserwacja osadników i separatorów substancji ropopochodnych składa się z kilku podstawowych elementów:

- kontroli wizualnej osadnika i separatora obejmującej ocenę stanu technicznego, usunięcie zgromadzonych zanieczyszczeń pływających (liści, gałęzi, itp.), sprawdzenie ilości zgromadzonego osadu (za pomocą łaty mierniczej lub sondy talerzowej) i oleju (sztywna żerdź posmarowana pastą zmieniającą barwę pod wpływem ropopochodnych). Ilość zgromadzonego osadu nie może przekroczyć wielkości zakładanej przez projektanta; zwykle wynosi ona około 1/3 do 1/2 pojemności czynnej osadnika; a grubość warstwy oleju nie może przekroczyć wielkości granicznej określonej w instrukcji separatora. W przypadku stwierdzenia takiego poziomu wypełnienia osadem lub olejem - konieczne jest oczyszczenie urządzenia,
- odbioru odpadów niebezpiecznych, tj. osadów zaolejonych i mieszanin wodno-olejowych zgromadzonych w urządzeniach. Odbioru tego dokonuje się za pomocą specjalistycznych samochodów serwisowych, wyposażonych w wysokowydajne pompo-sprężarki do pobierania szlamu z dna separatora i osadników,
- serwisu - polegającego m.in. na wykonaniu: demontażu i montażu filtrów koalescencyjnych (lub innych wkładów stosowanych w urządzeniu), czyszczeniu filtrów (wkładów), a w przypadku ich uszkodzenia - naprawy lub wymiany, sprawdzeniu pracy pływaka (lub innego stosowanego zamknięcia), umyciu osadnika, uruchomieniu i sprawdzeniu systemów alarmowych oraz innych czynności zalecanych przez producenta urządzeń. Po zakończeniu prac serwisowych separator napełnia się czystą wodą i sprawdza się pracę pływaka,
- unieszkodliwiania odpadów ropopochodnych, osadów oraz mieszanin wodno-olejowych w punktach utylizacji, zgodnie z wymogami przepisów o odpadach.

c) Praktyczne przesłanki wyboru urządzeń

Przy podejmowaniu decyzji o zastosowaniu konkretnego urządzenia podczyszczającego (separatora, osadnika, urządzenia zintegrowanego) warto zwrócić uwagę:

- czy jest deklaracja zgodności z normą, aprobatą techniczną IOŚ lub dokumentacją indywidualną. Ww. dokumenty odniesienia określają min. gwarantowany przez producenta stopień usuwania zanieczyszczeń (zawiesiny, substancji ropopochodnych);
- jaka jest konstrukcja i ustawienie włazów rewizyjnych. Szczególnie łatwe do konserwacji są separatory, które po zdjęciu włazów są dostępne na całej długości. Włazy powinny być osadzone nad filtrami koalescencyjnymi (bądź wkładami wielostrumieniowymi). Inne ich umiejscowienie bardzo utrudnia, a czasami wręcz uniemożliwia wyjmowanie filtrów i jakikolwiek serwis urządzeń;
- na powierzchnię, kształt i pojemność magazynową zastosowanego osadnika oraz inne elementy zabezpieczające przed mechanicznym zanieczyszczeniem komory separacji i wkładów koalescencyjnych (lub wielostrumieniowych) separatora. Powierzchnia osadnika w planie ma większe znaczenie dla skuteczności usuwania zawiesin niż jego objętość (patrz zasady wymiarowania osadników rozdz. 2.4.1.)
- czy urządzenie jest wyposażone w automatyczne zamknięcie, a jeśli tak, to jak jest ono usytuowane w ciągu technologicznym podczyszczalni. Tylko prawidłowo usytuowane zamkniecie zapobiega skażeniu odbiornika (patrz rozdz. 2.4.4.);
- w przypadku urządzeń z przelewem szczególną uwagę należy zwrócić na parametry techniczne osadnika, sposób rozwiązania samego przelewu oraz powiązanie funkcjonalne przelewu z automatycznym zamknięciem; należy wykluczyć zagrożenie omijania urządzeń podczyszczających przez strumień ścieków o natężeniu mniejszym od granicznych przepływów nominalnych (które wymagają pełnego podczyszczania);
- czy są stosowane alarmy; do zastosowania alarmów winno podchodzić się z rezerwą, ponieważ przy odwodnieniu dróg większość zanieczyszczeń kumuluje się w osadach i wolne oleje występują w małych ilościach. Koszt montażu alarmu w takich przypadkach jest niczym nieuzasadniony. Stosowanie alarmów ma sens przede wszystkim w urządzeniach oczyszczających, które są montowane w zlewniach narażonych w sposób ciągły na skażenie substancjami ropopochodnymi.

2.4.6. Konstrukcje zbiorników retencyjnych

W rozdziałach 2.2.1.÷2.2.2. omówiono przypadki zastosowań stawów i zbiorników otwartych w formie basenów ziemnych, które w odwadnianiu dróg są rozwiązaniem stosowanym najczęściej. Jednak tam, gdzie warunki przestrzenne na to nie pozwalają - np. brak dostatecznie dużej powierzchni do wykonania statecznych skarp, albo występuje bardzo duże zróżnicowanie poziomu terenu - wymagane jest stosowanie umocnień w postaci odpowiednich prefabrykatów, ścian lub murów oporowych, albo konstrukcji wylewanych na mokro.

Obiekty takie nie mają charakteru naturalnego, a występujące w nich elementy zieleni (jeżeli w ogóle występują) – nie pełnią roli oczyszczającej. Stanowią wyłącznie element architektury krajobrazu. Mogą one stanowić spore wyzwanie dla inżynierów konstruktorów, zwłaszcza że w miejscach lokalizacji zbiorników często występują trudne warunki gruntowe, a w przestrzeni miejskiej – często również dla architektów (patrz fot. 2.19.)

Główne funkcje oraz zasady wymiarowania zbiorników retencyjnych otwartych przedstawiono w rozdziale 2.2.2. a) niniejszego zeszytu. Szczegółowe wymagania oraz schematy przedstawiono w zeszycie PG-1, rozdział 4.4.5 [23].

Fot. 2.18. Zbiornik retencyjno-sedymentacyjny współpracujący z pompownią – obwodnica Trójmiasta, węzeł Barniewice

Fot. 2.19. Zbiornik retencyjny wód deszczowych o kilku poziomach retencji i walorach ozdobnych – Sopot, ul. Kochanowskiego

Tam, gdzie uwarunkowania przestrzenne są skrajnie niekorzystne dla lokalizacji zbiorników otwartych – należy stosować zbiorniki całkowicie zamknięte (również w formie rur w pasie drogowym).

Elementami konstrukcji zbiorników są budowle regulacyjne (komory zasuw, przelewy, upusty, komory z regulatorami przepływu – patrz rozdz. 2.4.7.).

W szczególnym przypadku – zbiorniki mogą stanowić zaplecze komory czerpnej pomp. Budowa odpowiednich zbiorników retencyjnych przy pompowniach (przykład – fot. 2.18.) może być sposobem na zmniejszanie parametrów technicznych pomp (patrz rozdz. 2.4.68).

2.4.7. Regulatory przepływu

Regulatory przepływu są urządzeniami o szerokim spektrum zastosowań w obiektach podczyszczania i zagospodarowania ścieków opadowych. Najczęściej współpracują ze zbiornikami retencyjnymi lub stanowią element zewnętrznych systemów przelewowych (patrz rozdz. 2.4.3. b). mogą być również stosowane bezpośrednio w kanalizacji deszczowej lub w rowach otwartych.

W większości są to urządzenia z wysokogatunkowych stali nierdzewnych, odpornych na czynniki środowiskowe. Mogą być montowane wewnątrz zbiorników otwartych. Ze względów praktycznych – w warunkach polskich najczęściej są jednak umieszczane w wydzielonych, zamkniętych komorach (ochrona przed wandalizmem i kradzieżą).

Precyzja regulacji odpływu w zbiornikach retencyjnych ma znaczący wpływ na wymaganą pojemność retencyjną zbiornika. Stosowanie regulatorów przepływu usprawnia opróżnianie zbiorników. Przy gwarancji utrzymania określonego odpływu maksymalnego (Q_{max}) – w każdym cyklu napełniania i opróżniania zbiornika regulatory przepływu zapewniają dużo większe wartości przepływu średniego niż tradycyjnie stosowne elementy dławiące (upusty, zastawki, czy kryzy). W efekcie - przy zachowaniu tych samych parametrów odpływu maksymalnego - zbiornik wyposażony w regulator – może być 20÷30% mniejszy od zbiornika wyposażonego w zastawki, czy upusty.

Z kolei stosowane w przelewach burzowych – regulatory pozwalają na zmniejszenie kubatury budowli przelewowych oraz skuteczniejszą ochronę urządzeń podczyszczających przez przeciążeniem hydraulicznym.

Na polskim rynku spotyka się dwa podstawowe rozwiązania regulatorów przepływu - zasadniczo różne pod względem zasady działania. Są to:

- regulatory z ruchomą kryzą dławiącą
- regulatory z przepływem wirowym,

W przypadku regulatorów z ruchomą kryzą – wzrost napływu ścieków do komory regulacji (lub komory rozdziału – w przypadku przelewów burzowych) powoduje wzrost napełnienia, a to z kolei podnosi pływak, który zmieniając swoją pozycję powoduje przesuwanie mimośrodowo zamocowanej przesłony. Przesłona stopniowo zamyka dopływ do urządzeń podczyszczających (zastosowanie w komorach rozdziału) lub wypływ ze zbiornika (zastosowanie w urządzeniach

retencyjnych). Optymalny (krzywoliniowy) kształt przesłony ma zagwarantować utrzymanie stałego wydatku w strudze przepuszczanej przez regulator (odpowiadającego przepustowości urządzeń podczyszczających lub maksymalnemu dopuszczalnemu zrzutowi ze zbiornika retencyjnego).

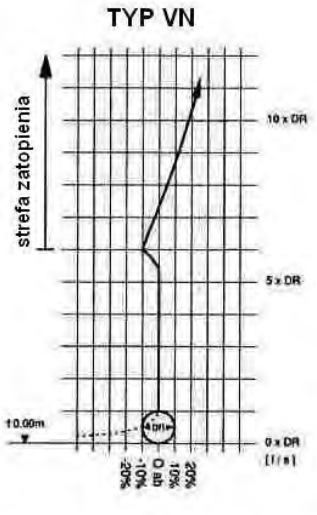
Fot. 2.20. Przykłady regulatorów z ruchomymi kryzami dławiącymi

W przypadku regulatorów wirowych – nie występuje fizyczna blokada przepływu, nie istnieje żadna przesłona. Wzrastające wraz z napływem wód napełnienie komory rozdziału (lub komory odpływowej zbiornika retencyjnego) wywołuje w regulatorze przepływ wirowy. Wzrastająca intensywność wiru powoduje wzrost oporów przepływu, a tym samym efekt dławiący analogiczny do zastosowania przesłony. Każde urządzenie posiada charakterystykę hydrauliczną gwarantowaną przez producenta. Regulator wirowy dobrany dla określonego punktu pracy (H_{max} – wysokość ciśnienia słupa wody, Q_{max} – wydatek maksymalny) – gwarantuje, iż przy napełnieniu komory nie przekraczającym H_{max} przepływ nigdy nie przekroczy Q_{max}.

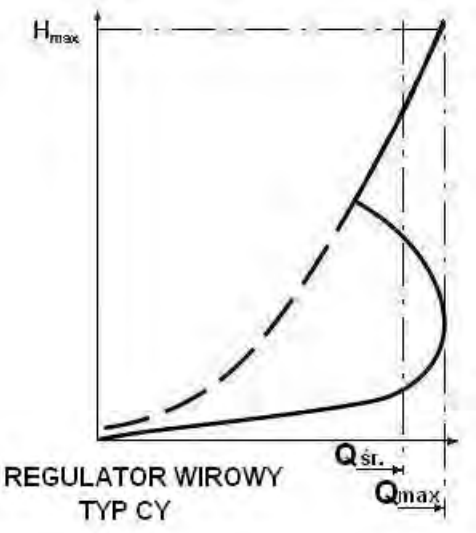
Fot. 2.21. Przykład regulatora z przepływem wirowym

Fot. 2.22. Regulator wirowy zamontowany w studni z kinetą, odpływ z regulatora z dodatkowym króćcem pełniącym funkcję przelewu awaryjnego

W obydwu rozwiązaniach regulatorów - nadmiar wód piętrzy się przed urządzeniem regulacyjnym i odpływa do przelewu (lub gromadzi się w zbiorniku retencyjnym).



Rys. 2.29. Przykładowa charakterystyka hydrauliczna regulatora z kryzą dławiącą



Rys. 2.30. Przykładowa charakterystyka hydrauliczna regulatora wirowego

W regulatorach wirowych charakterystyka hydrauliczna regulatora przechodzi dwukrotnie przez punkt Q_{max}. Przepływ średni kształtuje się w granicach 80÷95 % Q_{max}. w zależności od konkretnego regulatora.

W regulatorach z kryzą - po uzyskaniu pełnej przepustowości regulatora – dalszy przebieg jego charakterystyki hydraulicznej jest pionowy (przestaje zależeć od wysokości słupa cieczy w komorze). W tym przedziale napełnień przepływ średni praktycznie wynosi 100 % Q_{max}. Powyżej wartości napełnienia oznaczającej zatopienie pływaka – wydatek regulatora zaczyna znowu rosnąć wraz ze słupem cieczy w komorze. Jednak z reguły dla określonego zakresu napełnień zbiornika (lub komory rozdziału) - regulatory z ruchomą kryzą dobiera się tak, aby pływak nigdy nie ulegał zatopieniu.

2.4.8. Pompownie ścieków

Pompownie ścieków nie należą do urządzeń ograniczających ilość zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska, jednak mogą być stosowane przy wielu obiektach odwadniających, podczyszczających oraz retencyjnych, a nawet infiltracyjnych, gdy:

- zachowanie pożądanych spadków kanałów wymaga nadmiernego ich zagłębienia,
- wysokościowe usytuowanie odbiornika lub urządzeń podczyszczających wymaga przepompowania ścieków na pożądaną wysokość,
- przepustowość naturalnych odbiorników (lub systemu kanalizacyjnego) jest tak mała, że trzeba dozować zrzuty wód opadowych,
- z uwagi na uwarunkowania lokalne – nie ma możliwości zagospodarowania wód opadowych w danej zlewni i występuje konieczność przerzutu wód poza lokalny wododział.

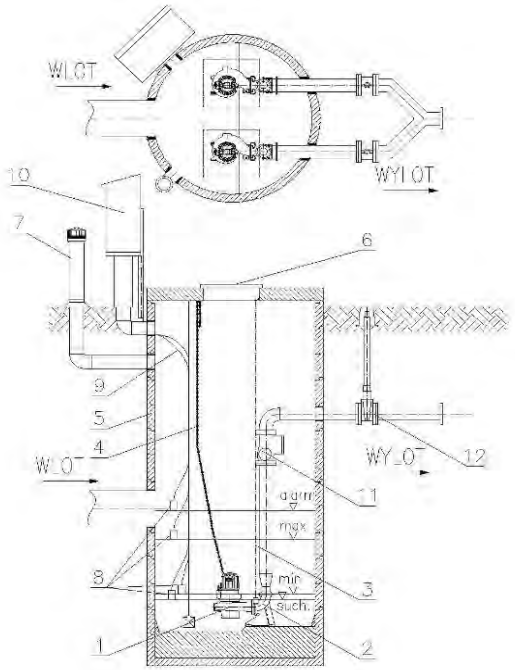
Postęp techniczny w zakresie produkcji pomp, automatyki oraz zbiorników czerpalnych sprawił, że obecnie coraz częściej stosowane są gotowe pompownie wykonane seryjnie u producenta. Pompownie te są kompletnymi i w pełni zautomatyzowanymi urządzeniami, przystosowanymi do wbudowania w sieć kanalizacji grawitacyjno – ciśnieniowej i ciśnieniowej.

W skład typowej pompowni zbiornikowej wchodzą:

- zbiornik czerpalny, wykonany z betonu lub tworzyw sztucznych,
- pompy zatapialne,
- osprzęt hydrauliczno-mechaniczny,
- szafa sterownicza.

Korpus pompowni stanowi prefabrykowany zbiornik, najczęściej o przekroju kołowym, wykonany z prefabrykowanych elementów: kręgu dennego, kręgów

nadbudowy i płyty nastudziennej. Elementy te pozwalają na budowę zbiornika o wymaganej wysokości. W korpusie pompowni wykonane są otwory umożliwiające podłączenie rurociągów (wlotowego i wylotowego) oraz doprowadzenie przewodów elektrycznych i sygnalizacyjnych. Otwory montażowo-eksploatacyjne wyposażone są we włazy, których wymiar dostosowany jest do wymiarów pomp w celu umożliwienia ich bezkolizyjnego montażu i demontażu.



Rys. 2.31. Schemat pompowni ścieków wykonanej z gotowych prefabrykatów

Objaśnienia: 1 – pompa zatapialna, 1 – kolano sprzęgające, 3 – prowadnice, 4 – łańcuch, 5 – zbiornik, 6 – właz, 7 – wentylacja, 8 – pływak, 9 – kable zasilająco sterujące, 10 – szafa sterownicza, 11 – zawór kulowy zwrotny, 12 – zasuwa miękko uszczelniona

Obecnie dominują rozwiązania z pompami zatapialnymi, opuszczanymi na dno komory retencyjnej po specjalnie skonstruowanych prowadnicach. Instalacja tłoczna wyposażona jest w specjalne kolana sprzęgające, a pompy zatapialne w odpowiadające im łączniki. Po opuszczeniu do pozycji dolnej pompa samoczynnie łączy się z kolanem sprzęgającym, zapewniając połączeniu odpowiednią szczelność.

Praca pompowni jest w pełni zautomatyzowana, a obsługa najczęściej wykonywana jest z powierzchni terenu.

Najczęściej układy sterowania wykonywane są jako pływakowe lub z hydrostatyczną lub ultradźwiękową sondą głębokości. W nowoczesnych pompowniach coraz częściej stosowane są system zdalnego monitoringu i wizualizacji – zwłaszcza w odległych lokalizacjach.

Rozwiązania pompowni z agregatami sucho-stojącymi są w chwili obecnej niezmiernie rzadkie i stosowane z reguły tylko w największych obiektach, albo tam, gdzie konieczne jest zassanie ścieków.

Wielkość pompowni zależy od wydajności i wysokości strat, a co za tym idzie – od wielkości i ilości pomp oraz dopuszczalnej liczby włączeń.

Liczbę pomp i ich wydatek dostosowuje się do ilości ścieków deszczowych dopływających z odwadnianej zlewni oraz do warunków przestrzennych i możliwości zasilania energetycznego. Ilość dopływających ścieków zmienia się w zależności od natężenia deszczu. Ogólny wydatek wszystkich pomp powinien być równy lub większy od dopływu z deszczu miarodajnego o natężeniu przyjętym do obliczania sieci kanalizacyjnej/systemu rowów odwadniających (za wyjątkiem przypadków, gdy pompownia jest uzupełnieniem zbiornika o typowej funkcji retencyjnej).

Przy większej liczbie pomp, można łatwiej dostosować ich pracę do zmieniającego się dopływu przez włączanie i wyłączanie poszczególnych agregatów. Większa liczba pomp o mniejszych wydajnościach zmniejsza potrzebną objętość zbiornika wyrównawczego oraz zużycie energii elektrycznej i odwrotnie: mniejsza liczba pomp wymaga do wyrównania ich pracy większej objętości zbiornika.

W skrajnym przypadku, jeżeli warunki przestrzenne na to pozwalają, pompownia może przybrać formę dużego zbiornika retencyjnego z jednym stosunkowo małym agregatem o niewielkiej mocy (przykład: fot. 2.18. i fot. 2.23.).

W odwodnieniach dróg – w przypadku braku naturalnych odbiorników wód opadowych – będzie to jedno z częstszych zastosowań pompowni.

Fot. 2.23. Obwodnica Trójmiasta, węzeł Barniewice - pompownia zastosowana w układzie zbiorników retencyjnych i infiltracyjnych. Pompownia dozuje ścieki do wyżej położonego zbiornika infiltracyjno-parującego.

W przypadku dużych ograniczeń przestrzennych – kiedy priorytetem staje się zmniejszenie zbiornika – należy stosować pompy o wysokiej dopuszczalnej liczbie włączeń. Maksymalna liczba włączeń dla większości dostępnych na rynku pomp waha się w granicach od 4 do 15 włączeń na godzinę (najbardziej popularna dla pompowni do 7.5 kW), w zależności od mocy agregatów. Im mniejsza moc agregatu – tym większa dopuszczalna częstotliwość włączeń. Niektórzy producenci przy specyficznych zastosowaniach dopuszczają ilość włączeń nawet do 30/h. Większa liczba włączeń umożliwia stosowanie mniejszych zbiorników wyrównawczych.

Ze względu na falowy charakter spływów deszczowych oraz skład ścieków (zawartość części ścierających, np. piasku) – w pompowniach deszczowych bardzo ważnym czynnikiem decydującym o parametrach eksploatacyjnych (niezawodności, zużyciu energii elektrycznej, itp.) – jest odpowiedni dobór rodzaju wirnika.

Przykładowo - zastosowanie pomp o dużej prędkości obrotowej silnika oraz małym prześwicie wirnika do transportu ścieków deszczowych, zawierających piasek, powoduje szybkie zużycie wirnika pompy. **Dla ścieków deszczowych najlepiej sprawdzają się pompy w wirnikami kanałowymi**.

Podobnie jak wszystkie urządzenia i obiekty budowane na sieci kanalizacyjnej, tak i pompownie wymagają okresowych prac serwisowych. Obsługa,

konserwacja i serwis pompowni powinny być wykonywane przez doświadczony personel. Najczęściej zadanie to zleca się specjalistycznej firmie serwisującej.

Praca pompowni deszczowych jest związana z częstotliwością występowania opadów atmosferycznych. Przy pogodzie suchej mogą występować długotrwałe postoje pracy pomp, co niekorzystnie wpływa na ich żywotność. Koszt budowy pompowni, doprowadzenia energii elektrycznej, wykonania dróg dojazdowych w celu prowadzenia prac remontowych, jak również same prace konserwacyjne i eksploatacyjne są na tyle wysokie, że budowa pompowni musi wynikać z braku technicznych możliwości zastosowania innego rozwiązania. Projektując pompownie ścieków deszczowych każdorazowo należy bardzo dokładnie rozważyć warunki przestrzenne i optymalizować ilość i moc zastosowanych agregatów z możliwościami przestrzennymi części retencyjnej (mniejsze pompy mają z reguły mniejszą głębokość zalewania).

3. Ekologiczne kryteria wyboru systemu oczyszczania wód opadowych z dróg

Zastosowanie odpowiedniego schematu odprowadzania, oczyszczania i zagospodarowania wód opadowych zależy od wielu czynników, w tym: ukształtowania terenu, warunków hydrogeologicznych i hydrograficznych, wymagań w zakresie korzystania ze środowiska, istniejącej infrastruktury itp. Należy jednak pamiętać, że nie ma gotowych schematów odprowadzania, oczyszczania i zagospodarowania wód opadowych.

Dla potrzeb omówienia właściwych praktyk stosowanych w zagospodarowaniu wód opadowych przyjęto umownie 3 stopniową skalę wrażliwości środowiska na zanieczyszczenia. Przykłady rozróżnienia poszczególnych stopni wrażliwości środowiska podano w tabeli (tablica 3.1).

Tablica 3.1. Obszary o różnym stopniu wrażliwości na oddziaływania związane z odwodnieniem pasa drogowego

OBSZARY BARDZO WRAŻLIWE	– strefy ochrony pośredniej ujęć wód i obszary źródliskowe, – siedliska i akweny hodowlane ryb łososiowatych – obszary ochronne głównych zbiorników wód podziemnych (czas migracji poniżej 5 lat), – jeziora, stawy o powierzchni do 50 ha i zbiorniki o charakterze eutroficznym, – małe rzeki i potoki (ŚNQ - średni, niski przepływ - poniżej 1.5 m^3/s;), – obszary o dużej wodoprzepuszczalności gruntów (współczynnik filtracji $k>10^{-3}$ m/s) i płytkiego zalegania zwierciadła wody gruntowej o znaczeniu gospodarczym,
	– obszary objęte prawną formą ochrony przyrody, których istnienie uzależnione jest od właściwych stosunków gruntowo-wodnych (doliny rzeczne, zbiorniki wodne itp.)
OBSZARY ŚREDNIO WRAŻLIWE	– siedliska i akweny hodowlane ryb karpiowatych, – obszary ochronne głównych zbiorników wód podziemnych (czas migracji 5-25 lat) – jeziora, stawy o powierzchni 50÷100 ha – rzeki i potoki o ŚNQ = 1.5÷5.0 m^3/s, – obszary o średniej wodoprzepuszczalności gruntów (współczynnik filtracji k 10^{-5}-10^{-3} m/s) i płytkiego zalegania zwierciadła wody gruntowej o znaczeniu gospodarczym, – wody wykorzystywane na cele rekreacyjne, – tereny podmokłe z rozwiniętą siecią hydrograficzną,
OBSZARY MAŁO WRAŻLIWE	– pozostałe wody powierzchniowe i grunty.

Kwalifikacja obszarów objętych prawną formą ochrony przyrody, których istnienie uzależnione jest od właściwych stosunków gruntowo-wodnych – z punktu widzenia wrażliwości na zanieczyszczenia nie jest jednoznaczna, czemu dano wyraz lokalizując ww obszary w tabeli 3.1. pomiędzy bardzo i średnio wrażliwymi.

Wybór systemu oczyszczania ścieków opadowych powinien być poprzedzony analizą warunków środowiskowych, które pozwolą na określenie wrażliwości danego obszaru. Pozwoli to na dobór odpowiedniego ciągu technologicznego, obejmującego odprowadzanie, oczyszczanie i zagospodarowanie wód opadowych.

W przypadku obszarów objętych prawną formą ochrony przyrody, których istnienie uzależnione jest od właściwych stosunków gruntowo-wodnych – kluczową kwestią będzie analiza i zhierarchizowanie zagrożeń:

zanieczyszczenie substancjami zawartymi w spływie opadowym / zachwianie stosunków wodnych warunkujących bytowanie gatunków występujących na konkretnym obszarze chronionym.

Hierarchia ww. zagrożeń będzie różna w różnych zlewniach – w zależności chociażby od składu gatunkowego poszczególnych chronionych siedlisk oraz od wielkości zlewni drogowej w stosunku do zlewni obszaru chronionego.

Poniżej przedstawiono schematycznie różne przykłady ciągów technologicznych odwodnienia dróg, możliwe do zastosowania w warunkach krajowych (rys. 3.1. – rys. 3.4). Zastosowano w nich zróżnicowanie w postaci:

- pól nakreślonych linią ciągłą, oznaczających urządzenia, które są niezbędne w danym systemie do uzyskania wymaganego stopnia oczyszczenia wód opadowych,
- pól nakreślonych linią przerywaną, oznaczających urządzenia, które można stosować opcjonalnie, głównie w celu utworzenia małej retencji i zminimalizowania ładunków zanieczyszczeń obciążających środowisko naturalne.

Przedstawione propozycje nie wyczerpują oczywiście wszystkich możliwych rozwiązań.

3.1. Obszary bardzo wrażliwe

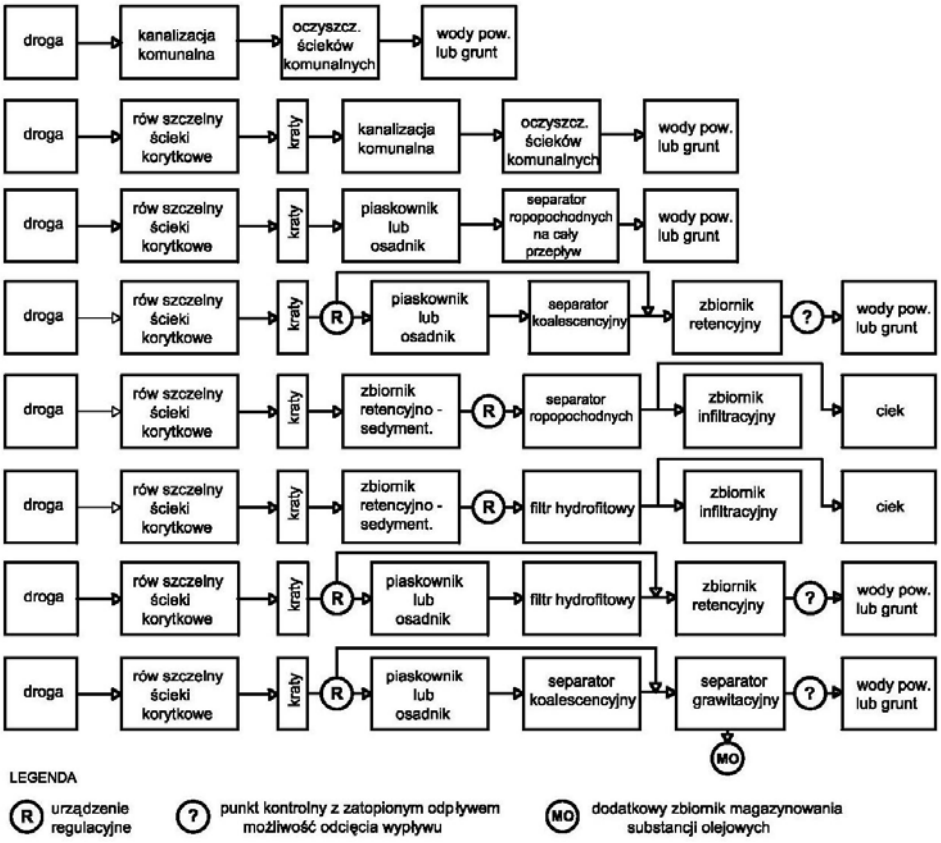
Na większości obszarów bardzo wrażliwych należy projektować szczelne układy odprowadzania spływów opadowych. Pozwoli to na przeniesienie całej ilości zanieczyszczeń do urządzeń oczyszczających. Szczelne układy odprowadzania ścieków deszczowych to głównie: istniejąca infrastruktura kanalizacyjna, rowy szczelne lub rowy szczelne z obsiewem trawą (nie mylić z rowami trawiastymi, które traktowane są jako urządzenie infiltracyjne), a także ścieki korytkowe. Można

również wykorzystać rowy z warstwą filtracyjną, ale wówczas należy wypełnienie filtracyjne odizolować od gruntu barierą hydroizolacyjną (geomembraną, matą bentonitową, itp.). Tak wykonany filtr pod dnem rowu zwiększa wydajność hydrauliczną rowu przy relatywnie małych napełnieniach (filtr pod dnem również odprowadza wodę – jak dren).

W przypadku zastosowania rowów z warstwą filtracyjną nastąpi częściowe oczyszczenie spływów opadowych jeszcze przed ich wprowadzeniem do zasadniczych urządzeń oczyszczających. W rejonie ujścia rowu należy zapewnić odbiór wód z dna filtra (a nie tylko z dna rowu).

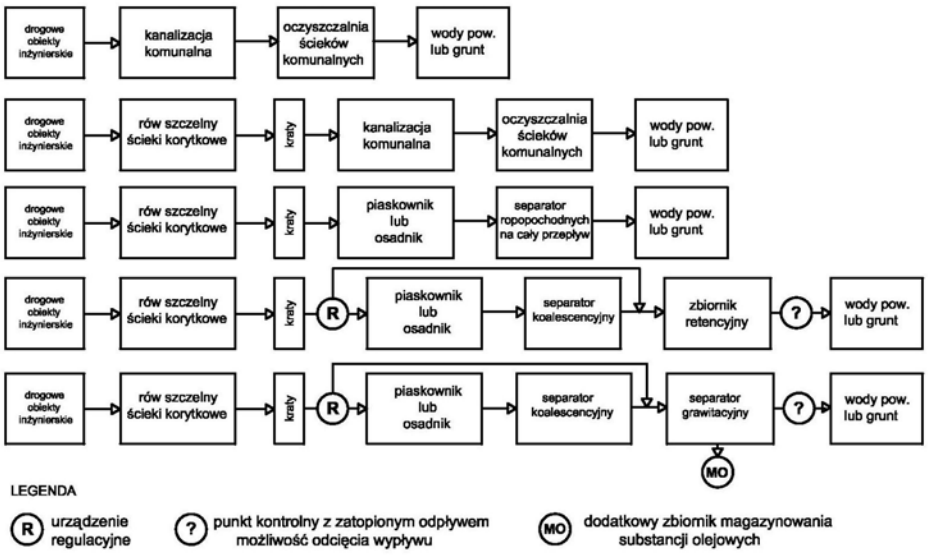
Tam, gdzie droga przebiega tylko na niewielkim odcinku przez obszar bardzo wrażliwy - ścieki deszczowe należy odprowadzać poza obszar wrażliwy, gdzie nastąpi ich właściwe oczyszczenie i wprowadzenie do środowiska.

Proponowane schematy odprowadzania i oczyszczania ścieków opadowych pochodzących z odcinków dróg zlokalizowanych na terenach bardzo wrażliwych przedstawiono na rys. 3.1, a schematy odprowadzania i oczyszczania ścieków opadowych spływających z drogowych obiektów inżynierskich (mosty, tunele, węzły drogowe), jakie mogą występować na tych terenach - na rys. 3.2.



Rys. 3.1. Przykłady systemów oczyszczania ścieków opadowych z liniowych odcinków na terenach bardzo wrażliwych

Występujące w obydwu schematach (rys. 3.1. i rys. 3.2.) przypadki zastosowania przelewów – dopuszcza się tylko wtedy, gdy za urządzeniem z przelewem występuje dodatkowy obiekt podczyszczający całą strugę lub obiekt retencyjny z możliwością awaryjnego zamknięcia odpływu.



Rys. 3.2. Przykłady systemów oczyszczania ścieków opadowych z drogowych obiektów inżynierskich (mosty, tunele, węzły drogowe itp.) na terenach bardzo wrażliwych

3.1.1. Obszary objęte prawną ochroną formą ochrony przyrody, których istnienie uzależnione jest od właściwych stosunków wodnych

W przypadku przedmiotowych obszarów - zalecenie dotyczące projektowania systemów szczelnych oraz wyprowadzania wód opadowych poza chronioną zlewnię - należy traktować warunkowo, tzn. stosować je tylko tam, gdzie szczegółowa analiza hierarchii zagrożeń (patrz rozdz. 3) wykazała, iż ubytek wody spowodowany wyprowadzeniem poza zlewnię wód opadowych z drogi nie zagrozi stosunkom wodnym warunkującym istnienie konkretnego obszaru chronionego. W skrajnym przypadku możemy, bowiem doprowadzić do sytuacji, w której chcąc chronić cenne torfowisko np. przed ewentualnym skażeniem substancjami ropopochodnymi - poprzez skanalizowanie całej zlewni drogowej i wyprowadzenie odpływu do rzeki – poza obszarem chronionego torfowiska – doprowadzimy do wyschnięcia torfowiska i śmierci chronionych gatunków zanim wystąpi jakikolwiek poważny rozlew awaryjny.

Gdy w wyniku szczegółowej analizy zagrożeń dojdziemy do wniosku, iż priorytetem w danym obszarze chronionym jest zachowanie w zlewni wody spływającej z drogi, a chronione siedliska nie wykazują bardzo wysokiej wrażliwości na zanieczyszczenia – możemy stosować rozwiązania rekomendowane dla terenów średnio wrażliwych. Podczyszczone wody opadowe powinny być odprowadzane do środowiska w granicach chronionego obszaru.

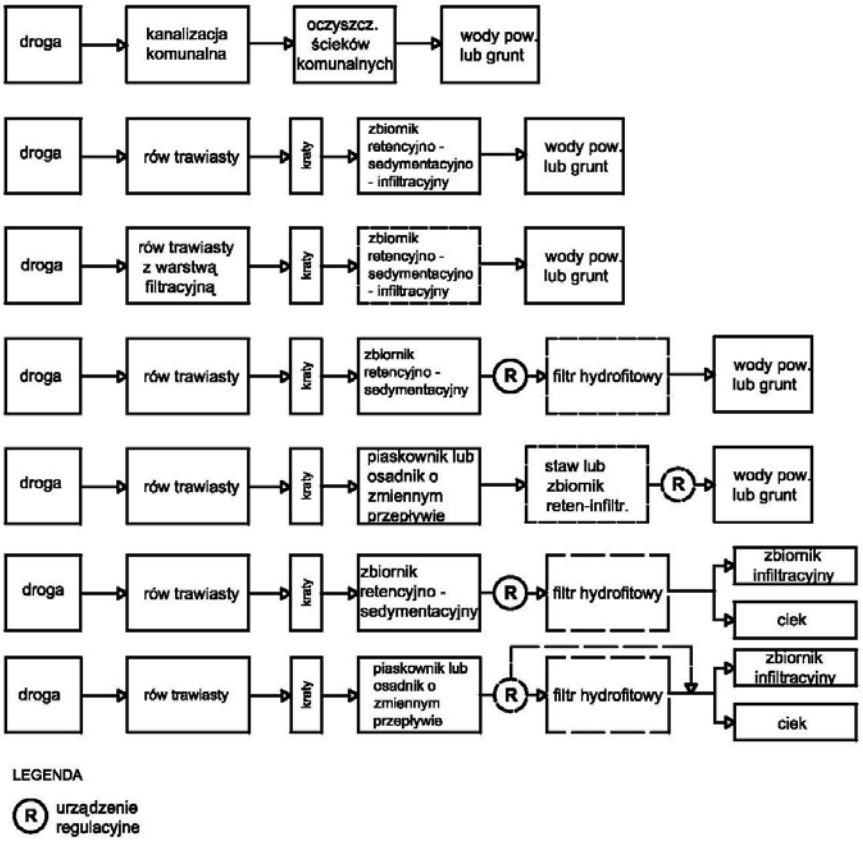
W sytuacji, gdy analiza zagrożeń dla obszaru chronionego wskazuje na równoprawność zagrożeń – kompromisem może być rozwiązywanie odwodnienia drogi poprzez podział na małe ‘pod’ zlewnie i krótkie odcinki szczelne na dopływie do urządzeń podczyszczających oraz wielopunktowe odprowadzanie wód w pełni oczyszczonych w granicach chronionego obszaru.

Spośród przykładów stosowanych urządzeń przedstawionych na rys. 3.1. można zarekomendować stosowanie w takich przypadkach urządzeń, które zapewniają nie tylko sedymentację i flotację, ale również filtrację podczyszczanych wód, np. rowów szczelnych z warstwą filtracyjną, filtrów hydrofitowych oraz zbiorników infiltracyjnych.

3.2. Obszary średnio wrażliwe

Na obszarach o średniej wrażliwości do oczyszczania spływów opadowych proponuje się wykorzystać przede wszystkim rowy trawiaste. Skuteczność usuwania zanieczyszczeń, jaką zapewniają rowy trawiaste w większości przypadków dróg o średnim nasileniu ruchu jest wystarczająca. W przypadkach dróg o dużym nasileniu ruchu pojazdów (powyżej 11 300 pojazdów/d według [4] i [57]) należy rozważyć konieczność zastosowania dodatkowych urządzeń oczyszczających lub - w przypadku wystąpienia poważnych awarii - urządzeń spowalniających przepływ zanieczyszczonych wód (np. zastawki). Zawsze należy przewidzieć możliwość retencjonowania oczyszczonych wód opadowych z wykorzystaniem w pierwszej kolejności naturalnych obniżeń terenu.

Schematy systemów oczyszczania ścieków opadowych pochodzących z liniowych odcinków dróg na terenach średnio wrażliwych przedstawiono na rys. 3.3. Proponowane rozwiązania można również stosować do oczyszczania ścieków deszczowych z innych drogowych obiektów inżynierskich zlokalizowanych w obszarach średnio wrażliwych.



Rys. 3.3. Przykłady systemów oczyszczania ścieków opadowych z liniowych odcinków dróg i drogowych obiektów inżynierskich na terenach średnio wrażliwych

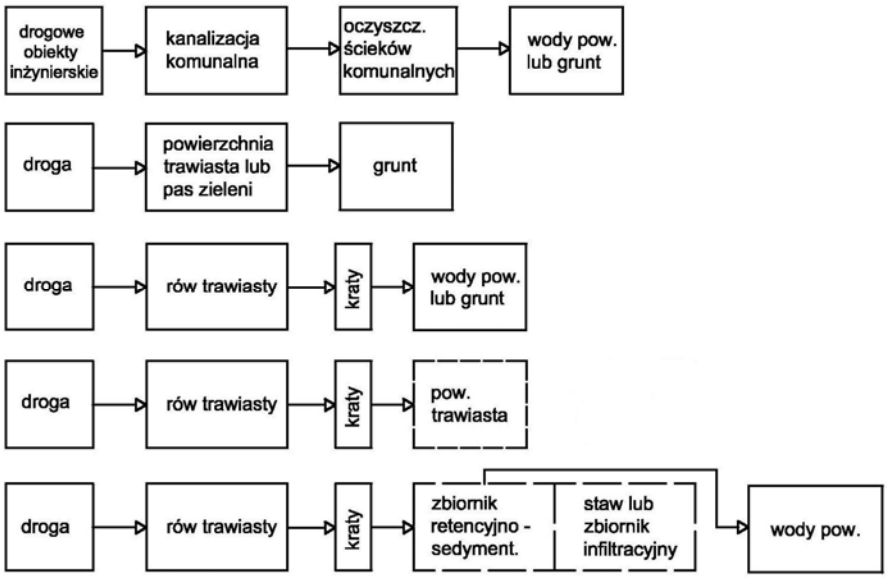
3.3. Obszary mało wrażliwe

Na obszarach o małej wrażliwości proponuje się wszędzie, gdzie to możliwe, stosować rozproszone odwodnienie dróg (powierzchnie trawiaste, muldy, itp.), co pozwoli na lepsze wykorzystanie naturalnych właściwości oczyszczających gleb i gruntów. Rolę podstawowego urządzenia ograniczającego ilość zanieczyszczeń w ściekach opadowych powinny w tym przypadku pełnić rowy (rowy trawiaste, rowy z warstwą filtracyjną, rowy z funkcją retencjonowania itp.).

W przypadku dróg o dużym nasileniu ruchu pojazdów (powyżej 11 300 pojazdów/d, według [4] i [57]) należy – podobnie jak w obszarach o średniej wrażliwości – rozważyć konieczność zastosowania dodatkowych urządzeń

oczyszczających i przewidzieć możliwość retencjonowania oczyszczonych wód opadowych w naturalnych obniżeniach terenu.

Schematy systemów oczyszczania ścieków opadowych, pochodzących z liniowych odcinków dróg występujących na obszarach mało wrażliwych, przedstawiono na rys. 3.4. Proponowane rozwiązania można również stosować do oczyszczania ścieków deszczowych z pozostałych drogowych obiektów inżynierskich, jakie mogą być zlokalizowane w takich obszarach.



Rys. 3.4. Przykłady systemów oczyszczania ścieków opadowych z liniowych odcinków dróg i obiektów drogowych na terenach mało wrażliwych

Zastosowanie w praktyce zaprezentowanych schematów, zróżnicowanych pod względem wrażliwości obszarów na degradację, pozwoli ochronić środowisko przed szkodliwym wpływem działań inżynierskich, w tym również odwodnień pasa drogowego.

3.4. Obiekty towarzyszące drogom

W obiektach towarzyszących drogom, takim jak: miejsca obsługi podróżnych (MOP), miejsca poboru opłat (MPO) oraz obwodach utrzymania autostrady (OUA) występują zróżnicowane rodzaje ścieków:

- ścieki sanitarne z toalet publicznych oraz sanitariatów pracowniczych,

- ścieki opadowe z miejsc postojowych oraz obiektów infrastruktury drogowej (np. z dziedzińców stacji paliw, warsztatów, itp.),
- ścieki przemysłowe z obiektów takich jak: myjnie, warsztaty, stacje uzdatniania wody (popłuczyny), stacje paliw.

Podczyszczanie i zagospodarowanie ww. ścieków stanowi odrębne zagadnienie – wykraczające poza ekologiczne zagadnienia odwodnienia pasa drogowego.

Należy jednak pamiętać, iż ścieki te są źródłem znaczących oddziaływań środowiskowych inwestycji drogowych i eksploatacji dróg.

4. Źródła informacji stanowiące podstawę do sporządzenia opracowania

4.1. Literatura

[1] Anderson D.C. i in., 1991: Factors Controlling Minimum Soil Liner Thickness. EPA/600/S2-91/008.

[2] Barrett M. E., Walsh P. M., Malina Jr. J .F., Charbeneau R. J., 1998: *Performance of vegetative controls for treating Highway runoff.* Journal of environmental engineering

[3] Białowiec A., Zieliński M., Dębowski M., 2007: *Wpływ ewapotranspiracji na pracę hydrofitowych oczyszczalni ścieków*. EkoTechnika 1/41/2007

[4] Bohatkiewicz J. i in., 2008: *Podręcznik dobrych praktyk wykonywania opracowań środowiskowych dla dróg krajowych*. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad

[5] Burszta-Adamiak E., Kęszycka M., Łomotowski J., 2008: *Skład granulometryczny zawiesin występujących w wodach opadowych.* Mat. Konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód" PZITS Oddział Wielkopolski, Poznań.

[6] Cywiński B. i in., 1983: Oczyszczanie ścieków 1,Oczyszczanie mechaniczne i chemiczne. Arkady, Warszawa

[7] Dąbrowski W., 2001: *Parametry fizyczne zawiesin wód deszczowych jako podstawa do systemów podczyszczania.* Gaz, woda i technika sanitarna 6/2001.

[8] Edel R., 2002: *Odwodnienie dróg*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności Warszawa.

[9] Edel R., 2006a: *Powierzchniowe zbiorniki retencyjne.* Magazyn Autostrady 1-2, s. 44-49.

[10] Edel R., 2006b: *Odwodnienie dróg*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności Warszawa.

[11] EPA, 1999: *Storm water technology fact sheet Vegetated Swales.* Wytyczne Agencji ochrony Środowiska USA

[12] Fidala Szope, M. 1999, *Najlepsze dostępne ekonomicznie uzasadnione techniki oczyszczania ścieków opadowych.* IOŚ „Odprowadzanie wód opadowych z terenów zurbanizowanych – problemy prawne, techniczne i ekologiczne (materiały seminaryjne), Jachranka 30 maja-1czerwca 1999.

[13] Geiger W., Dreiseitl H., 1999: *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych, Poradnik.* Projprzem-EKO, Bydgoszcz.

[14] Grau A., 2000: *Rozwiązanie wód deszczowych na małych działkach*. Odprowadzanie i oczyszczanie ścieków deszczowych. Materiały na seminarium PZiTS, ATV, Wrocław.

[15] Halicki W., Warężak T., 2004: *Priorytety gospodarki wodno-ściekowej na terenach wiejskich i współczesne metody jej realizacji na przykładzie gminy Kamieniec*. Gospodarka wodna. Warszawa.

[16] Heidrich Zb., Witkowski A., 2005: *Urządzenia do oczyszczania ścieków. Projektowanie, przykłady obliczeń*. Wydawnictwo „Seidel-Przywecki" Sp. z o.o. Warszawa.

[17] Imhoff K., Imhoff K.R., 1982: *Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków*. Poradnik. Arkady, Warszawa.

[18] Kasterka B., Kasterka B., 2006: *Kumulacja wybranych zanieczyszczeń w osadach dennych oraz roztopowych ulicznych.* Mat. Konf. „Wody opadowe – status prawny, opłaty, technologie" Gdańska Fundacja Wody, Gdańsk-Sobieszewo.

[19] Kołwzan B., 2005: *Bioremediacja gleb skażonych produktami naftowymi wraz z oceną ekotoksykologiczną*. Prace naukowe IOŚ Politechniki Wrocławskiej, Monografie 44, Wrocław.

[20] Lorenc H. i in., 2005: *Atlas klimatu Polski*. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.

[21] Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Arendacz M., 2008: *Oczyszczanie wód opadowych w obiektach hydrofitowych*. Gaz, woda i technika sanitarna 9/2008.

[22] Osmulska-Mróz B. z zesp. 1993: *Zasady ochrony środowiska w projektowaniu, budowie i utrzymaniu dróg. Dział 07 – Ochrona wód w otoczeniu dróg.* Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa.

[23] PG-1: 2008. *Zalecenia projektowania i utrzymania odwodnienia dróg oraz przystanków komunikacyjnych.*

[24] PG-2: 2008. *Zalecenia projektowania, budowy i utrzymania odwodnienia obiektów mostowych.*.

[25] PG-3: 2008. *Zalecenia projektowania budowy i utrzymania odwodnienia tuneli samochodowych, przejść podziemnych i przepustów,*

[26] PG-4: 2008. *Zalecenia projektowania, budowy i utrzymania odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych.*

[27] PG-5: 2008. *Zalecenia projektowania, budowy i utrzymania odwodnienia parkingów i MOP.*

[28] PG-6: 2008. *Zalecenia dotyczące stosowania geosyntetyków w odwodnieniach dróg*.

[29] Reichholf J., 1998: *Tereny wilgotne (leksykon przyrodniczy).* GeoCenter, Warszawa

[30] Sawicka-Siarkiewicz H., 2004: *Ograniczanie zanieczyszczeń w spływach powierzchniowych z dróg. Ocena technologii i zasady wyboru.* Dział Wyd. IOŚ, Warszawa.

[31] Sawicki J.M., 2003: *Wpływ przelewów burzowych na efektywność oczyszczania ścieków*. Gaz, woda i technika sanitarna 7-8/2003.

[32] Styś D., 2008: *Retencja i infiltracja wód deszczowych.* Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów,

[33] Suligowski Z., 2007: *Podczyszczanie wód opadowych. Retencja wskazana.* Magazyn Instalatora nr 2 (102).

[34] Szafer W., Kulczyński St., Pawłowski B., 1986: *Rośliny polskie (klucz do oznaczania roślin naczyniowych).* Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa

[35] Thomas R. i in., 1987: *Controlling Urban Runoff: A practical manual for planning and designing urban BMPS.* Washington Metropolitan Water Resources Planning Board. Washington

[36] Wójcicki T., [red.] 1999: *Zasady ochrony środowiska w drogownictwie*, tom IV, IBDiM Warszawa.

[37] Zawilski M., 2000: *Ochrona środowiska przed spływami opadowymi z dróg przy wykorzystaniu odwodnień niekonwencjonalnych.* Mat. konf. „Odwodnienia drogowe", ALIAS, Poznań.

4.2. Dane internetowe i materiały techniczne firm

[38] http://www.ent.ohiou.edu/~stormbmp/indexa.htm

[39] http://www.cabmphandbooks.com/Documents/Municipal/TC-11.pdf

[40] Materiały techniczne firmy CETCO Poland Sp. z o.o.

[41] Materiały techniczne firm:

a) ACO Elementy Budowlane Sp. z o.o.
b) Meva-Pol Sp. z o.o.
c) AWAS Polska Sp. zo.o.
d) Mosbak A/S
e) Buderus Separatory Polska Sp z o.o.
f) Separator Service Sp. z o.o.
g) Ecol-Unicon Sp. z o.o.,
h) Steinhardt Gmbh Wassertechnik
i) JPR SYSTEM Jarosław Piotr Rosen,
j) Wavin Metalplast Buk

4.3. NORMY

[42] **PN-S-02204/1997**: Drogi samochodowe. Odwodnienie dróg.

[43] **PN-EN 858-1:2005**: Instalacje oddzielaczy cieczy lekkich (np. olej i benzyna). Część 1: Zasady projektowania, właściwości użytkowe i badania, znakowanie i sterowanie jakością.

[44] **PN-EN 858-2:2005**: Instalacje oddzielaczy cieczy lekkich (np. olej i benzyna). Część 2: Dobór wielkości nominalnych, instalowanie, użytkowanie i eksploatacja.

[45] **PN-EN ISO 10318:2007:** Geosyntetyki – Terminy i definicje.

4.4. Akty prawne

[46] Ustawa z dnia 4 lutego 1994 r. Prawo geologiczne i górnicze (tekst jednolity: Dz. U. z 2005 r. nr 228, poz. 1947, z późn. zmianami).

[47] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (tekst jednolity: Dz. U. z 2007 r. nr 39, poz. 251, z późn. zmianami).

[48] Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (tekst jednolity: Dz. U. z 2005 r. nr 239, poz. 2019, z późn. zmianami).

[49] Ustawa z dnia 28 października 2002 r. o przewozie drogowym towarów niebezpiecznych (Dz. U. z 2002 r. nr 199, poz.1671, z późn. zmianami).

[50] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz. U. z 1999 r. nr 43, poz. 430).

[51] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16 stycznia 2002 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych (Dziennik Ustaw z 15 lutego 2002 Nr 12 poz. 116

[52] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. z 2001 r. nr 112, poz. 1206).

[53] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 października 2005 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać dokumentacje hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie (Dz. U. z 2005 r. nr 201, poz. 1673).

[54] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 października 2005 r. w sprawie rodzajów i warunków stosowania środków, jakie mogą być używane na drogach publicznych oraz ulicach i placach (Dz. U. z 2005 r. nr 230, poz. 1960).

[55] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. z 2006 r. nr 137, poz. 984).

[56] Załącznik Nr 1 do zarządzenia nr 30 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad Instrukcja wykonania pomiarów zanieczyszczeń wód opadowych i roztopowych z dróg krajowych.

[57] Zarządzenie Nr 29 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 30 października 2006 r. w sprawie wprowadzenia metodyki prognozowania zanieczyszczeń w ściekach drogowych do stosowania przy opracowywaniu dokumentacji na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad.

[58] Umowa europejska dotycząca międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych (ADR), sporządzona w Genewie dnia 30 września 1957 r. (Dz. U. z 1975 r. nr 35, poz. 189, z późn. zmianami).

Spis tablic

Tablica 4.1. Klasyfikacja odpadów powstających w trakcie eksploatacji urządzeń służących do odwodnienia pasa drogowego

Tablica 4.2. Wartości stężeń zawiesin ogólnych S w ściekach deszczowych z drogi o 4-ch pasach ruchu [42]

Tablica 4.3. Wielkość stężenia zawiesiny ogólnej w zależności od natężenia ruchu [56]

Tablica 4.4. Wartości współczynnika spływu ψ w zależności od rodzaju odwadnianej powierzchni [42]

Tablica 4.5. Wartości współczynnika spływu ψ w zależności od rodzaju odwadnianej powierzchni [10]

Tablica 4.6. Wartości współczynnika spływu ψ w zależności od rodzaju odwadnianej powierzchni dla obszarów poza pasem drogowym (małe zlewnie): [42]

Tablica 4.7. Wartości stałej A dla średniej rocznej sumy opadów H i prawdopodobieństwa deszczu miarodajnego p [42]

Tablica 4.8. Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia deszczu miarodajnego p dla dróg zamiejskich ([42], [50]

Tablica 4.9. Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia deszczu miarodajnego p dla ulic [42]

Tablica 4.10. Wartości czasu koncentracji terenowej tk dla ulic [42]

Tablica 4.11. Wartości czasu koncentracji terenowej tk dla dróg zamiejskich ([42], [49])

Tablica 4.6. Skuteczność działania urządzeń ograniczających zanieczyszczenia w spływach opadowych [30]

Tablica 4.7. Zalecenia dotyczące stosowania poszczególnych sposobów odprowadzania, regulacji oraz oczyszczania spływów opadowych z dróg (opracowano na podstawie [30] oraz doświadczeń własnych)

Tablica 4.8. Trawy i rośliny wodne stosowane w seminaturalnych systemach oczyszczania [8]

Tablica 4.9. Skuteczność usuwania zanieczyszczeń ze ścieków deszczowych z dróg uzyskiwana w seminaturalnych systemach oczyszczania

Tablica 4.10. Porównanie skuteczności działania wybranych naturalnych metod zagospodarowania-oczyszczania spływów opadowych [37]

Tablica 4.11. Zakres stosowania wybranych urządzeń infiltracyjnych [30]

Tablica 4.12. Porównanie wydatku przepływu cieczy przez różne przegrody hydroizolacyjne
Tablica 4.13. Orientacyjne wartości parametrów technologicznych osadników [30]
Tablica 4.14. Wybrane wartości prędkości sedymentacji dla drogowych ścieków deszczowych [42]
Tablica 4.15. Minimalna pojemność osadników współpracujących z separatorem [44]
Tablica 4.16. Wartości współczynnika gęstości fd dla różnych układów technologicznych [44]
Tablica 4.17. Obszary o różnym stopniu wrażliwości na oddziaływania związane z odwodnieniem pasa drogowego

Spis rysunków

Rys. 4.1. Przykłady rowów z warstwą filtracyjną ([10], [30])

Rys. 4.2. Zbiornik infiltracyjny – schemat ideowy [13]

Rys. 4.3.A. Zbiornik infiltracyjny – przykład projektowy

Rys. 4.3.B. Zbiornik infiltracyjny – przykład projektowy

Rys. 4.4. Zbiornik retencyjny otwarty– przykład rozwiązania z dużą różnicą poziomów dopływu i odpływu wg [10]

Rys. 4.5. Schemat ideowy stawu retencyjnego [13]

Rys. 4.6. Staw retencyjny o rozszerzonej retencji wg [22]

Rys. 4.7. Zbiornik retencyjny ze stałą strefą wodną wg [22]

Rys. 4.8. Przykład rozwiązania mieszanego – łączącego elementy zbiornika retencyjno-infiltracyjnego oraz filtra pionowego [13]

Rys. 4.9. Schematyczny przekrój filtra hydrofitowego o przepływie poziomym a) z budowlą regulacyjną na odpływie; b) konstrukcja uproszczona – tzw. pasaż roślinny[32].

Rys. 4.10. Schematyczny przekrój filtra hydrofitowego o przepływie pionowym

Rys. 4.11. Przykładowy schemat sposobów oczyszczania wód opadowych z pasa drogowego

Rys. 4.12. Schematy przykładowych układów do oczyszczania wód opadowych z wykorzystaniem metod seminaturalnych

Rys. 4.13. Przykład uszczelnienia matą bentonitową rowu odwodnieniowego - bez konieczności dodatkowego kotwienia (nachylenie ≤1:2)

Rys. 4.14. Przykład uszczelnienia matą bentonitową rowu odwodnieniowego przy wysokiej skarpie drogowej - z kotwieniem poprzez wywinięcie na powierzchnię poziomą (nachylenie > 1:2)

Rys. 4.15. Przykład uszczelnienia matą bentonitową niecki sedymentacyjnej z roślinami z zakotwieniem typu L

Rys. 4.16. Przykład uszczelnienia matą bentonitową osadników deszczowych z płyt prefabrykowanych

Rys. 4.17. Skład frakcyjny zawiesin deszczowych wg różnych źródeł ([6], [42])

Rys. 4.18. Ogólny schemat osadnika o przepływie poziomym podłużnym [30]

Rys. 4.19. Schemat zabudowy separatora: a - poprzedzonego wydzielonym osadnikiem, b - separator zintegrowany z osadnikiem w jednym zbiorniku

Rys. 4.20. Przykłady różnych rozwiązań osadników z przepływem wirowym [38]

Rys. 4.21. Przykład rozwiązania separatora koalescencyjnego [41]

Rys. 4.22. Przykłady przelewów zintegrowanych [41]:

a) - z układem krawędzi przelewowych, b), c), d) - z upustem dennym i progiem

Rys. 4.23. Przykłady systemowych rozwiązań podczyszczalni deszczowych z przelewami zewnętrznymi – oferowanych przez dostawców urządzeń podczyszczających [41]

Rys. 4.24. Przykładowe rozwiązanie i zasada działania separatora lamelowego o zmiennych parametrach przepływu [41]

Rys. 4.25. Przykładowe rozwiązanie [41] i zasada działania śluzy dopływu

Rys. 4.26. Przykładowe rozwiązanie zaworu pływakowego w kolumnie koalescencyjnej separatora [41]

Rys. 4.27. Przykładowe rozwiązania podczyszczalni z separatorem wyposażonym w automatyczne zamknięcie oraz z przelewem wewnętrznym (A) lub zewnętrznym (B), w których zamknięcie odpływu z separatora jest nieskuteczne pod względem efektów ekologicznych - powoduje skierowanie całego rozlewu awaryjnego do obiegu. [41]

Rys. 4.28. Przykłady stosowania zamknięć automatycznych w ciągu technologicznym podczyszczani deszczowych

Rys. 4.29. Przykładowa charakterystyka hydrauliczna regulatora z kryzą dławiącą

Rys. 4.30. Przykładowa charakterystyka hydrauliczna regulatora wirowego

Rys. 4.31. Schemat pompowni ścieków wykonanej z gotowych prefabrykatów

Objaśnienia: 1 – pompa zatapialna, 1 – kolano sprzęgające, 3 – prowadnice, 4 – łańcuch, 5 – zbiornik, 6 – właz, 7 – wentylacja, 8 –

pływak, 9 – kable zasilająco sterujące, 10 – szafa sterownicza, 11 – zawór kulowy zwrotny, 12 – zasuwa miękko uszczelniona

Rys. 4.32. Przykłady systemów oczyszczania ścieków opadowych z liniowych odcinków na terenach bardzo wrażliwych

Rys. 4.33. Przykłady systemów oczyszczania ścieków opadowych z drogowych obiektów inżynierskich (mosty, tunele, węzły drogowe itp.) na terenach bardzo wrażliwych

Rys. 4.34. Przykłady systemów oczyszczania ścieków opadowych z liniowych odcinków dróg i drogowych obiektów inżynierskich na terenach średnio wrażliwych

Rys. 4.35. Przykłady systemów oczyszczania ścieków opadowych z liniowych odcinków dróg i obiektów drogowych na terenach mało wrażliwych

Spis fotografii

Fot. 4.1., 1.2. Odpady podobne do komunalnych trafiają z pasa drogowego do systemów odwodnień i utrudniają ich prawidłowe funkcjonowanie
Fot. 4.2. Utrudniony dopływ wody rowem szczelnym do piaskownika i separator
Fot. 4.3. Zatkany wlot do piaskownika i separatora
Fot. 4.4. Rów szczelny, który niedługo przekształci się w rów trawiasty
Fot. 4.5. Brak urządzeń do wyłapywania zawiesin oraz większych odpadów
Fot. 4.6. Staw filtracyjny - zła eksploatacja powodująca eutrofizację zbiornika
Fot. 4.7. Staw infiltracyjny - brak roślinności wodnej
Fot. 4.8. Dopływ do stawu infiltracyjnego z roślinnością wodną - przykład dobrego rozwiązania, gdyby nie brak krat i osadnika przed zbiornikiem
Fot. 4.9. Oczyszczalnia roślinno-stawowa jako przykład do zastosowania przy MOP
Fot. 4.10. Staw infiltracyjny suchy [39]
Fot. 4.11. Staw infiltracyjny z roślinnością
Fot. 4.12. Budowa stawu o rozszerzonej retencji z groblami filtracyjnymi – Bielkowo, woj. Pomorskie
Fot. 4.13. Rów infiltracyjny - droga Lublin-Dorohusk
Fot. 4.14. Rozwiązanie mieszane – połączenie stawu retencyjno-infiltracyjnego z filtrem pionowym
Fot. 4.15. Worki bentonitu rozłożone na powierzchni gruntu z regularnością, odpowiadającą jednostkowej dawce bentonitu
Fot. 4.16. Zestaw typowego węzła mieszalniczego
Fot. 4.17. Przykładowe rozwiązanie zaworu pływakowego w kolumnie koalescencyjnej separatora [41]
Fot. 4.18. Przykładowe rozwiązanie zamknięcia z przepustnicą – na połączeniu wypływu strugi podczyszczanej oraz wylotu przelewu nadmiarowego [41]
Fot. 4.19. Zbiornik retencyjno-sedymentacyjny współpracujący z pompownią – obwodnica Trójmiasta, węzeł Barniewice
Fot. 4.20. Zbiornik retencyjny wód deszczowych o kilku poziomach retencji i walorach ozdobnych – Sopot, ul. Kochanowskiego
Fot. 4.21. Przykłady regulatorów z ruchomymi kryzami dławiącymi
Fot. 4.22. Przykład regulatora z przepływem wirowym

Fot. 4.23. Regulator wirowy zamontowany w studni z kinetą, odpływ z regulatora z dodatkowym króćcem pełniącym funkcję przelewu awaryjnego

Fot. 4.24. Obwodnica Trójmiasta, węzeł Barniewice - pompownia zastosowana w układzie zbiorników retencyjnych i infiltracyjnych. Pompownia dozuje ścieki do wyżej położonego zbiornika infiltracyjno-parującego.