

**ZALECENIA PROJEKTOWANIA, BUDOWY  
I UTRZYMANIA ODWODNIENIA  
DROGOWYCH KONSTRUKCJI OPOROWYCH**

ISBN

Warszawa, 2009

Praca została wykonana na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg  
Krajowych i Autostrad

© Copyright by Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad  
Warszawa 2009

ISBN

**Koordynator serii Zaleceń**

prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

**Autorzy opracowania**

Prof. dr hab. inż. Cezary Madryas

Dr inż. Andrzej Kolonko

Dr inż. Jerzy Machajski

Dr inż. Dorota Olearczyk

Dr inż. Leszek Wysocki

**Rysunki**

Mgr inż. arch. Zuzanna Wysocka

Dr inż. Grzegorz Śmiertka

**Opiniodawcy**

Prof. inż. Andrzej Jarominiak

Dr hab. inż. Arkadiusz Madaj

**Redakcja**

**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**

WROCLAWSKA DRUKARNIA NAUKOWA PAN

im. Stanisława Kulczyńskiego

53-505 Wrocław, ul. Lelewela 4

tel. (0-71) 349 90 18, fax (0-71) 343 87 78

## **SPIS TREŚCI**

<b>1</b>	<b>Postanowienia ogólne i określenia</b>	<b>8</b>
1.1	Przedmiot i przeznaczenie Zaleceń	8
1.2	Zakres Zaleceń	8
1.3	Podstawowe określenia	9
1.4	Przepisy źródłowe	11
<b>2</b>	<b>Elementy systemu odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych</b>	<b>11</b>
2.1	Podział konstrukcji oporowych	11
2.1.1	Elementy konstrukcji obiektów mostowych obramowujących korpus drogi	11
2.1.2	Głowice tuneli i przepustów	12
2.1.3	Konstrukcje związane z drogą	12
2.1.3.1	Konstrukcje oporowe wzdłuż dróg	12
2.1.3.2	Konstrukcje oporowe wzdłuż cieków	13
2.2	Podział systemów odwodnienia konstrukcji oporowych	14
2.2.1	System odwodnienia powierzchniowego	14
2.2.2	System odwodnienia podziemnego	15
2.3	Elementy systemu odwodnienia powierzchniowego	15
2.3.1	Uporządkowanie terenu przyległego do konstrukcji oporowej	15
2.3.2	Odwodnienie głowicy ściany oporowej	16
2.3.3	Koryta zbiorcze wód opadowych	17
2.3.4	Rowy stokowe	17
2.3.5	Odprowadzenie wód przejmowanych przez system odwodnienia powierzchniowego	18
2.4	Elementy systemu odwodnienia podziemnego	19
2.4.1	Drenaż z sączków poprzecznych	19
2.4.2	Drenaż podziemny wzdłuż konstrukcji oporowej	20
2.4.3	Warstwa filtracyjna pionowa	22
<b>3</b>	<b>Projektowanie elementów odwodnienia drogowych</b>	<b>23</b>

<b>konstrukcji oporowych</b>		
3.1	Odwodnienie powierzchniowe	23
3.1.1	Dokumentacja hydrologiczna na potrzeby projektu odwodnienia powierzchniowego	23
3.1.2	Opady atmosferyczne	23
3.1.3	Charakterystyka zlewni – zdolność retencyjna	24
3.1.4	Określenie zlewni konstrukcji oporowej	25
3.1.5	Obliczenie wielkości odpływu sekundowego ze zlewni konstrukcji oporowej	25
3.1.6	Parametry koryta zbiorczego wód opadowych	29
3.1.7	Zdolność przepustowa koryta zbiorczego wód opadowych	29
3.1.8	Rowy stokowe	30
3.1.9	Odprowadzenie wód z systemu odwodnienia powierzchniowego	30
3.1.10	Ochrona wód przed zanieczyszczeniem	31
3.2	Odwodnienie podziemne	31
3.2.1	Dokumentacja hydrogeologiczna do projektu odwodnienia podziemnego konstrukcji oporowych	31
3.2.2	Wody gruntowe	32
3.2.3	Drenaż poprzeczny	32
3.2.3.1	Określenie rozstawu sączków	32
3.2.3.2	Średnica sączków	33
3.2.3.3	Filtry odwrotne	33
3.2.3.4	Określenie wielkości dopływu do sączków poprzecznych	33
3.2.3.5	Sprawdzenie zdolności chłonnej pojedynczego sączka	33
3.2.3.6	Odprowadzenie wód wypływających z sączków poprzecznych	33
3.3	Drenaż opaskowy zmniejszający dopływ wody gruntowej do konstrukcji oporowej	34
3.3.1	Wysokość i odległość drenażu podziemnego od konstrukcji oporowej	34
3.3.2	Przekrój drenów	35
3.3.3	Spadki podłużne drenów	35
3.3.4	Określenie dopływu wody gruntowej do drenażu podziemnego	36
3.3.5	Sprawdzenie zdolności chłonnej i zdolności przepustowej drenu	37

3.3.6	Określenie zasięgu krzywej depresji	39
3.3.7	Zabezpieczenie przewodów drenarskich	39
3.3.8	Wyposażenie systemu drenażu głębokiego	40
3.3.9	Odprowadzenie wód z drenażu podziemnego	41
3.4	Oczyszczanie wód z drenażu podziemnego	42
<b>4</b>	<b>Wymagania dotyczące elementów systemu odwodnienia powierzchniowego i podziemnego</b>	<b>42</b>
4.1	Wymagane własności materiałów	42
4.1.1	Własności betonu elementów odwodnienia	42
4.1.2	Własności betonu prefabrykatów	44
4.1.3	Własności tworzyw sztucznych termoplastycznych	46
4.1.4	Własności geosyntetyków	47
4.2	Wymagane własności konstrukcyjne elementów systemu	49
4.2.1	Własności prefabrykatów systemu odwodnienia powierzchniowego i podziemnego	49
4.2.2	Własności przewodów drenarskich	50
4.2.3	Własności studni połączeniowych	50
<b>5</b>	<b>Wykonawstwo prac odwodnieniowych drogowych konstrukcji oporowych</b>	<b>50</b>
5.1	Porządkowanie zlewni konstrukcji oporowej	50
5.2	Wykonanie koryta zbiorczego wód deszczowych	51
5.3	Instalowanie poprzecznych drenaży konstrukcji oporowych	51
5.4	Wykonanie drenaży podziemnych	52
5.5	Budowa wylotu wód z systemów odwodnienia	53
5.6	Wykonanie drenażu konstrukcji oporowej usytuowanej wzdłuż cieku wodnego	54
5.7	Roboty wykończeniowe	54
5.8	Kryteria odbioru robót odwodnieniowych	55
<b>6</b>	<b>Przyczyny uszkodzeń elementów systemu odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych</b>	<b>56</b>
6.1	Czynniki środowiskowe	56
6.2	Wandalizm	57
6.3	Następstwa braku utrzymania	57
<b>7</b>	<b>Utrzymanie systemów odwodnienia drogowych konstrukcji</b>	<b>58</b>

	<b>oporowych</b>	
7.1	Wymagania ogólne	58
7.2	Nadzór stały	58
7.3	Konserwacja i remonty	58
7.4	Przebudowa i rozbudowa	59
7.5	Dokumentacja eksploatacyjna i remontowa	60
<b>8</b>	<b>Przeglądy systemów odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych</b>	<b>60</b>
8.1	Przeгляд bieżący	60
8.2	Przeгляд podstawowy	61
8.3	Przeгляд poszerzony	62
8.4	Przeгляд szczegółowy	63
8.5	Ekspertyza	63
<b>9</b>	<b>Zagadnienia ekologiczne</b>	<b>63</b>
<b>10</b>	<b>Ocena efektywności ekonomicznej wykonania odwodnienia</b>	<b>64</b>
10.1	Różnicowe kryterium kosztów	64
<b>11</b>	<b>Literatura</b>	<b>66</b>
<b>12</b>	<b>Spis tablic</b>	<b>67</b>
<b>13</b>	<b>Spis rysunków</b>	<b>67</b>

## **1 Postanowienia ogólne i określenia**

### **1.1 Przedmiot i przeznaczenie Zaleceń**

Przedmiotem opracowywanych Zaleceń jest zestawienie wymagań i wytycznych dotyczących projektowania, budowy i utrzymania odwodnienia konstrukcji oporowych. Celem Zaleceń jest określenie i ujednoczenie zasad projektowania i realizacji oraz wymogów eksploatacyjnych odwodnienia konstrukcji oporowych.

Zalecenia należy stosować przy opracowywaniu dokumentacji technicznych, szczegółowych specyfikacji technicznych, kontroli jakości i odbiorze robót związanych z procesem planowania, projektowania, budowy, nadzoru, eksploatacji i utrzymania systemów odwodnienia wymienionych powyżej obiektów.

Zalecenia dotyczą elementów systemów odwodnienia wykonanych z betonu i polimerobetonu, kamionki, stali, żeliwa oraz tworzyw sztucznych takich jak polietylen (PEHD), polichlorek winylu (PCV), polipropylen (PP) i kompozyty (GRP). Przedmiotowe Zalecenia należy stosować łącznie z pozostałymi obowiązującymi przepisami i normami dotyczącymi systemów odwodnienia powierzchniowego i wglębnego dróg samochodowych niezależnie od ich klasy.

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.

### **1.2 Zakres Zaleceń**

Zalecenia określają zasady projektowania, wykonawstwa, użytkowania i utrzymania systemów odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych, projektowanych i istniejących. Mają na celu zapewnienie właściwych warunków funkcjonowania tych systemów.

Zalecenia zawierają:

- omówienie drogowych konstrukcji oporowych,
- podział systemów odwodnienia konstrukcji oporowych,
- omówienie poszczególnych systemów odwodnienia,
- wytyczne projektowania odwodnienia powierzchniowego i podziemnego,
- kryteria wyboru materiałów do wykonania systemów odwodnienia,
- wytyczne wykonawstwa odwodnień konstrukcji oporowych,
- omówienie przyczyn niesprawności i uszkodzeń systemów odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych,

- wymagania dotyczące utrzymania systemów odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych,
- wymagania środowiskowe dotyczące realizacji i funkcjonowania systemów odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych.

### 1.3 Podstawowe określenia

Poniżej podaje się wyszczególnienie wraz z objaśnieniem podstawowych określeń używanych w Zaleceniach dotyczących projektowania, budowy i utrzymania systemów odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych:

- **aprobata techniczna** – pozytywna ocena techniczna wyrobu, stwierdzająca jego przydatność do stosowania w budownictwie, określająca właściwości użytkowe i techniczne wyrobu, wydawana przez jednostki upoważnione,
- **certyfikat zgodności** – dokument wydany zgodnie z zasadami systemu certyfikacji wykazujący, że zapewniono odpowiedni stopień zaufania, iż należycie zidentyfikowany wyrób, proces lub usługa są zgodne z określoną normą lub z właściwymi przepisami prawnymi.
- **deszcz miarodajny** – deszcz, którego czas trwania jest równy czasowi spływu pojedynczej cząsteczki z najodleglejszego punktu zlewni drogowej konstrukcji oporowej do obliczeniowego przekroju odwodnienia powierzchniowego.
- **diagnostyka** – określenie stanu technicznego obiektu i ustalenie przyczyn uszkodzeń na podstawie oględzin i badań.
- **dokumentacja hydrogeologiczna** – dokumentacja opracowywana na podstawie wierceń lub wykopów badawczych, zawierająca podstawowe informacje dotyczące pierwszego poziomu wodonośnego (rzadziej drugiego), w tym jakie są poziomy i zakres zmienności występowania wód gruntowych, głównie kierunki ich przepływu, współczynniki wodoprzepuszczalności warstw gruntu, miąższości warstw wodonośnych.
- **dokumentacja hydrologiczna** – dokumentacja zawierająca podstawowe dane dotyczące opadów atmosferycznych (średnich rocznych z wielolecia) występujących w rejonie, którego dotyczy obliczenia odpływu sekundowego ze zlewni, zwykle opracowana przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.
- **dopływ do drenażu** – ilość wody dopływającej w gruncie w przekrój sączka drenarskiego, przejmowana przez ten sączek w całości lub częściowo.
- **drenaż podziemny zmniejszający dopływ wody gruntowej do konstrukcji oporowej** – przewody zwykle o przekroju kołowym z otworami lub szczelinami na obwodzie, usytuowane w zboczu



przyległego wzniesienia, powyżej i wzdłuż drogowej konstrukcji oporowej, obniżające poziom wód gruntowych w jej pobliżu.

- **drenaż systematyczny** – przewody, zwykle o przekroju kołowym, usytuowane prostopadle do osi drogowej konstrukcji oporowej, przejmujące wody podziemne.
- **filtr odwrotny** – urządzenie zabezpieczające wlot do sączków odwadniających przed przedostawaniem się do ich wnętrza drobnych frakcji odwadnianego gruntu.
- **kanal deszczowy** – jest to kanał przeznaczony do odprowadzania wód opadowych i technologicznych.
- **kolektor** – kanał zbierający wody opadowe i technologiczne z odprowadzeniem do odbiornika.
- **kondensacja pary wodnej** – przejście ze stanu gazowego w stan ciekły a sam proces ma najczęściej miejsce na pewnej wysokości nad ziemią.
- **konstrukcja oporowa** – budowla przeznaczona do utrzymywania stateczności uskoku naziomu gruntów rodzimych lub nasypowych,
- **koryto zbiorcze wód opadowych** – otwarte koryto o dowolnym przekroju, przejmujące wody opadowe i roztopowe, dopływające z przyległej zlewni po powierzchni terenu w pobliże drogowej konstrukcji oporowej.
- **oczyszczalnia ścieków deszczowych** – zespół urządzeń najczęściej mechanicznych, służących do zatrzymywania i ewentualnie unieszkodliwiania zanieczyszczeń spłukiwanych z nawierzchni drogi.
- **odpływ sekundowy ze zlewni** – jest to ilość wody mierzona zwykle w  $\text{dm}^3/\text{s}$ , która spływa po powierzchni terenu w pobliże drogowej konstrukcji oporowej i powinna być przejęta przez system odwodnienia powierzchniowego tej konstrukcji.
- **opad atmosferyczny** – stałe lub ciekłe produkty kondensacji pary wodnej w atmosferze, opadające na powierzchnię ziemi.
- **opad normalny** – średnia roczna z wielolecia (30 ÷ 40 lat) wysokość opadów atmosferycznych zmierzona w danej stacji opadowej.
- **przykanalik** – kanał łączący wpust deszczowy z siecią kanalizacji np. deszczowej.
- **rów stokowy** – rów o przekroju trapezowym, zbierający wody opadowe i roztopowe spływające z przyległego stoku.
- **sączek odwadniający** – przewód o przekroju kołowym otoczony materiałem dobrze przepuszczającym wodę ( $k_f > 10 - 15 \text{ m/dobę}$ ), służący do wglębnego odprowadzenia wód podziemnych.
- **studzienka rewizyjna** – studzienka kanalizacyjna przeznaczona do kontroli i prawidłowej eksploatacji kanałów.

- **system odwodnienia powierzchniowego** – zespół urządzeń i obiektów przejmujący wody opadowe i roztopowe spływające po powierzchni terenu w pobliże konstrukcji oporowej.
- **system odwodnienia wglębnego** – zespół urządzeń lub obiektów przejmujących wody spływające pod ziemią w pobliże drogowej konstrukcji oporowej.
- **warstwa filtracyjna** – nasyp z gruntu o współczynniku wodoprzepuszczalności  $k_f > 10 - 15$  m/dobę, służący do zbierania i odprowadzania wody gruntowej.
- **wskaźnik opadu normalnego** – wysokość opadu normalnego odniesiona do ściśle określonej powierzchni zlewni.
- **zdolność przepustowa** – ilość wody, którą określonych warunkach hydraulicznych może przyjąć element zbiorczy systemu odwodnienia (warunki te zależą od przekroju, rodzaju materiału i spadku podłużnego elementu zbiorczego).
- **zdolność redukcyjna zlewni** – zdolność podłoża gruntowego i powierzchni zlewni do zatrzymania na powierzchni i pod ziemią części wód pochodzących z opadów atmosferycznych
- **zlewnia konstrukcji oporowej** – obszar terenu z którego spływa do konstrukcji oporowej woda pochodząca z opadów atmosferycznych.

#### 1.4 Przepisy źródłowe

Niniejsze Zalecenia zostały opracowane na podstawie: przedmiotowych norm materiałowych i czynnościowych, norm i wytycznych, obowiązujących aktów prawnych, literatury technicznej i naukowej, krajowej i zagranicznej.

## 2. Elementy systemu odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych

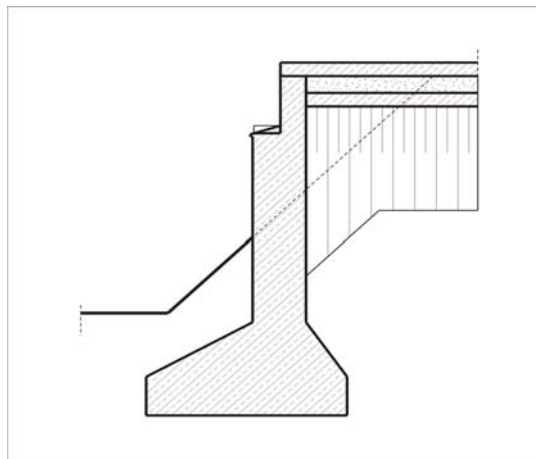
### 2.1 Podział drogowych konstrukcji oporowych

Zgodnie z § 68 Rozporządzenia [6] drogowe konstrukcje oporowe dzielą się na:

- elementy obiektów mostowych obramowujące korpus drogi,
- elementy tuneli i przepustów stanowiące ich głowice,
- samodzielne konstrukcje związane z drogą.

#### 2.1.1 Elementy konstrukcji obiektów mostowych obramowujące korpus drogi

Elementem konstrukcji obiektu mostowego obramowującym korpus drogi jest przyczółek, będący niezależną konstrukcją oporową, np. ten na rys. 2.1.



Rys. 2.1 Element obiektu mostowego obramowującego korpus drogi

Z jednej strony przylega do przyczółka korpus gruntowy drogi, z drugiej – przestrzeń ograniczona jest od góry konstrukcją przęsła mostu. Przyczółki są podstawową częścią budowli mostowej, stąd zasady ich odwodnienia zostały przedstawione w odrębnych zeszytach zaleceń.

### 2.1.2 Głowice tuneli i przepustów

Głowice konstrukcji tuneli lub przepustów bardzo często mają postać konstrukcji oporowej. W tunelach z jednej strony do głowicy przylega, albo masyw skalny – nasyp, z drugiej – przestrzeń dojazdu do tunelu (rys. 2.2). W przepustach głowica stanowi podstawowy element konstrukcyjny łączący przepust z korpusem gruntowym drogi, zapobiegający m.in. wzdłużnej filtracji wód ciekłu spiętrzonych przed przepustem. Głowice tuneli i przepustów są ich podstawowymi elementami. Dlatego systemy odwodnienia głowic zostały przedstawione w odrębnych zaleceniach.

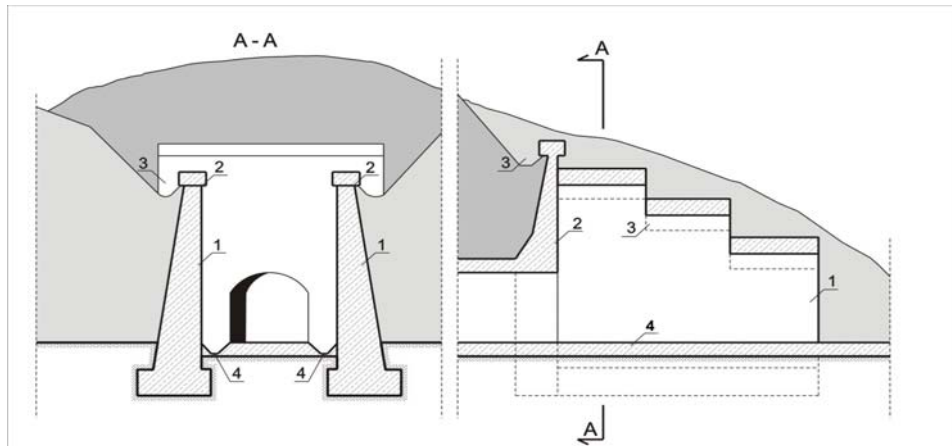
### 2.1.3 Konstrukcje związane z drogą

#### 2.1.3.1 Konstrukcje oporowe wzdłuż dróg

Konstrukcje oporowe usytuowane wzdłuż dróg zastępują skarpy lub zabezpieczają przed utratą stateczności odcinki dróg poprowadzonych na nasypach lub w wykopach. Konstrukcje oporowe mogą być drewniane, kamienne, ceglane, żelbetowe, stalowe lub z koszy siatkowych wypełnionych kamieniami (gabionów).

Konstrukcja budowli oporowej zależy od jej materiału. Może być ona wykonana na miejscu użytkowania lub prefabrykowana. Konstrukcje oporowe ceglane, betonowe i żelbetowe dłuższe niż 8 m są dzielone dylatacjami

poprzecznymi przeciwdziałającymi rysom powodowanym przez odkształcenia termiczne i reologiczne materiału konstrukcji. Dylatacje powinny być wyposażone w uszczelnienia zapobiegające wypływowi wody i gruntu na zewnątrz konstrukcji.



Rys. 2.2 Elementy głowicy tunelu samochodowego

1. Konstrukcja oporowa obramowująca wjazd do tunelu; 2. Portal tunelu
3. Odwodnienie powierzchniowe rejonu portalu wjazdowego
4. Odwodnienie powierzchniowe drogi dojazdowej do tunelu

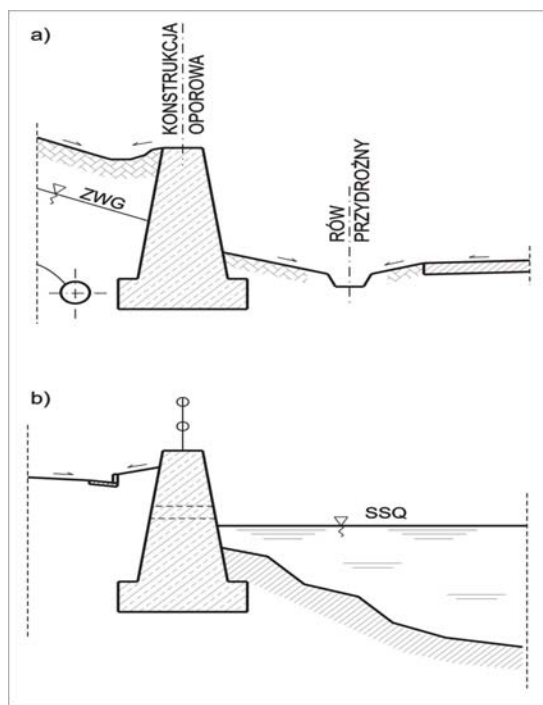
Konstrukcje oporowe wzdłuż dróg są narażone na działanie czynników występujących w ich otoczeniu, w tym wód z opadów atmosferycznych, z topnienia śniegu oraz wód gruntowych. Dlatego drogowe konstrukcje oporowe po zabudowaniu powierzchni stykających się z gruntem, wymagają zabezpieczenia przed działaniem wody systemami odwodnienia powierzchniowego i podziemnego. Schemat konstrukcji oporowej wzdłuż drogi, pokazano na rys. 2.3 a.

### 2.1.3.2 Konstrukcje oporowe wzdłuż cieków

Konstrukcje oporowe wzdłuż cieków umożliwiają poprowadzenie odcinków drogi na tarasach uformowanych w terenie przyległym do cieku. W przypadku wąskiej doliny bywa to jedyna możliwość zbudowania drogi. Konstrukcje oporowe wzdłuż cieków są wykonywane z takich samych materiałów jak budowane wzdłuż dróg. Również według takich samych zasad przyjmuje się przekroje konstrukcji oporowych i technologie ich wykonania.

Konstrukcje oporowe wzdłuż cieków są narażone na działanie czynników otoczenia, w tym wód płynących w korycie cieku, wód pochodzących bezpośrednio z opadów atmosferycznych lub z topnienia śniegu oraz wód gruntowych. Dlatego systemy odwodnienia powierzchniowego i

wgłębnych tych konstrukcji powinny być dostosowane do specyfiki warunków ich lokalizacji. Także rozwiązania dylatacji powinny uwzględniać występowanie wody zarówno w zasypce konstrukcji, jak i od jej strony zewnętrznej, w czasie wysokich stanów wody w cieku. Schemat drogowej konstrukcji oporowej zbudowanej wzdłuż cieku wodnego pokazano na rys. 2.3 b.



Rys. 2.3 Schemat konstrukcji oporowej  
a. wzdłuż drogi  
b. wzdłuż cieku wodnego

## 2.2 Podział systemów odwodnienia konstrukcji oporowych

### 2.2.1 System odwodnienia powierzchniowego

Systemu odwodnienia powierzchniowego powinien możliwie całkowicie przejmować wody opadowe z rejonu konstrukcji oporowej i jak najszybciej z niego odprowadzać. Usprawnienie odwodnienia powierzchniowego uzyskuje się:

- porządkując przyległy teren w celu stworzenia dobrych warunków spływu wód powierzchniowych w kierunku urządzenia odwadniającego oraz ograniczenia ilości wód infiltrujących w podłoże gruntowe,

- nadanie powierzchni terenu odpowiednich spadków oraz systematyczne koszenie wysokich traw,
- wykonując wzdłuż górnej części (głowicy) konstrukcji oporowej urządzenie odwadniające przejmujące wody powierzchniowe spływające po terenie w kierunku konstrukcji,
- budując dla danej konstrukcji odbiornik wód powierzchniowych, albo kierując te wody do odbiornika istniejącego.

### **2.2.2 System odwodnienia podziemnego**

System odwodnienia podziemnego powinien obniżać poziom wody gruntowej za konstrukcją oporową, przejmować wody gruntowe dopływające do konstrukcji i odprowadzać je poza rejonem w pobliżu konstrukcji oporowej.

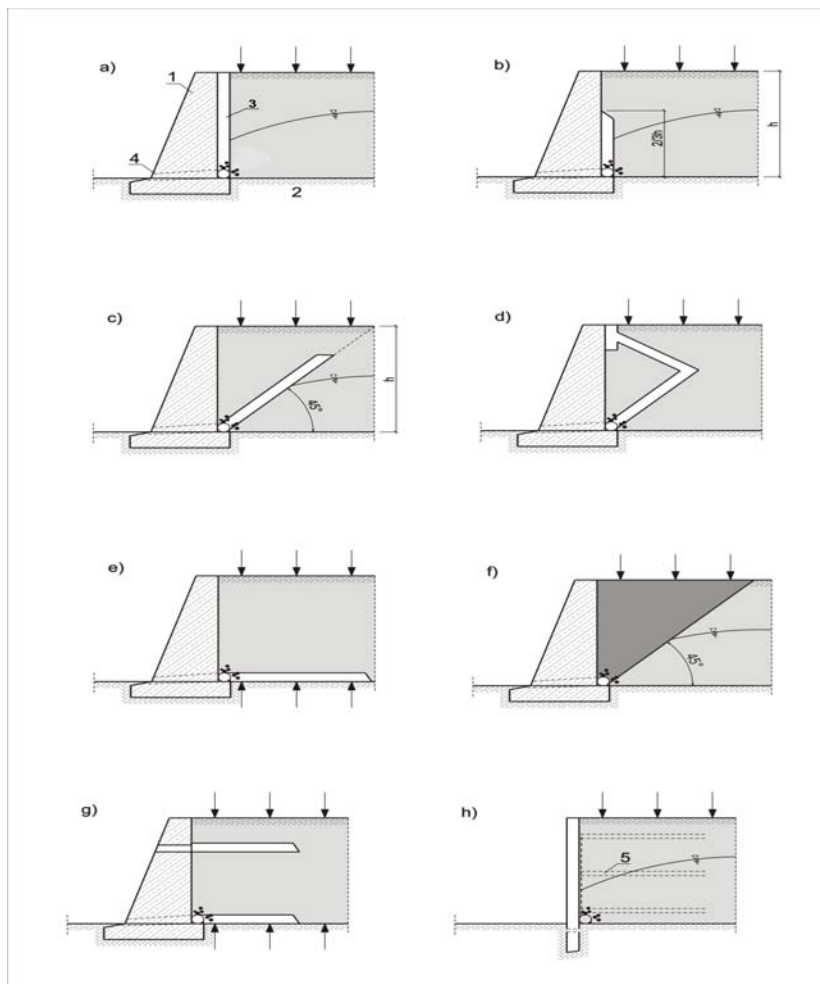
Zależnie od rodzajów gruntów stanowiących podłoże, poziomu wody gruntowej i ilości dopływającej wody, odwodnienie podziemne konstrukcji oporowej można uzyskać (rys. 2.4):

- wykonując zasypkę konstrukcji z materiału silnie przepuszczającego wodę i wbudowując w konstrukcję poprzeczne sączki odprowadzające na zewnątrz wodę napływającą w zasypkę,
- instalując na tylnej ścianie konstrukcji oporowej warstwę drenującą, na przykład z porowatych pustaków lub geokompozytu; woda z tej warstwy jest odprowadzana na zewnątrz konstrukcji przy pomocy sączków poprzecznych wbudowanych w konstrukcję (a, b, c, d),
- instalując od strony zasypki, wzdłuż konstrukcji oporowej w poziomie ławy fundamentowej sączek drenarski i odprowadzając z niego wodę na zewnątrz konstrukcji (e, f),
- opierając konstrukcję oporową na warstwie gruntu silnie przepuszczalnego i wykonując w tej warstwie wzdłuż konstrukcji, od jej strony zewnętrznej, podłużny drenaż odprowadzający wodę,
- wykonując w stoku powyżej konstrukcji oporowej podłużny drenaż obniżający poziom wody gruntowej w rejonie konstrukcji i zmniejszający dopływ do niej wód.

## **2.3 Elementy systemu odwodnienia powierzchniowego**

### **2.3.1 Uporządkowanie terenu przyległego do konstrukcji oporowej**

Należy uporządkować powierzchnię terenu przyległego do konstrukcji oporowej, będącego jej zlewnią. Polega to na wyrównaniu powierzchni terenu (zasypaniu zagłębień i szczelin oraz usunięciu wyniosłości), wycięciu samosiejek krzewów i drzew. Szczeliny należy zasypać gruntem miejscowym, z odpowiednim zagęszczeniem. Nie dopuszcza się zasypywania szczelin w podłożu z gruntów sypkich gruntem spoistym i odwrotnie.



Rys. 2.4 Przykłady odwodnienia podziemnego konstrukcji oporowych [25]

1. Konstrukcja oporowa: 2. Podłoże gruntowe: 3. Warstwa drenująca
4. Sączek poprzeczny: 5 Drenaż podłużny gruntu zasypki

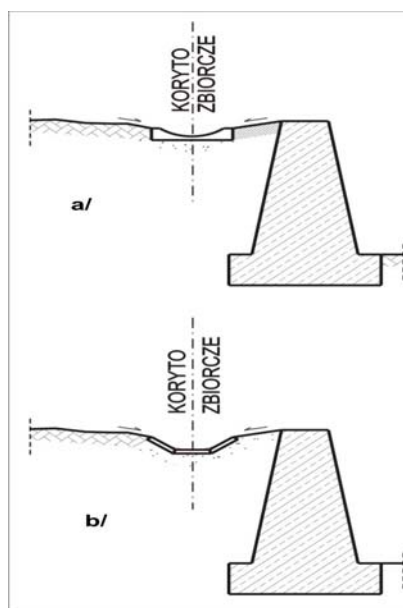
### 2.3.2 Odwodnienie korony ściany oporowej

Głowica ściany oporowej powinna mieć dwuprocentowe nachylenie poprzeczne w kierunku urządzenia odwadniającego zlokalizowanego na naziemie konstrukcji od strony napływu wód powierzchniowych. Gdy nie ma możliwości nadania głowicy spadku poprzecznego w kierunku naziomu, to należy wykonać w niej kapinos od strony ściany zewnętrznej.

### 2.3.3 Koryta zbiorcze wód opadowych

Wody opadowe napływające po powierzchni terenu do konstrukcji oporowej należy przechwycić korytem wykonanym wzdłuż główicy konstrukcji. Koryto może mieć postać rowu, albo prefabrykowanego ścieku (najczęściej o przekroju półkola). Przykłady koryt zbiorczych są pokazane na rys. 2.5.

Koryto prefabrykowane powinno być ułożone na podsypce z zagęszczonego piasku o grubości, co najmniej 0,10 m. Gdy podłożem jest grunt inny niż ma być użyty do wykonania podsypki, to pod podsypką umieszcza się geowłókninę separacyjną.



Rys. 2.5 Przykłady przekrojów koryt zbiorczych wód opadowych:  
a. prefabrykowanego: b. zabezpieczonego przed erozją okładziną betonową

### 2.3.4 Rowy stokowe

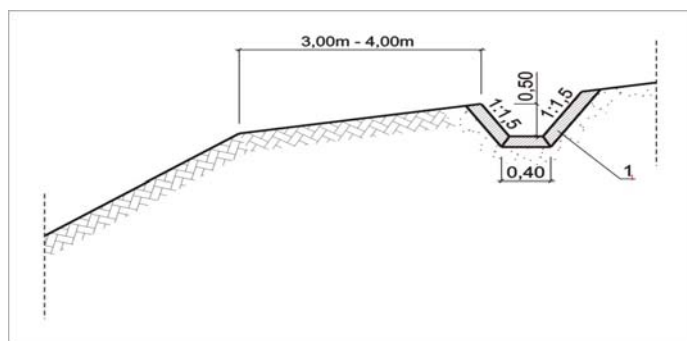
W przypadku zlewni drogowej konstrukcji oporowej większej od 1 ha, należy wykonać rów stokowy. Jego celem jest zmniejszenie ilości wody dopływającej do koryta zbiorczego, przez co zapobiegnie wylewaniu się wody z koryta zbiorczego i spływaniu jej w stronę konstrukcji po powierzchni terenu. Trasę rowu stokowego należy dostosować do kształtu powierzchni terenu i do położenia konstrukcji oporowej. Jako rów stokowy można wykorzystać, po odpowiednim dostosowaniu, naturalne zagłębienie między garbami terenu („muldę”).

Trasa rowu stokowego nie zależy od trasy koryta zbiorczego. Dno rowu powinno mieć spadek podłużny dostosowany do nachylenia terenu z tym, że



spadek minimalny  $I_{d \text{ min}} \geq 0,5 \%$ . Należy unikać wprowadzania wód przejmowanych przez rów do systemu odwodnienia konstrukcji oporowej lub innej budowli drogowej.

Rowy stokowe należy wykonywać o przekroju trapezowym. Szerokość dna rowu powinna wynosić 40 cm, nachylenie skarp 1 : 1,5, głębokość nie powinna przekraczać 60 cm. Przekrój rowu należy tak dobrać, aby przejmował całą wodę pochodzącą z obliczeniowych opadów deszczu, albo z topnienia śniegu. Dno i skarpę od strony obniżenia terenu należy uszczelnić dla zapobieżenia infiltracji wody z rowu w podłoże gruntowe. Sposób uszczelnienia powinien być dostosowany do podłużnego spadku rowu. Odcinki rowu mające mały spadek do około 2,5 % można uszczelnić odwróconą darnią lub warstwą gliny o grubości, co najmniej 0,15 m, natomiast mające spadek większy od podanego – okładziną betonową (dogodna jest prefabrykowana np. w postaci płyt kładzionych na podsypce piaskowej). Należy mieć na uwadze fakt, że zastosowane uszczelnienie nie powinno zmienić charakterystyki hydraulicznej rowu skarpowego. Przykład rowu stokowego pokazano na rys. 2.6.



Rys. 2.6 Przykład rowu stokowego  
1. Uszczelnienie dna i skarp rowu

### 2.3.5 Odprowadzanie wód przejmowanych przez system odwodnienia powierzchniowego

Istnieje szereg możliwości odprowadzania wód opadowych, przejmowanych przez system odwodnienia powierzchniowego drogowych konstrukcji oporowych. Wszystkie odprowadzane wody muszą spełniać wymagania obowiązującego ustawodawstwa, w tym Ustawy *Prawo wodne* [1] i Rozporządzenia Ministra Środowiska [7].

W pierwszej kolejności należy określić ilość wody przejmowanej przez system odwodnienia powierzchniowego oraz jej jakość uwzględniając, że wody spływają z przyległego terenu, a nie z odcinka drogi (gdzie przejmowana przez system odwodnienia powierzchniowego woda może zawierać ponadnormatywną ilość zawiesiny ogólnej i substancji ropopochodnych). Następnie należy określić

sposób odprowadzenia wód przejętych przez powierzchniowy system odwodnienia konstrukcji oporowej.

Wodę można odprowadzić do rowu skarpowego dolnego usytuowanego wzdłuż drogi, będącego częścią jej systemu odwodnienia powierzchniowego. Zwykle jest to najbardziej ekonomiczne, gdyż konstrukcja oporowa mając niedużą powierzchnię zlewni (do kilku ha), daje w efekcie niedużą wielkość odpływu sekundowego.

Można i w zasadzie powinno się dążyć do indywidualnego rozwiązywania odbioru wód z systemu odwodnienia powierzchniowego konstrukcji oporowej. W tym celu należy wykorzystywać okoliczne cieki powierzchniowe, zastoiska wody, naturalne zagłębienia terenowe i studnie chłonne. Każde z tych rozwiązań ma ograniczenia, m.in. wynikające z Rozporządzenia [7], w tym w każdym z możliwych przypadków, konieczne jest uzyskanie pozwolenia wodnoprawnego na zrzut wody albo do wód, albo do gruntu.

## **2.4 Elementy systemu odwodnienia podziemnego**

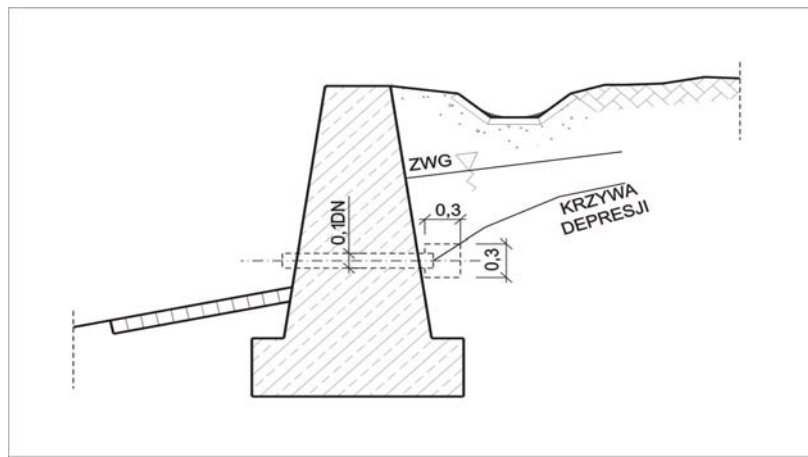
Rozwiązanie projektowe systemu odwodnienia podziemnego drogowej konstrukcji oporowej, powinno minimalizować oddziaływanie wód gruntowych na elementy konstrukcji, zarówno bezpośrednie (napór hydrostatyczny pochodzący od wód gruntowych), jak i pośrednie (korozję materiałów konstrukcyjnych powodowaną przez agresywne domieszki związków chemicznych zawarte w wodach gruntowych).

Elementy składowe systemu odwodnienia podziemnego drogowej konstrukcji oporowej, należy dostosować do usytuowania konstrukcji oporowej i drogi, do rodzaju gruntów oraz obliczeniowej ilości wód podziemnych, które dopływają w pobliże konstrukcji. Rozwiązanie odwodnienia podziemnego powinno być dostosowane do rodzaju gruntów miejscowych. W przypadku gruntów o dobrej przepuszczalności korzystniejszy jest drenaż podłużny, w przypadku gruntów średnio i słabo przepuszczalnych – drenaż poprzeczny z sączków odwadniających.

### **2.4.1 Drenaż z sączków poprzecznych**

Drenaż z sączków poprzecznych zaleca się stosować, gdy za konstrukcją oporową zalegają grunty średnio ( $k_f = 10 \div 25$  m/d) i słabo przepuszczalne ( $k_f = 10^{-1} \div 10^{-2}$  m/d). Ten rodzaj drenażu jest najbardziej znanym odwodnieniem podziemnym drogowych konstrukcji oporowych. Wykonywać go należy z szeregu ceramicznych sączków drenarskich o średnicy wewnętrznej 10 cm, rozmieszczonych w rozstawie dostosowanym do rodzaju odwadnianego gruntu. Zwykle ich rozstaw jest w zakresie 1,0 ÷ 2,0 m. Wlot sączka od strony gruntu należy zabezpieczyć filtrem odwrotnym, który przeciwdziała wynoszeniu z zasypki bardzo drobnych cząstek. Sączki powinny być umieszczone 20 ÷ 30 cm

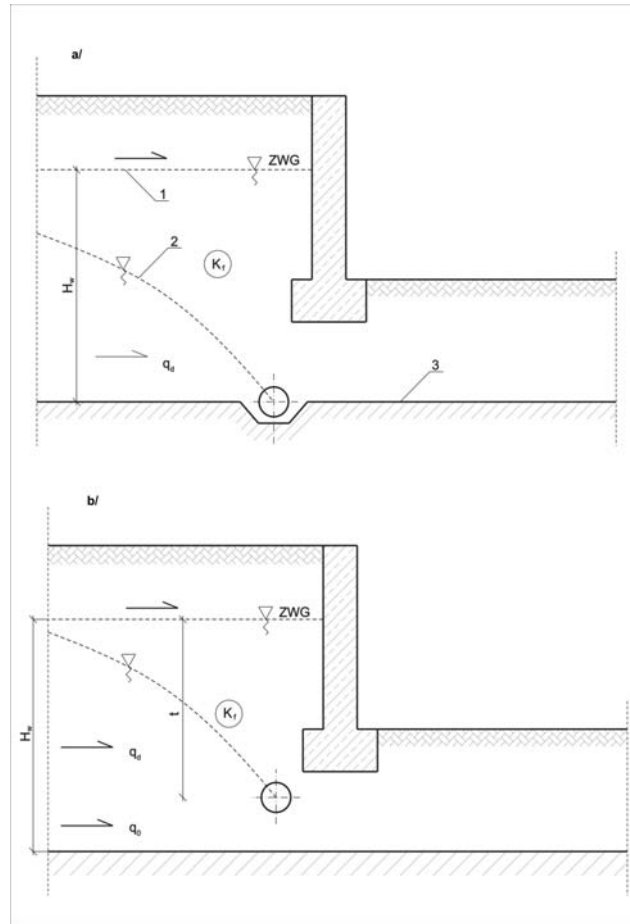
nad stopą fundamentu konstrukcji oporowej. Położenie sączków powyżej stopy powinno nie tylko zapewniać obniżenie poziomu wody gruntowej za konstrukcją oporową (z wynikowym zmniejszeniem napory hydrostatycznego na konstrukcję), ale także umożliwiać grawitacyjny odpływ wód z zainstalowanego za nią systemu odwodnienia. Przykład drenażu poprzecznego drogowej konstrukcji oporowej, pokazano na rys. 2.7.



Rys. 2.7 Przykład drenażu poprzecznego drogowej konstrukcji oporowej

#### 2.4.2 Drenaż podziemny wzdłuż konstrukcji oporowej

Ten rodzaj drenażu (nazywany także opaskowym, podłużnym lub czołowym), należy stosować, gdy jest celowe przejście wód płynących w warstwie przepuszczalnej w kierunku konstrukcji oporowej. Drenaż instaluje się w zboczu terenu powyżej konstrukcji oporowej, możliwie równoległe do jej trasy i możliwie prostopadle do kierunku przepływu wód gruntowych. Drenaż można umieścić w zakresie miąższości warstwy, którą płynie woda lub na stopie zalegającej pod nią warstwy o małej przepuszczalności. W pierwszym przypadku drenaż przechwytuje wodę gruntową do poziomu, na którym jest zainstalowany, w drugim – do spągu warstwy wodonośnej (wtedy obniża poziom wody w całym jej przekroju i skutecznie ogranicza dopływ wody do konstrukcji chronionej). Efekty działania drenażu w obu przypadkach pokazano na rys. 2.8 a i b.



Rys. 2.8 Efekty działania podziemnego drenażu podłużnego (opaskowego)  
a. ułożonego na warstwie nieprzepuszczalnej  
b. ułożonego w warstwie wodonośnej  
1. zwierciadło wody gruntowej: 2. obniżone zwierciadło wody gruntowej  
3. strop warstwy nieprzepuszczalnej

Wskutek działania drenażu ilość wody gruntowej dopływającej do konstrukcji oporowej zostaje istotnie zmniejszona. Najbardziej skutecznie działa drenaż zainstalowany na stropie warstwy nieprzepuszczalnej. Może wtedy przechwytywać całą ilość wody podziemnej płynącej w tej warstwie. Jeżeli jednocześnie na zboczu, powyżej konstrukcji oporowej, jest właściwie wykonany system odwodnienia powierzchniowego, to uzyskuje się prawie całkowitą ochronę konstrukcji oporowej przed wodą. Natomiast, gdy drenaż jest zainstalowany powyżej stropu warstwy nieprzepuszczalnej, to przejmuje tylko część wody gruntowej spływającej w tej warstwie. Ale i tak ogranicza bezpośrednie oddziaływanie wody gruntowej na drogową konstrukcję oporową.

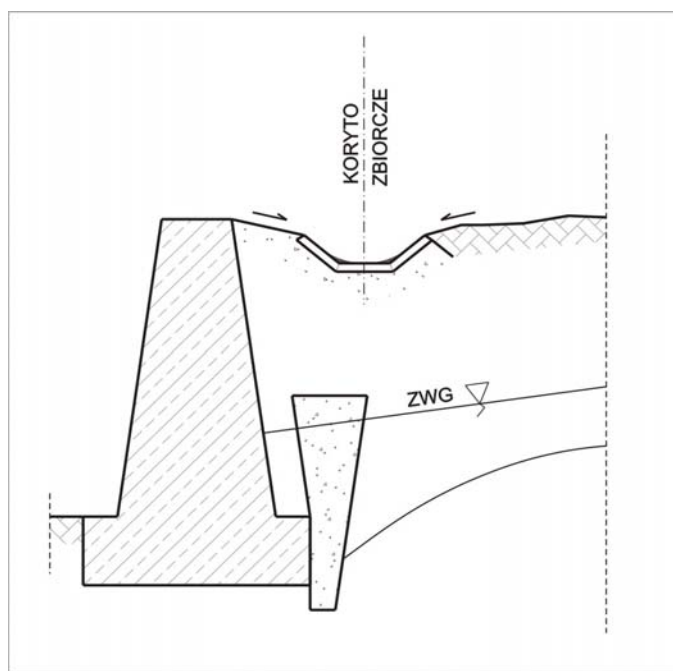
Zakres tego ograniczenia zależy od wysokości usytuowania drenazu nad najniższym elementem tej konstrukcji.

### 2.4.3 Warstwa filtracyjna pionowa

Warstwę filtracyjną pionową zaleca się stosować w sytuacji, gdy dopływy wody gruntowej do konstrukcji oporowej są rzędu  $1 \div 1,5 \text{ dm}^3/\text{s}$  i wystarcza nieduże obniżenie poziomu zwierciadła tej wody.

Warstwa filtracyjna pionowa przyjmuje i odprowadza wodę gruntową poza konstrukcję oporową. Zwykle warstwa filtracyjna pionowa ma przekrój zbliżony do prostokąta i powinna być wykonana z materiału bardzo dobrze przepuszczającego wodę ( $k_f \geq 25 \div 75 \text{ m/dobę}$ ). Warstwa ta powinna ponadto umożliwiać swobodny przepływ wody gruntowej za konstrukcją, gdyż wtedy obniża tam poziom wody, minimalizując jej oddziaływania na konstrukcję bezpośrednie i pośrednie.

Warstwa filtracyjna powinna przylegać do konstrukcji oporowej od strony gruntu i mieć grubość, co najmniej 50 cm. Przed wykonaniem tej warstwy należy zabezpieczyć konstrukcję oporową na całej jej wysokości izolacją przeciwwilgociową. Przykład pionowej warstwy filtracyjnej jest pokazany na rys. nr 2.9.



Rys. 2.9 Przykład pionowej warstwy filtracyjnej drogowej konstrukcji oporowej

### **3. Projektowanie elementów odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych**

#### **3.1 Odwodnienie powierzchniowe**

##### **3.1.1 Dokumentacja hydrologiczna na potrzeby projektu odwodnienia powierzchniowego**

Dokumentacja hydrologiczna na potrzeby odwodnienia powierzchniowego konstrukcji oporowej powinna zawierać następujące dane:

- określoną powierzchnię i ukształtowanie wysokościowe zlewni konstrukcji oporowej,
- charakterystykę zlewni,
- wskaźnik opadu normalnego,
- prawdopodobieństwo pojawienia się deszczu miarodajnego,
- natężenie deszczu miarodajnego,
- odpływ sekundowy ze zlewni.

Zwykle powierzchnię, ukształtowanie wysokościowe i charakterystykę zlewni drogowej konstrukcji oporowej oraz prawdopodobieństwo pojawiania się na niej deszczu miarodajnego i jego natężenie, a także wielkość odpływu sekundowego, musi określić projektant odwodnienia konstrukcji oporowej. Natomiast wskaźnik opadu normalnego dla rejonu, w którym występuje obliczeniowa zlewnia, określa Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

##### **3.1.2 Opady atmosferyczne**

Opady atmosferyczne dzieli się na kilkanaście rodzajów. Z nich najważniejszymi ze względu na ilości opadającej wody są:

- deszcz ciągły powstający w chmurach typu warstwowego zawieszonych nisko nad ziemią,
- deszcz nawalny powstający w chmurach typu kłębiastego, zwykle zawieszonych wysoko nad ziemią,
- śnieg będący postacią opadu stałego.

Opady atmosferyczne mierzy się wysokością warstwy wody, jaka powstałaby na danym terenie, gdyby część wody nie wyparowała, nie spłynęła po powierzchni terenu, nie infiltrowała w grunt oraz nie została pochłonięta w procesach życiowych roślin występujących na danym terenie.

Wysokość opadów mierzy się w wybranych punktach danego obszaru i uśrednia dla całego obszaru. Wysokość opadów sumuje się z przyjętego okresu czasu, najczęściej z dekady lub miesiąca. W hydrologii opadowej stosuje się pojęcie opadu normalnego, oraz pojęcie wskaźnika opadu normalnego.

Opady są również charakteryzowane wielkością natężenia. Zwykle używa się pojęcia natężenie objętościowe lub natężenie warstwowe opadu

atmosferycznego. To drugie pojęcie jest stosowane w meteorologii. Natężenie objętościowe deszczu jest jednostką objętości deszczu (zwykle  $\text{dm}^3$ ), jaka spadła w jednostce czasu (sekundzie) na jednostkę powierzchni (ha) danego obszaru.

Bardzo ważną miarą deszczu jest także czas jego trwania. Zwykle deszcze krótkotrwałe o czasie trwania  $10 \div 30$  minut określane są jako nawalne, tzn. o bardzo dużym natężeniu. Natomiast deszcze dłużej trwające charakteryzują się mniejszym natężeniem.

### 3.1.3 Charakterystyka zlewni – zdolność retencyjna

Zlewnię określa się na podstawie topografii obszaru, z którego spływa woda pochodząca z opadów atmosferycznych. Obszar zlewni jest zwykle odnoszony do istniejącego na jej terenie cieku. Zlewnią może być także obszar przyporządkowany odcinkowi drogi, budowli inżynierskiej, na przykład mostowi, przepustowi lub konstrukcji oporowej. Dlatego wyróżnia się zlewnię drogi, mostu, przepustu, konstrukcji oporowej.

Każdą zlewnię charakteryzują trzy podstawowe parametry: powierzchnia ( $F$ ), współczynnik spływu ( $\psi$ ) oraz współczynnik opóźnienia odpływu ( $\varphi$ ).

Współczynnik spływu jest stosunkiem ilości wody deszczowej, która odpływa po powierzchni zlewni do ilości, która spadła na tę powierzchnię. Wartość współczynnika spływu zależy od szeregu czynników, z których najważniejszymi są:

- sposób zagospodarowania powierzchni zlewni,
- wielkość nachylenia jej powierzchni (podłużnego spadku terenu),
- przepuszczalność wierzchnich warstw gruntu.

Przykładowe wartości współczynników spływu dla różnego zagospodarowania zlewni oraz różnego jej nachylenia, podano w tablicy 3.1.

Współczynnik opóźnienia odpływu określa opóźnienie rozpoczęcia powierzchniowego spływu wody względem czasu rozpoczęcia opadu. Zwykle współczynnik ten oblicza się ze wzoru:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[n]{F}} \quad (1)$$

w którym:

$F$  – powierzchnia zlewni [ha],

$n$  – współczynnik zależny od spadku i kształtu powierzchni zlewni, zwykle przyjmowany jako równy  $n = 4 \div 8$ .

Ze względu na stosunkowo niewielkie powierzchnie zlewni budowli komunikacyjnych (kilka ha), dla zwiększenia bezpieczeństwa tych budowli, stosuje się w obliczeniach odpływu sekundowego ze zlewni, współczynnik opóźnienia odpływu  $\varphi = 1$ .

**Tablica 3.1 Przykładowe wartości współczynników spływu  $\psi$  [21]**

Rodzaj powierzchni	Spadek powierzchni [%]					
	0,5	1,0	2,5	5,0	7,5	10,0
	Współczynnik spływu $\psi$ [-]					
Powierzchnie dachowe	0,85	0,90	0,96	0,98	0,99	1,00
Bruki szczelne	0,70	0,72	0,75	0,80	0,85	0,90
Bruki zwykłe	0,50	0,52	0,55	0,60	0,65	0,70
Aleje spacerowe	0,20	0,22	0,25	0,30	0,35	0,40
Parki i ogrody	0,10	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30
Tereny upraw rolnych	0,05	0,08	0,10	0,15	0,20	0,25
Tereny leśne	0,01	0,02	0,04	0,06	0,10	0,15
Zabudowa zwarta	0,80	0,82	0,85	0,90	0,95	1,00
Zabudowa luźna	0,60	0,62	0,65	0,70	0,75	0,80
Zabudowa niska (willowa)	0,40	0,42	0,45	0,50	0,55	0,60

### 3.1.4 Określanie zlewni konstrukcji oporowej

Zlewnię drogowej konstrukcji oporowej wyznacza się z mapy topograficznej, najlepiej w skali 1 : 1000. Na mapie powinna być zaznaczona droga i jej odcinek zabezpieczany konstrukcją oporową.

Granice zlewni konstrukcji oporowej określa się analizując na mapie spływy wód powierzchniowych (przyjmowane prostopadle do warstwic). Po naniesieniu granicy zlewni na mapę, oblicza się jej powierzchnię oraz przyjmuje współczynniki spływu i opóźnienia odpływu. Przykład określenia zlewni drogowej konstrukcji oporowej pokazano na rysunku 3.1.

### 3.1.5 Obliczenie wielkości odpływu sekundowego ze zlewni konstrukcji oporowej

Po określeniu powierzchni zlewni konstrukcji oporowej ustala się wartość sekundowego odpływu powierzchniowego, który wystąpi na niej po opadzie atmosferycznym. Odpływ sekundowy ( $Q_o$ ) ze zlewni oblicza się ze wzoru:

$$Q_o = \varphi \times \psi \times q \times F [dm^3 / s] \quad (2)$$

w którym:

$\varphi$  – współczynnik opóźnienia odpływu [-],

$\psi$  – współczynnik spływu [-],

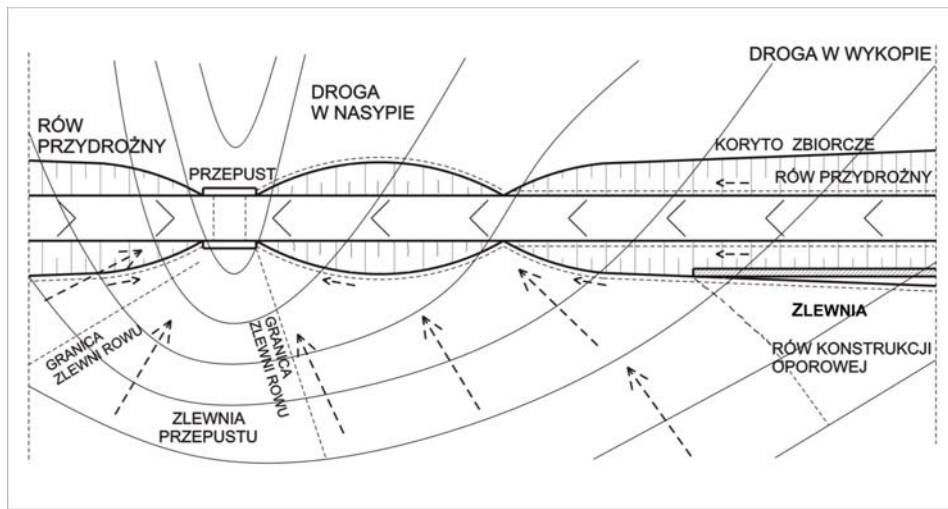


$F$  – powierzchnia zlewni [ha],  
 $q$  – natężenie deszczu miarodajnego [ $\text{dm}^3/\text{s ha}$ ],

$$q = \frac{A_q}{t_d^{0,667}} \quad [\text{dm}^3 / \text{s ha}] \quad (3)$$

$A_q$  – parametr zależny od częstotliwości pojawiania się deszczu miarodajnego ( $C$ ) oraz opadu normalnego ( $P_n$ ) [-],

$t_d$  – czas trwania deszczu miarodajnego [min.].



Rys. 3.1 Przykład wyznaczenia zlewni drogowej konstrukcji oporowej

Częstotliwość pojawiania się deszczu miarodajnego przyjmuje się odpowiednio do klasy drogi samochodowej. Zgodnie z Rozporządzeniem [5] dla dróg klasy A lub S należy przyjmować  $C = 10$  lat ( $p = 10\%$ ), klasy GP –  $C = 5$  lat ( $p = 20\%$ ), klasy G lub Z –  $C = 2$  lata ( $p = 50\%$ ), zaś klasy L lub D –  $C = 1$  rok ( $p = 100\%$ ). Ponieważ konstrukcja oporowa stanowi element drogi danej klasy, dlatego częstotliwość występowania (prawdopodobieństwo pojawiania się) deszczu miarodajnego należy przyjmować taką samą, jak dla drogi.

Wartości parametru  $A_q$  są zestawione w tabelicy 3.2. Wartości pośrednie należy obliczać stosując interpolację liniową.

Czas trwania deszczu miarodajnego  $t_d$  według metody granicznych natężeń deszczu równa się czasowi spływu  $t_s$  pojedynczej cząstki deszczu z punktu najdalej odległego w stosunku do przekroju obliczeniowego:

$$t_d = t_s = t_1 + t_2 + t_3 \quad [\text{min}] \quad (4)$$

gdzie:

$t_1$  – czas spływu cząstki deszczu po powierzchni terenu do urządzenia odwadniającego [min.],

$t_2$  – czas przepływu cząstki deszczu w urządzeniu odwadniającym [min.],

$t_3$  – czas opóźnienia ruchu cząstki deszczu w urządzeniu odwadniającym zależny od materiału z jakiego wykonane zostało urządzenie i wynosi:  $t_3 = 0,20 \times t_2$  – gdy jest wykonane w gruncie rodzimym oraz  $t_3 = 0,10 \times t_2$  – gdy jest wykonane z betonu [min.].

**Tablica 3.2 Przykładowe wartości parametru  $A_q$  [21]**

Prawdopodobieństwo pojawiania się deszczu miarodajnego $p$ [%]	Wartość parametru $A_q$ przy wskaźniku opadu normalnego $P_n$ [mm]			
	do 800	do 1000	do 1200	do 1500
5	1276	1290	1300	1378
10	1013	1083	1134	1202
20	804	920	980	1025
50	592	720	750	796
100	470	572	593	627

Czas sływu cząstki deszczu po powierzchni zlewni oblicza się z wykorzystaniem następującej zależności:

$$t_1 = \frac{L_1}{v_1} \text{ [min]} \quad (5)$$

w której:

$L_1$  – droga sływu pojedynczej cząstki deszczu po terenie zlewni z punktu na jej granicy do przekroju urządzenia odwadniającego (określona z mapy) [m],

$v_1$  – prędkość sływu cząstki deszczu po powierzchni zlewni (odczytana z tablicy 3.3) [m/min].

Czas przepływu cząstki deszczu w rowie odwadniającym oblicza się wzorem:

$$t_2 = \frac{L_2}{v_2 \times 60} \text{ [min]} \quad (6)$$

w którym:

$L_2$  – droga przepływu cząstki deszczu w rowie odwadniającym [m],

$v_2$  – prędkość przepływu cząstki deszczu w urządzeniu (rowie) odwadniającym [m/s], obliczona ze wzoru (7).

**Tablica 3.3 Prędkości spływu ( $v_1$ ) cząstki deszczu po powierzchni zlewni**

Charakterystyka powierzchni zlewni	Prędkości spływu $v_1$ [m/min]				
	Powierzchnia równinna, o nachyleniu $i_t \leq 0,005$	Powierzchnia o nachyleniu $0,0005 < i_t \leq 0,02$	Powierzchnia pagórkowata o nachyleniu $0,02 < i_t \leq 0,05$	Powierzchnia terenu podgórskiego $0,05 < i_t \leq 0,10$	Powierzchnia górzysta $0,10 < i_t \leq 0,30$
bagnista	3,33 ÷ 6,66	6,66 ÷ 12,5	12,5 ÷ 25,0	-	-
zalesiona	6,66 ÷ 10,0	10,0 ÷ 16,6	16,6 ÷ 33,3	33,3 ÷ 50,0	50,0 ÷ 100,0
łąki i pastwiska	10,0 ÷ 16,6	16,6 ÷ 33,3	33,3 ÷ 50,0	50,0 ÷ 100,0	100,0 ÷ 142,8
z małymi żłobinami	16,6 ÷ 33,3	33,3 ÷ 50,0	50,0 ÷ 66,6	100,0 ÷ 142,8	142,8 ÷ 200,0
z dużymi żłobinami	-	-	66,6 ÷ 100,0	100,0 ÷ 200,0	200,0 ÷ 250,0
skalista równa	-	-	-	125,0 ÷ 333,3	250,0 ÷ 500,0

Prędkość przepływu wody w urządzeniu odwadniającym (rowie) zależy od kształtu jego przekroju, rodzaju materiału jego wykładziny oraz nachylenia podłużnego  $I_d$  jego dna. Prędkość przepływu należy obliczać ze wzoru:

$$v_2 = \frac{1}{n} \times R_h^{2/3} \times I_d^{1/2} \quad [m/s] \quad (7)$$

w którym:

$n$  – współczynnik zależny od rodzaju materiału, z którego jest zrobiona wykładzina urządzenia odwadniającego (rowu), dla betonu  $n = 0,012 \div 0,014$ , dla gruntu rodzimego  $n = 0,025 \div 0,030$  [-],

$I_d$  – nachylenie podłużne dna rowu, przyjmowane stosownie do nachylenia terenu, ale nie mniejsze niż  $I_d \geq 0,002$ ; gdy rów jest wykonany w gruncie rodzimym, to spadek jego dna nie powinien przekraczać wartości podanych w tablicy 3.4 [-],

$R_h$  – promień hydrauliczny obliczony ze wzoru:

$$R_h = \frac{A}{O_z} \quad [m] \quad (8)$$

w którym:

$A$  – pole powierzchni części przekroju rowu wypełnionej wodą [m<sup>2</sup>],

$O_z$  – długość obwodu zwilżonego obrysu tej części przekroju, która jest w kontakcie z wodą [m].

**Tablica 3.4 Dopuszczalne nachylenia dna  $I_d$  rowu odwadniającego**

<b>Bez umocnienia skarp i dna</b>	
W gruntach piaszczystych	$I_d \leq 0,015$
W gruntach piaszczysto – gliniastych i pylastych	$I_d \leq 0,02$
W gruntach gliniastych i ilastych	$I_d \leq 0,03$
W gruntach skalistych	$I_d \leq 0,10$
<b>Z umocnieniem skarp i dna</b>	
Darniną na płask	$I_d \leq 0,03$
Faszyną	$I_d \leq 0,04$
Brukiem układanym na sucho	$I_d \leq 0,06$
Prefabrykatami betonowymi, np. kratkami wielootworowymi	$I_d \leq 0,10$
Brukiem ze spoinami wypełnianymi zaprawą cementową	$I_d \leq 0,15$

### 3.1.6 Parametry koryta zbiorczego wód opadowych

Parametry koryta zbiorczego przyjmuje się stosownie do obliczonej ilości wód opadowych, które dopłyną w pobliże konstrukcji oporowej. Ponieważ w pierwszej fazie obliczeń nie jest znany odpływ sekundowy ze zlewni konstrukcji, dlatego dla jego określenia należy wstępnie założyć parametry koryta. Koryta wykonane w gruncie rodzimym przyjmuje się najczęściej w postaci rowu o szerokości nie przekraczającej  $0,50 \div 1,0$  m i głębokości  $5 \div 10$  cm. Koryto z prefabrykatów betonowych ma zwykle przekrój owalny o szerokości do  $0,50$  m i głębokości nie przekraczającej  $8$  cm.

### 3.1.7 Zdolność przepustowa koryta zbiorczego wód opadowych

Zdolność przepustową koryta zbiorczego wód opadowych określa się ze wzoru:

$$Q_z = v_2 \times A \quad [m^3 / s] \quad (9)$$

w którym:

$v_2$  – prędkość przepływu wody w korycie zbiorczym [m/s],

$A$  – pole powierzchni części przekroju koryta wypełnionej wodą [m<sup>2</sup>].

Warunkiem poprawności przyjęcia parametrów koryta zbiorczego jest spełnienie nierówności:

$$Q_z \geq Q_o \quad (10)$$

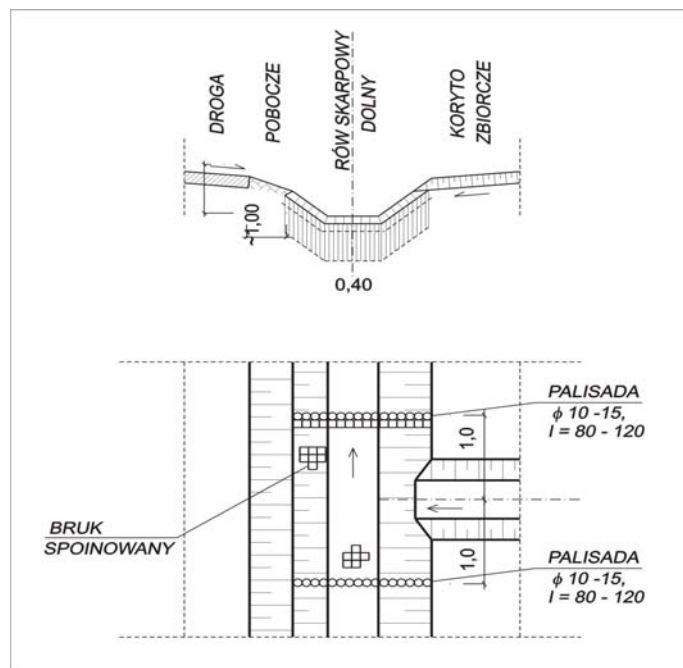
Gdy nierówność nie jest spełniona, obliczenia należy powtórzyć zwiększając przekrój koryta.

### 3.1.8 Rowy stokowe

Zasady wymiarowania rowów stokowych są dokładnie takie same jak koryt zbiorczych odwodnienia powierzchniowego. Do obliczeń wielkości odpływu sekundowego ze zlewni rowu stokowego, należy również stosować metodę granicznych natężeń deszczów, zakładając parametry rowu stokowego i porównując obliczony odpływ sekundowy ze zlewni ze zdolnością przepustową rowu.

### 3.1.9 Odprowadzenie wód z systemu odwodnienia powierzchniowego

Wody z systemu odwodnienia powierzchniowego drogowej konstrukcji oporowej, najczęściej odprowadza się do rowu przydrożnego (skarpowego dolnego). Jest to wprawdzie sprzeczne z zasadą nie łączenia wód z różnych elementów systemu odwodnienia, ale akurat w tym przypadku jest to dopuszczalne. Należy uwzględnić różnice wysokości końców konstrukcji oporowej i jej przejścia w stok naturalny lub w skarpe oraz dolnego rowu skarpowego systemu powierzchniowego odwodnienia drogi. Wodę z koryta zbiorczego konstrukcji oporowej można odprowadzić, albo bezpośrednio do rowu, albo poprzez kaskady lub bystrza. Przykład takiego rozwiązania pokazano na rys. 3.2.



Rys. 3.2 Rozwiązanie odbioru wód z koryta zbiorczego przez rów skarpowy dolny drogi

### **3.1.10 Ochrona wód przed zanieczyszczeniem**

Ustawy [1] i [3] zakazują odprowadzania ścieków bezpośrednio do wód podziemnych i powierzchniowych. Wymagają uprzedniego ich oczyszczenia do określonego stopnia czystości [7]. Także wody odprowadzane z systemów odwodnienia powierzchniowego dróg samochodowych, w tym z rowów skarpowych dolnych, powinny być odpowiednio oczyszczone przed wprowadzeniem do odbiornika lub w grunt. To wymaganie nie dotyczy jednak rowów skarpowych górnych (stokowych).

Systemy odwodnienia powierzchniowego drogowych konstrukcji oporowych korytami zbiorczymi, które przejmują spływy powierzchniowe z otwartego terenu, nie wymagają urządzeń oczyszczających wodę przed odprowadzeniem jej do odbiorników powierzchniowych lub w grunt. Natomiast, gdy droga samochodowa przebiega przez tereny zabudowane z chwilą, gdy wzdłuż niej poprowadzono konstrukcje oporowe, to ich systemy odwodnienia powinny być bezwzględnie wyposażony w urządzenia oczyszczające.

## **3.2 Odwodnienie podziemne**

### **3.2.1 Dokumentacja hydrogeologiczna do projektu odwodnienia podziemnego konstrukcji oporowych**

Rozpoznanie podłoża gruntowego oraz występujących w nim warunków wodnych, konieczne do opracowania projektu konstrukcji oporowej, powinno spełniać wymagania Rozporządzenia [8], dotyczącego zawartości dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno – inżynierskiej. Zgodnie z ustawą Prawo geologiczne i górnicze [4], takie rozpoznanie należy przeprowadzić wzdłuż osi konstrukcji. Rozpoznanie to powinno być podstawą projektu odwodnienia podziemnego drogowych konstrukcji oporowych usytuowanych, zarówno wzdłuż odcinków drogi w wykopach, jak i na nasypach.

Zakres dokumentacji hydrogeologicznej wymaganej do projektu odwodnień określa Rozporządzenie [8].

W projekcie systemu odwodnienia podziemnego konstrukcji oporowej należy wykorzystać informacje z dokumentacji geologiczno – inżynierskiej i hydrogeologicznej opracowanej dla projektu drogi. Dokumentacje te powinny być uzupełnione badaniami geotechnicznymi uściślającymi rozpoznanie podłoża zlewni, wykonanymi w rozstawach nie przekraczających  $30 \div 50$  m. Dokumentacja geotechniczna zlewni powinna zawierać informacje o rodzajach i uziarnieniu gruntów oraz miąższości poszczególnych warstw. Powinny być w niej podane poziomy zwierniaki wody gruntowej, zakresy jego zmian, współczynniki filtracji każdej warstwy gruntu oraz miąższości warstw wodonośnych.

### 3.2.2 Wody gruntowe

Urządzenia systemów odwodnienia działają w środowisku gruntowym, charakteryzującym się różnymi właściwościami fizycznymi i chemicznymi. Na rozwiązania projektowe, wykonawstwo i działania systemów odwodnienia wpływają przede wszystkim: uziarnienie, przepuszczalność, wodochłonność i odsączalność gruntu, wysokość wzniosu kapilarnego, gęstość objętościowa i inne. Woda podziemna ujmowana przez systemy odwodnienia musi być zbadana pod względem rodzaju i sposobu zasilania chronionego obszaru, a także agresywności w stosunku do materiałów konstrukcyjnych stosowanych w systemach odwodnienia. Największe znaczenie dla funkcjonowania systemów odwodnienia podziemnego mają wody gruntowe, które są zasilane opadami atmosferycznymi wsiąkającymi z powierzchni terenu oraz wodami napływającymi z pobliskich cieków i akwenów. Od tego zasilania zależą poziomy zwierciadła wód gruntowych i ich zasoby. Na wody gruntowe działa ciśnienie otoczenia związane przez pory międzycząsteczkowe gruntu z ciśnieniem atmosferycznym na powierzchni terenu.

### 3.2.3 Drenaż poprzeczny

Projektowanie systemu odwodnienia podziemnego w postaci drenażu poprzecznego konstrukcji oporowej, polega na przyjęciu średnicy, rozstawu i wysokościowego usytuowania sączków poprzecznych względem konstrukcji oraz ustaleniu wielkości dopływu wód gruntowych. W przypadku tego rodzaju odwodnienia, nie określa się zasięgu i położenia krzywej depresji, która powstanie w gruncie w rezultacie działania systemu odwadniania podziemnego.

Sączki odwodnienia poprzecznego mogą być rurami ceramicznymi, kamionkowymi lub z tworzyw sztucznych (zwykle polietylenu dużej gęstości HDPE, albo polipropylenu PP). Wysokość zainstalowania sączków powinna być dostosowana do wysokości usytuowania konstrukcji oporowej względem odwadnianej warstwy gruntu. Sączki rozmieszczać należy w założonych odległościach, tworząc z nich system odwodnienia dostosowany do położenia wysokościowego warstwy wodonośnej.

#### 3.2.3.1 Określenie rozstawu sączków

Rozstaw sączków należy dostosować do przepuszczalności odwadnianego gruntu. Zwykle rozstaw przyjmuje się w zakresie  $1,0 \div 2,0$  m – mniejszy w gruntach bardziej przepuszczalnych ( $k_f > 25$  m/d), większy – w słabo ( $k_f < 10^{-1}$  m/d) lub trudno przepuszczalnych ( $k_f < 10^{-4}$  m/d). Sączki zwykle umieszcza się  $0,20 \div 0,30$  m nad stopą fundamentową konstrukcji oporowej. Wysokość ta zależy nie tylko od zamierzonego obniżenia zwierciadła wody gruntowej, ale także od możliwości grawitacyjnego odprowadzenia wody z sączków do urządzenia odbierającego.

### 3.2.3.2 Średnice sączków

Najmniejsza średnica wewnętrzna sączków drenarskich powinna wynosić 0,10 m. Rzadko są stosowane średnice większe i zwykle nie przekraczają 0,20 m, nie ma bowiem takiej potrzeby z uwagi na obliczeniową wielkość dopływu wody. Większe średnice przyjmuje się dla kolektorów zbierających wodę z poszczególnych sączków poprzecznych, gdy nie ma możliwości bezpośredniego zrzutu z nich wody.

### 3.2.3.3 Filtry odwrotne

Wlot sączka poprzecznego od strony zasypki konstrukcji oporowej lub od strony gruntu naturalnego należy zabezpieczyć filtrem odwrotnym, uniemożliwiającym wynoszenie przez wodę z konstrukcji bardzo drobnych frakcji zasypki konstrukcji oporowej. Filtr odwrotny powinien być wykonany ze żwiru o granulacji 4/8 mm i mieć kształt bryły o wymiarach  $0,30 \times 0,30 \times 0,30$  m. Filtr powinien być tak usytuowany, aby dokładnie zasłaniać wlot sączka.

### 3.2.3.4 Określenie wielkości dopływu do sączków poprzecznych

Dopływ wód gruntowych do sączków należy określić na podstawie obliczeń zasobów dynamicznych wód gruntowych. Wzory określające wielkość dopływu są podane w kolejnych punktach Zaleceń. Dopływ zależy od usytuowania sączków względem warstwy wodonośnej.

Warunki dopływu wody do poszczególnych sączków poprzecznych można polepszyć wykonując wzdłuż całej konstrukcji oporowej warstwę filtracyjną. Efektywność działania tej warstwy jest większa, gdy za konstrukcją oporową występują grunty słabo przepuszczalne.

### 3.2.3.5 Sprawdzenie zdolności chłonnej pojedynczego sączka poprzecznego

Zdolność chłonną pojedynczego sączka należy sprawdzić korzystając ze wzorów podanych w kolejnych punktach Zaleceń. Ilość wody przejmowanej przez pojedynczy sączek poprzeczny zależy od rozwiązania filtra odwrotnego przy wlocie sączka.

### 3.2.3.6 Odprowadzanie wód wypływających z sączków poprzecznych

Woda gruntowa przejmowana przez sączki poprzeczne może być odprowadzana bezpośrednio do przydrożnego rowu skarpowego dolnego, albo – kolektorem zbiorczym – do pobliskiego cieką lub zbiornika. Gdy wody gruntowe są czyste, to w projekcie odprowadzenia ich z systemu odwodnienia konstrukcji oporowej uwzględnia się tylko ilość wody.



### 3.3 Drenaż podziemny zmniejszający dopływ wody gruntowej do konstrukcji oporowej

W projekcie odwodnienia podziemnego należy:

- określić wielkości dopływu wód gruntowych do konstrukcji,
- przyjąć wysokość usytuowania drenażu względem konstrukcji oporowej,
- przyjąć średnicę sączków,
- określić zasięg depresji, która powstanie w gruncie wskutek działania systemu odwadniania.

#### 3.3.1 Wysokość i odległość drenażu podziemnego od konstrukcji oporowej

Usytuowanie wysokościowe drenażu należy zakładać wstępnie. Zależy ono od wymaganego obniżenia zwierciadła wody gruntowej w stosunku do poziomu najniższego elementu konstrukcji oporowej. Zwykle jednak, ze względu na warunki wykonawstwa sytuuje się drenaż, albo w poziomie stopy fundamentowej konstrukcji, albo około 0,30 ÷ 0,50 m poniżej stopy. Na poziom instalowania drenażu ma wpływ kolejność prac budowlanych. Jeżeli drenaż będzie instalowany przed budową konstrukcji oporowej, to głębokość jego usytuowania nie zależy od poziomu stopy konstrukcji. Wtedy może być przyjęty na wysokości stopy lub nieco niżej.

Dreny zainstalowane w spągu warstwy przepuszczalnej powinny być możliwie blisko krawędzi ławy fundamentowej, jednak nie bliżej niż 0,40 ÷ 0,50 m. Natomiast dreny zainstalowane w warstwie wodonośnej powyżej jej spągu, powinny być w odległości 5,0 ÷ 6,0 m od krawędzi fundamentu. W obu przypadkach zaleca się sprawdzenie, czy przy przyjętej odległości będzie zapewniona w czasie prac budowlanych stateczność masywu ziemnego. W tym celu korzysta się ze schematu pokazanego na rys. 3.3 i wzoru podanego poniżej:

$$L = l + \frac{b}{2} + \frac{H - h}{\operatorname{tg} f_i} [m]$$

(11)

w którym:

$L$  – minimalna odległość osi drenażu od krawędzi fundamentu konstrukcji oporowej [m],

$l$  – szerokość odsadzki fundamentu [m],

$b$  – szerokość wykopu dla zainstalowania drenażu [m],

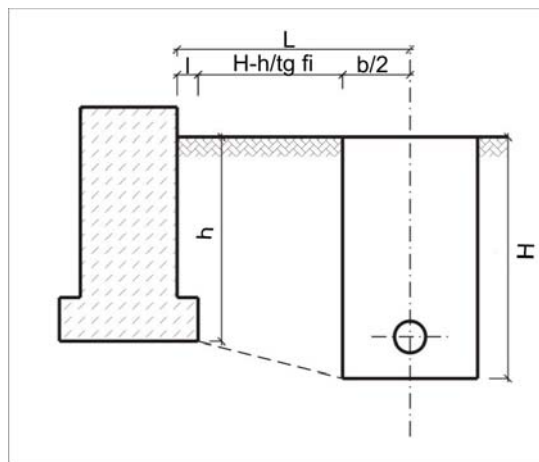
$H$  – głębokość tego wykopu [m],

$h$  – głębokość stopy fundamentu poniżej terenu [m],

$f_i$  – charakterystyczny kąt tarcia wewnętrznego gruntu w rejonie prowadzonych prac [stopnie].

### 3.3.2 Przekrój drenów

Średnicę wewnętrzną drenów zmniejszających dopływ wody gruntowej do konstrukcji oporowej, należy określić odpowiednio do spodziewanej ilości wody, która będzie do niego dopływała, ale przyjmuje się średnicę nie mniejszą niż 0,20 m. Zwykle stosuje się przewody drenarskie z polietylenu wysokiej gęstości (PEHD) lub polipropylenu (PP). Dreny należy układać w wykopie wykonanym równoległe do konstrukcji oporowej na głębokości, która zapewni wymagane obniżenie zwierciadła wody gruntowej. Przewody muszą być obsypane materiałem filtracyjnym otoczonym geowłókniną, zapewniającym dobre warunki przepływu wody gruntowej do drenu. Minimalna szerokość wykopu, konieczna do zainstalowania drenażu, zależy od grubości obsypki.



Rys. 3.3 Oznaczenia użyte we wzorze do obliczania minimalnej odległości drenażu od krawędzi fundamentu konstrukcji oporowej

### 3.3.3 Spadki podłużne drenów

Przewód drenarski powinien mieć nachylenie podłużne zapewniające przepływ w przewodzie wody z prędkością powodującą wynoszenie z jego wnętrza bardzo drobnych i drobnych frakcji gruntu, które dostają się tam wraz z wodą gruntową. Przyjmuje się, że minimalna prędkość wody w przewodzie, zapewniająca unoszenie drobnych frakcji, wynosi  $v = 0,20$  m/s.

Ponieważ w rzeczywistości prędkość ta zależy od średnicy przewodu i od rodzaju odwadnianego gruntu, dlatego przyjmuje się minimalne spadki podłużne przewodów różne dla przewodów o różnych średnicach i dla różnych rodzajów

gruntu. Zaleca się stosowanie następujących spadków podłużnych dna przewodów:

- o średnicy wewnętrznej 0,20 m, w gruntach gliniastych –  $I_d \geq 2 \text{ ‰}$ ,
- o średnicy wewnętrznej 0,20 m, w gruntach piaszczystych i pylastych –  $I_d \geq 3 \text{ ‰}$ ,
- o średnicy wewnętrznej 0,30 m (niezależnie od rodzaju gruntu) –  $I_d \geq 1,5 \text{ ‰}$ ,
- o średnicy wewnętrznej  $> 0,30$  m (niezależnie od rodzaju gruntu) –  $I_d \geq 0,5 \text{ ‰}$ .

Oprócz zapewnienia minimalnej prędkości wody w przewodzie, nie należy także przekraczać prędkości maksymalnej, którą zwykle przyjmuje się o wartości  $v_{max} = 1,0$  m/s. Przekroczenie jej może spowodować płynięcie wody na zewnątrz, wzdłuż przewodu drenarskiego, co grozi jego podmyciem i wynikowymi deformacjami. W warunkach bardzo starannego wykonania obsypki filtracyjnej przewodu drenarskiego, prędkość ta może być zwiększona do 1,25 m/s.

### 3.3.4 Określenie dopływu wody gruntowej do drenażu podziemnego

Wielkość dopływu wody gruntowej do przewodu drenarskiego zależy od jego wysokościowego usytuowania nad stropem warstwy nieprzepuszczalnej (rys. 2.8). W przypadku drenażu ułożonego na stropie warstwy nieprzepuszczalnej, przejmującego całość zasobów dynamicznych wód gruntowych danego obszaru, jednostkowy dopływ ( $q_d$ ) wody gruntowej do drenu można obliczyć ze wzoru:

$$q_d = H_w \times k_f \times I \quad [m^3 / s mb] \quad (12)$$

w którym:

$H_w$  – średnia miąższość warstwy wodonośnej na obliczeniowej długości drenu [m],

$k_f$  – średnia wartość współczynnika filtracji [m/s],

$I$  – lokalny spadek zwierciadła wody gruntowej w przekroju trasy drenu; gdy nie wykonano pomiarów, to można przyjąć  $I = I_t$  (nachylenie terenu) [-].

W przypadku drenażu ułożonego nad stropem warstwy nieprzepuszczalnej, gdy jest przechwytywana tylko część zasobów dynamicznych wód gruntowych, to jednostkowy dopływ do drenu można obliczyć ze wzoru:

$$q_d = t \times k_f \times I \quad [m^3 / s mb] \quad (13)$$

w którym:

$t$  – projektowane obniżenie zwierciadła wody, które odpowiada położeniu osi drenu pod naturalnym zwierciadłem wody [m].

Wartość dopływu całkowitego ( $Q_d$ ) do drenu oblicza się mnożąc dopływ jednostkowy przez długość przewodu drenarskiego ( $L$ ), na której następuje obniżenie zwierciadła wody gruntowej.

### 3.3.5 Sprawdzenie zdolności chłonnej i zdolności przepustowej drenu

Warunkiem poprawnego działania drenażu zmniejszającego dopływ wody gruntowej do konstrukcji oporowej jest odpowiednia jego chłonność, czyli zdolność przejmowania wody gruntowej dopływającej do drenu. Należy to sprawdzić porównując jednostkowe natężenie przepływu ( $q_o$ ), który dren może przyjąć, z jednostkowym natężeniem dopływu wody gruntowej ( $q_d$ ) do drenu.

Maksymalną chłonność jednostkową drenu ( $q_o$ ) oblicza się ze wzoru ustalonego z warunku maksymalnej prędkości przepływu wody na linii styku odwadnianego gruntu z obsypką filtracyjną, podanego poniżej:

$$q_o = (2 \times h + b) \times l \times v_d \quad [m^3 / s mb] \quad (14)$$

w którym:

$h = h_1 + \Delta h$  [m] – wysokość nad spodem obsypki przecięcia krzywej depresji z linią styku obsypki z odwadnianym gruntem, (rys. 3.4),

$h_1$  – wysokość środka przekroju drenu nad spodem obsypki [m],

$\Delta h = 0,22 \times \frac{q_d}{k_f}$  [m] – odcinek swobodnego sączenia wody,

$q_d$  – jednostkowy dopływ do drenu [ $m^3/s mb$ ],

$k_f$  – współczynnik filtracji odwadnianego gruntu [m/s],

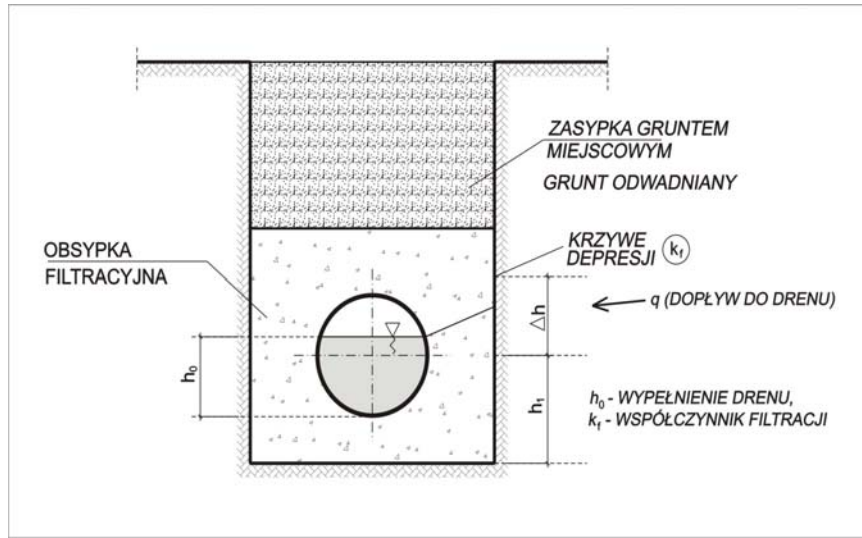
$b$  – szerokość warstwy obsypki pod drenem [m],

$l$  – długość obsypki na 1 m długości drenu, gdy zastosowano obsypkę ciągłą, to  $l = 1,0$  m,

$v_d = \frac{\sqrt{k_f}}{15}$  [m/s] – prędkość dopuszczalna wpływu wody przez obsypkę do drenu [m/s],

Zdolność przepustowa przewodu drenarskiego ( $Q_z$ ), zależy od jego: średnicy wewnętrznej ( $D$ ), podłużnego nachylenia dna ( $I_d$ ) oraz materiału przewodu. W obliczeniach sprawdzających zakłada się wypełnienie przewodu w zakresie  $0,50 \leq h_o/D \leq 0,75$  ( $h_o$  – wysokość wypełnienia wewnętrznego przekroju przewodu,  $D$  – jego średnica wewnętrzna).

Następnie oblicza się zdolność przepustową przewodu. Porównując obliczoną zdolność przepustową  $Q_z$  z wartością dopływu do drenu  $Q_d$ , pozostawia się przyjętą średnicę, zwiększa się ją lub zmniejsza.



Rys. nr 3.4 Oznaczenia stosowane we wzorach do obliczania zdolności chłonnej drenu

Zdolność przepustową przewodu drenarskiego oblicza się ze wzoru podanego poniżej:

$$Q_z = A \times v = A \times \frac{1}{n} \times R_h^{2/3} \times I_d^{1/2} \quad [m^3/s] \quad (15)$$

w którym:

$A$  – pole przekroju części przewodu wypełnionego wodą dla założonego stosunku  $h_o/D$  [ $m^2$ ],

$n$  – współczynnik szorstkości charakteryzujący rodzaj materiału, z którego jest przewód drenu (dla rur HDPE i PP można przyjąć  $n = 0,012$ ),

$R_h$  – promień hydrauliczny [m],

$I_d$  – spadek podłużny linii dna przewodu [-].

Pole przekroju przepływu przewodu drenarskiego stosownie do wysokości jego wypełnienia, oblicza się ze wzoru podanego poniżej:

$$A = \left( \frac{\varphi - \sin \varphi^\circ}{8} \right) \times D^2 \quad [m^2] \quad (16)$$

w którym:

$\varphi$  – kąt środkowy (dla  $H/D = 1$ ,  $\varphi = 360^\circ$ ; dla  $h_o/D = 0$ ,  $\varphi = 0^\circ$ ), we wzorze (16) przyjmowany w radianach ( $\varphi = \pi \varphi^\circ / 180$ ),

$h_o$  – wysokość wypełnienia przekroju przewodu drenarskiego [m],

$D$  – średnica wewnętrzna przewodu [m].

Promień hydrauliczny przewodu wypełnionego do wysokości  $h_o$  wodą oblicza się ze wzoru podanego poniżej:

$$R_h = \left(1 - \frac{\sin \varphi^\circ}{\varphi}\right) \times \frac{D}{4} \quad [m] \quad (17)$$

w którym:

$R_h$  – promień hydrauliczny [m],

$\varphi$  – kąt środkowy przyjmowany w radianach ( $\varphi = \pi \varphi^\circ / 180$ ).

Warunkiem poprawnego doboru przekroju drenu jest spełnienie podanej poniżej zależności:

$$Q_z \geq Q_d \quad (18)$$

### 3.3.6 Określenia zasięgu krzywej depresji

Postępując zgodnie z wymogami ustawy [1], projektując urządzenia odwadniające w gruncie, zawsze należy określić zasięg krzywej depresji wywołanej działaniem przewodu drenarskiego. Zasięg ten, nazywany depresją umowną (ponieważ teoretycznie w gruntach jest nieskończenie duży), przykładowo można obliczyć z empirycznego wzoru Kusakina o postaci podanej poniżej:

$$R = 3000 \times s \times \sqrt{k_f} \quad [m] \quad (19)$$

w którym:

$s$  – obniżenie zwierciadła wody (depresja) w gruncie przy drenie [m],

$k_f$  – współczynnik filtracji odwadnianego gruntu [m/s].

### 3.3.7 Zabezpieczenie przewodów drenarskich

Przewody drenarskie wymagają zabezpieczenia przed przedostawaniem się do ich wnętrza frakcji pylastych gruntu, wnoszonych wraz z wodą z odwadnianego gruntu. Brak stosownego zabezpieczenia drenów może doprowadzić do powstawania kawern i nadmiernego osiadania gruntu wzdłuż trasy przebiegu drenażu, z uwagi na możliwość równoległego uruchomienia zjawiska sufozji. Niezbędna jest także ochrona przewodów przed zamulaniem i zarastaniem roślinnością przekroju przewodu drenarskiego.

Dreny zabezpiecza się przed zamulaniem, a otaczający je grunt przed sufozją, wykonując wokół przewodów drenarskich obsypkę z materiałów filtracyjnych, z gruntów niespoistych: gruboziarnistego piasku, pospółki, żwiru oraz otaczając obsypkę geowłókniną filtracyjną o gramaturze np. 400 g/mm<sup>2</sup>.

Kryteria uziarnienia i przepuszczalności materiałów filtracyjnych do wykonania obsypki są takie same, jak materiałów do wykonywania filtrów odwrotnych. Uziarnienie obsypki filtracyjnych stykających się z gruntami

niespoistymi można określać z wykresu na rys. 3.5, na którym wymagany stosunek średnic  $D_{50}$  gruntu filtracyjnego do  $d_{50}$  gruntu odwadnianego należy określać ze wzoru podanego poniżej:

$$C = \frac{D_{50}}{d_{50}} \quad (20)$$

oraz zależy od wskaźnika różnoziarnistości materiału filtracyjnego, określanego ze wzoru poniżej:

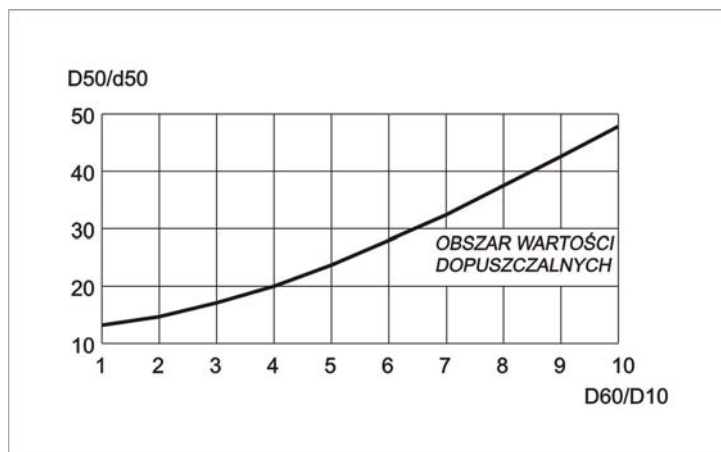
$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (21)$$

w którym:

$D_{10}$ ,  $D_{50}$  i  $D_{60}$  – średnice ziaren gruntu obsypki filtracyjnej, których wagowa zawartość wraz z ziarnami mniejszymi wynosi w próbce, odpowiednio, 10, 50 lub 60 % [mm],

$d_{50}$  – średnica ziaren gruntu chronionego (odwadnianego, przylegającego do obsypki o  $D_{50}$ ), których wagowa zawartość jw. wynosi w próbce 50 %) [mm].

Podany sposób postępowania przy wyborze materiału obsypki filtracyjnej jest jednym z wielu stosowanych. W każdym przypadku podstawowe znaczenie ma właściwe rozpoznanie cech filtracyjnych gruntu, który ma być odwadniany.



Rys. 3.5 Wykres do określania uziarnienia obsypki filtracyjnej przewodów drenarskich w gruntach niespoistych i mało spoistych

### 3.3.8 Wyposażenie systemu drenażu głębokiego

System drenażu głębokiego drogowej konstrukcji oporowej należy wyposażyć w studnie kontrolne, połączeniowe i przepadowe oraz w wyloty

przewodów drenarskich. *Studnie kontrolne* umożliwiają utrzymanie sprawności działania przewodów drenarskich. Studnie rozmieszcza się na prostych odcinkach przewodów drenarskich pomiędzy studniami połączeniowymi, w odległościach zależnych od rodzaju materiału przewodów. Dla przewodów ceramicznych, rozstaw studni kontrolnych przyjmuje się równy  $25 \div 30$  m, dla przewodów kamionkowych lub z tworzyw sztucznych – równy  $30 \div 50$  m, a dla przewodów betonowych – jako równy 50 m. Należy jednak podkreślić, że przewody betonowe można jedynie stosować w sytuacji, gdy wody gruntowe nie są agresywne. Średnica studni kontrolnej powinna wynosić 1,0 m. Studnia o takiej średnicy umożliwia przeprowadzanie kontroli stanu i oczyszczanie przewodów drenarskich. Zaleca się stosowanie studni używanych w kanalizacjach (tzn. bez osadnika w dnie, w jaki wyposażone są typowe studnie melioracyjne).

*Studnie połączeniowe* należy stosować w miejscach połączenia kilku przewodów. Ich średnica powinna być większa od studni kontrolnej i powinna wynosić co najmniej  $1,20 \div 1,40$  m. Studnia połączeniowa może w takiej sytuacji spełniać jednocześnie rolę studni kontrolnej.

*Studnie przepadowe* instaluje się w miejscach różnicy poziomów przewodu drenarskiego. Studnia tego typu umożliwia przepływ wody z jednego odcinka przewodu do drugiego położonego znacznie niżej. Gdy różnica poziomów sąsiednich końców odcinków przewodu przekracza 1,0 m, to dno i dolną część ścian studni do wysokości 0,50 m należy wzmocnić warstwą zbrojonego betonu. Zalecenie to nie dotyczy studni z tworzyw sztucznych.

*Wyloty przewodów drenarskich* są urządzeniami odprowadzającymi wodę z systemów drenażowych do odbiorników. Są bardzo ważnym elementem drenaży, bowiem niedrożność odpływu wody z drenażu przerywa działanie całego systemu odwodnienia. Dlatego lokalizacja, wysokość i konstrukcja wylotu powinny zapewnić jego trwałość i zachowanie projektowej zdolności przepustowej oraz powinny zabezpieczyć wylot przed podmyciem i przemieszczeniem. Spód końca przewodu drenarskiego w wylocie powinien być usytuowany, co najmniej  $0,20 \div 0,30$  m nad dnem odbiornika wody.

Przykład wylotu przewodu drenarskiego do rowu przydrożnego pokazano na rys. 3.6.

### 3.3.9 Odprowadzenie wód z drenażu podziemnego

Wody gruntowe z drenażu podziemnego można odprowadzić do: rowu skarpowego dolnego, pobliskiego ciek, albo systemu kanalizacyjnego lub melioracyjnego. Do ciek można odprowadzać wodę z drenażu podziemnego bez ograniczeń. Natomiast odprowadzenie wody do systemu kanalizacji lub melioracji wymaga sprawdzenia, czy jest on w stanie przyjąć dodatkową ilość wody, wymaga uzyskania zgody właściciela i ustalenia z właścicielem ewentualnych opłat za wprowadzenie wód.





Wprawdzie wody gruntowe zwykle cechuje słaba agresywność w stosunku do betonu, ale nie wolno tego zakładać *a priori*. Wskaźnik pH wód gruntowych może bowiem osiągać nawet wartość około 3,0, a w takiej wodzie beton silnie koroduje. Wody gruntowe o wskaźniku pH = 3,0 i zawierające znaczną ilość siarczanów występują zwłaszcza w gruntach organicznych, na przykład w torfach.

Norma PN-EN-206 zalicza elementy systemów odwodnienia do narażonych na działanie środowiska słabo agresywnego w stosunku do betonu (XA1). Beton w takim środowisku powinien spełniać wymagania ochrony strukturalnej. Natomiast gdy beton będzie się znajdował w środowiskach klasy XA2 i XA3, to należy go także zabezpieczyć powierzchniowo. Najważniejsze wymagania dotyczące ochrony strukturalnej są zestawione w tablicy 4.1.

**Tablica 4.1 Wymagania dotyczące betonu narażonego na agresję chemiczną**

Cecha	Klasa środowiska wg PN-EN 206		
	XA1	XA2	XA3
Minimalna grubość otuliny [mm]	25	30	40
Maksymalny wskaźnik w/c	0,55	0,50	0,45
Wodoszczelność	W4 do W6	W6 do W8	W8
Dopuszczalna szerokość rozwarcia rys [mm]	0,20	0,10	0,10
Minimalna klasa betonu	C30/37	C30/37	C35/45
Minimalna zawartość cementu [kg/m <sup>3</sup> ]	300	320	360

Betony narażone na korozję biologiczną powinny mieć stosunek w/c około 0,50. Odporność betonu na ten rodzaj korozji można zwiększyć dodając do mieszanki betonowej pył krzemionkowy w ilości około 8 ÷ 10 % masy cementu. Pył krzemionkowy istotnie zwiększa szczelność betonu i przez to jego trwałość.

Zaleca się stosowanie do wykonania elementów odwodnienia beton z cementem hutniczym lub cementem CEM II B-V. Oba te cementy mają zwiększoną odporność na korozję siarczanową i są szczelne. Ponadto charakteryzują się małym ciepłem hydratacji i powolnym przyrostem wytrzymałości, co ogranicza zarysowania skurczowe wykonanych z nich elementów.

Dla zapewnienia trwałości elementów systemu odwodnienia wykonanych z betonu zbrojonego, należy stosować otulinę prętów zbrojenia o grubości nie mniejszej niż 35 mm.

#### 4.1.2 Własności betonu prefabrykatów

W przypadku budowy systemów odwodnienia z elementów betonowych generalnie zaleca się stosowanie prefabrykatów, gdyż charakteryzują się lepszą jakością materiału, większą trwałością i odpornością na korozję niż elementy z betonu formowane na miejscu użytkowania.

Prefabrykowane elementy betonowe systemu odwodnienia powierzchniowego, powinny cechować małą nasiąkliwość i podwyższona wodoszczelność. Są one bowiem wystawione na działania zmiennych czynników takich jak: temperatury i opadów atmosferycznych. Dlatego powinny być wykonane z odpowiedniej mieszanki betonowej, a w przypadku instalowania w środowiskach klasy XA2 lub XA3 – pokryte od strony zewnętrznej i wewnętrznej powłoką ochronną. Własności prefabrykowanych elementów muszą spełniać następujące wymagania:

- o  $w/c \leq 0.45$ ,
- klasy co najmniej C35/45,
- o wodoszczelności nie niższej niż W6 (wg PN-B/06250),
- o stopniu mrozoodporności F200 (wg PN-B/06250),
- zawierającego cementu co najmniej 340 kg/m<sup>3</sup>.

Natomiast, gdy elementy odwodnienia nie będą narażone na działanie chlorków to można je wykonać z betonu:

- o  $w/c \leq 0.45$ ,
- klasy co najmniej C30/37,
- o wodoszczelności nie niższej niż W6 (wg PN-B/06250),
- o stopniu mrozoodporności F200 (wg PN-B/06250),
- zawierającego cement w ilości co najmniej 300 kg/m<sup>3</sup>.

Przewody betonowe instalowane w ziemi wymagają ze względu na agresywność środowiska gruntowo – wodnego ochrony strukturalnej, a w przypadku środowisk klasy XA2 lub XA3 – także ochrony powierzchniowej. Strukturalną odporność betonu na korozję, zwłaszcza siarczanową, można osiągnąć:

- zapewniając zmniejszoną nasiąkliwość i podwyższoną wodoszczelność betonu; nasiąkliwość powinna być mniejsza niż 4 %; wodoszczelność dostosowana do przewidywanego zagrożenia korozyjnego,
- stosując w mieszance betonowej możliwie mały stosunek  $w/c$ ; nie powinien przekraczać około 0,45 (optymalny wynosi 0,40); wtedy uzyskuje się zmniejszenie przesiąkliwości i podatności betonu na ścieranie,
- stosując cement o podwyższonej odporności na korozję; szczególnie ważna jest zawartość w cemencie C<sub>3</sub>A (powinna być mniejsza niż 5 %),

- stosując kruszywo odporne na korozję (znaczące zwiększenie odporności betonu na korozję siarczanową daje użycie kruszywa węglanowego),
- stosując domieszki i dodatki poprawiające szczelność i odporność betonu na korozję.

Zabezpieczenie powierzchniowe betonowych przewodów prefabrykowanych instalowanych pod ziemią powinna cechować:

- odporność chemiczna,
- szczelność,
- przyczepność do betonu,
- odporność na rysy,
- odporność mechaniczną.

Odporność chemiczną dostosowuje się do przewidywanego zagrożenia korozją. Wody gruntowe zwykle powodują korozję siarczanową. Wytrzymałość izolacji z mieszanek bitumiczno – epoksydowych na odrywanie od betonu powinna wynosić, co najmniej 1,20 MPa, natomiast izolacji bitumicznych – co najmniej 1,0 MPa. Ponieważ dopuszcza się w przewodach betonowych rysy o rozwarciu do 0,10 mm, dlatego także izolacje stosowane do powierzchniowych zabezpieczeń przewodów powinny być odporne na rysy w betonie o takiej rozwarości.

Materiały izolacyjne muszą być odporne na działania mechaniczne (ścieranie przez płynące z wodą osady i drobny piasek) oraz na procesy oczyszczenia przewodów (zwykle wodą o zwiększonym ciśnieniu).

Przed wbudowaniem prefabrykowanych elementów betonowych w system odwodnienia powierzchniowego i wglębnego należy na placu budowy sprawdzać:

- wygląd prefabrykatów (gładkość i jednolitość powierzchni, występowanie rys, pęknięć, ubytków i rozwarstwień); ocenę należy przeprowadzić według BN-83/8971-06.00/PN-EN 1916,
- wymiary prefabrykatów (ich zgodność z projektem); dokładność pomiarów i dopuszczalne odchyłki określa norma BN-83/8971-06.00,
- prostopadłość czoła prefabrykatu do jego podłużnej osi geometrycznej; dopuszczalne odchylenie od płaszczyzny prostopadłej przewodów o średnicy wewnętrznej do 1,0 m nie powinno być większe niż 0,02 tej średnicy.

Sprawdzanie klasy betonu, rozmieszczenia zbrojenia, wytrzymałości ze względu na transport, wodoszczelności, wytrzymałości na obciążenia zewnętrzne i na pękanie, przeprowadza się w zakładzie prefabrykacji, zgodnie z obowiązującymi normami. Każdy prefabrykat powinien mieć certyfikat przydatności do stosowania w określonych warunkach.

#### 4.1.3 Własności tworzyw sztucznych termoplastycznych

Przewody drenarskie z tworzyw sztucznych są produkowane głównie z PVC (polichloroku winylu) oraz z HDPE (polietylenu). Ich bardzo korzystną cechą jest znaczna odkształcalność. Pod obciążeniem przekazywanym przez ośrodek gruntowy przekrój przewodu z tworzywa sztucznego deformuje się (zwykle spłaszcza), co redukuje siły wewnętrzne w dolnej i górnej części przewodu, a zwiększa siły w częściach bocznych. Efektem jest korzystne wyrównanie naprężeń w ściance przewodu. To zjawisko nie występuje w sztywnych przewodach, przez co w ich ściankach bywają duże koncentracje naprężeń. Sztywność przewodów można określić stosując zmodyfikowane kryteria Klein'a, gdy

$$\frac{r}{e} < \sqrt[3]{\frac{E}{E_g}} \quad (22)$$

to przewód jest sztywny,

$$\frac{r}{e} > \sqrt[3]{\frac{E}{E_g}} \quad (23)$$

to przewód jest podatny,

$$\frac{r}{e} = \sqrt[3]{\frac{E}{E_g}} \quad (24)$$

to przewód jest „półsztywny”.

gdzie:

$E_g$  – moduł odkształcalności gruntu [MPa],

$E$  – moduł sprężystości materiału, z którego wykonany jest przewód [MPa],

$r = \frac{d_e + d_i}{4}$  – średni promień przekroju przewodu [mm],

$d_e$  – średnica zewnętrzna przewodu [mm],

$d_i$  – średnica wewnętrzna przewodu [mm],

$e$  – grubość ścianki przewodu [mm].

W obliczeniach wytrzymałościowych przewodów z tworzyw sztucznych, należy uwzględniać zależność ich odkształceń od czasu trwania obciążenia. Można stosować zmodyfikowane prawo Hooke'a zastępując moduł sprężystości  $E$  (który ma stałą wartość), modułem  $E_p$  o zmiennej wartości, czyli w postaci:  $\sigma/\varepsilon = E_p$ .

Moduł  $E_p$  jest nazywany modułem pełzania – jeżeli opisuje wzrost w czasie odkształcenia względnego  $\varepsilon$  (pełzania) pod działaniem stałego naprężenia

lub modułem relaksacji – jeżeli opisuje zmniejszenie w czasie wartości naprężenia  $\sigma$  w materiale, w którym zachodzi stałe odkształcenie (relaksacja). Liczbowe wartości obu modułów są porównywalne

Dla celów praktyki inżynierskiej można korzystać z minimalnej wymaganej wytrzymałości tworzywa sztucznego *MRS* (*Minimum Required Strength*).

W przewodach grawitacyjnych podziemnych nacisk gruntu na przewód ogranicza swobodę pęczania jego materiału, wywołując zjawisko relaksacji. W takich warunkach początkowe naprężenia zmniejszają się z upływem czasu wskutek odkształceń ścianki przewodu (owalizacji).

Wytrzymałość przewodów wykonanych z termoplastów (HDPE, PVC, PP i innych) zależy także od temperatury. To umożliwia prognozowanie wytrzymałości termoplastów w długim okresie czasu (wytrzymałości długotrwałej) na podstawie wyników badań krótkotrwałych, w których upływ czasu symuluje się wzrostem temperatury. Określone w ten sposób projektowe naprężenia długotrwałe najczęściej stosowanych termoplastów, gdy wykonane z nich elementy będą w temperaturze + 20° C i dla okresu ich użytkowania dłuższego niż 50 lat przedstawiono w tabelicy 4.2.

**Tabela 4.2 Naprężenia projektowe i długotrwałe naprężenia niszczące podstawowych tworzyw termoplastycznych**

Material	Naprężenia projektowe [MPa]	Długotrwałe naprężenia niszczące [MPa]
PVCW	10,0 ÷ 14,0	25 ÷ 30
HDPE	5,0 ÷ 6,30	7 ÷ 9
PED	5,0 ÷ 6,30	8 ÷ 9
PELD	2,50 ÷ 3,20	4 ÷ 5
PP	5,0	8 ÷ 9

#### 4.1.4 Własności geosyntetyków

Wymagania dotyczące cech geosyntetyków zależą od ich funkcji projektowej, czy będą użyte do: separacji gruntów o różnym uziarnieniu, filtracji, drenażu, wzmocnienia, czy zabezpieczenia urządzeń drenażu. Podstawą wybrania geosyntetyku do zastosowania powinny być badania i obliczenia geotechniczne, zapewniające spełnienie przez geosyntetyk wymagań technicznych i założonej funkcji.

Materiały geosyntetyczne [26] stosowane jako osłony filtrujące w systemach drenażu powinny być dostatecznie wodoprzepuszczalne, aby

umożliwiać przepływ przez nie wody bez spiętrzania, a przy tym powinny zatrzymywać drobne frakcje gruntu zapobiegając wypłukiwaniu ich podłoża. Dwa ostatnie kryteria są przeciwstawne, ale nie sprzeczne.

Wymiary charakterystyczne porów geosyntetyku stosowanego jako materiał filtracyjny powinny być wystarczająco małe, aby zatrzymywać cząstki gruntu i wystarczająco duże, aby umożliwiać swobodny przepływ wody i przechodzenie niesionych przez nią najdrobniejszych cząstek. Wskutek zatrzymywania drobnych cząstek gruntu filtr z geosyntetyku ulega kolmatacji, co może powodować spadek jego przepuszczalności. Gdy spadek ten jest duży, to należy geosyntetyk wymienić.

Wymiary charakterystyczne  $O_{90\text{gtx}}$  porów geosyntetyków stosowanych jako filtry można bez szczegółowych badań i obliczeń przyjmować następujące [26]:

- a) Dla łatwych warunków hydraulicznych:
  - w geowłókninach –  $0,06 \text{ mm} \leq O_{90\text{gtx}} \leq 0,20 \text{ mm}$ ,
  - w geotkaninach –  $0,06 \text{ mm} \leq O_{90\text{gtx}} \leq 0,40 \text{ mm}$ .
- b) Dla przeciętnych warunków hydraulicznych, zależnie od rodzaju filtrowanego gruntu:
  - w gruntach spoistych –  $0,06 \text{ mm} \leq O_{90\text{gtx}} \leq 0,20 \text{ mm}$ ,
  - w pyle i piasku pylastym –  $0,06 \text{ mm} \leq O_{90\text{gtx}} \leq 0,11 \text{ mm}$ ,
  - w piasku drobnym –  $0,06 \text{ mm} \leq O_{90\text{gtx}} \leq 0,13 \text{ mm}$ ,
  - w piasku średnim –  $0,08 \text{ mm} \leq O_{90\text{gtx}} \leq 0,30 \text{ mm}$ ,
  - w piasku grubym –  $0,12 \text{ mm} \leq O_{90\text{gtx}} \leq 0,60 \text{ mm}$ .
- c) Dla trudnych warunków hydraulicznych należy przeprowadzić szczegółową analizę stateczności hydraulicznej filtra zwłaszcza w piaskach o małej przepuszczalności (pylastych, drobno i równoziarnistych, gdy  $C_U = U = d_{60}/d_{10} < 5$ ). W takich gruntach należy zapewnić, aby nie wystąpiła erozja (mechaniczne niszczenie z unoszeniem ziaren gruntu), a w gruntach niespoistych, o skokowo nieciągłej krzywej uziarnienia ( $C_U = U > 14$ ) lub w nie zawierających drobnych frakcji (poniżej  $d_{40}$ ) nie wystąpiła sufozja (wypłukiwanie bardzo drobnych cząstek naruszające stabilność struktury szkieletu gruntowego).

Zgodnie z [18] należy w analizie filtracji rozróżnić ze względu na warunki filtrowania następujące rodzaje gruntów:

- drobnoziarniste o  $d_{40} < 0,06 \text{ mm}$ ,
- grubo i różnoziarniste o  $d_{40} > 0,06 \text{ mm}$ .
- bardzo drobnoziarniste o wskaźniku plastyczności  $I_p < 0,15$  i/lub stosunku zawartości frakcji ilowej do pyłowej  $< 0,5$ ,
- grunty grubo- i różnoziarniste, zawierające frakcję pyłową ( $d < 0,06 \text{ mm}$ ) – o wskaźniku jednorodności uziarnienia  $C_U = U = d_{60}/d_{10} < 15$  i/lub – o zawartości frakcji od  $0,02$  do  $0,1 \text{ mm} > 50\%$ .

Dwa ostatnie rodzaje gruntów nie spełniają wymagań filtracji. Zaleca się stosowanie następujących kryteriów filtracji dotyczących zatrzymywania cząstek filtrowanego gruntu:

- drobnoziarnistego  $O_{90\text{ gtx}} \leq 10 d_{50}$ ,
- o bardzo małej przepuszczalności  $O_{90\text{ gtx}} \leq d_{90}$ ,
- grubo- i różnoziarnistego  $O_{90\text{ gtx}} \leq 5 d_{50} \sqrt{U}$  oraz  $O_{90\text{ gtx}} \leq d_{90}$ ,

dotyczących kolmatacji  $O_{90\text{ wyb}} > 0,2 O_{90\text{ gtx}}$ ,  
dotyczących działania hydraulicznego – geotekstylny dren powinien zapewnić wystarczający przepływ wody w danym gruncie.

W zależnościach tych:

- $O_{90\text{ gtx}}$  – charakterystyczna wielkość porów w geotekstyliu,
- $O_{90\text{ wyb}}$  – charakterystyczna wielkość porów wybranego wyrobu,
- $d_{10}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{90}$  – wielkość ziaren gruntu, które wraz z mniejszymi stanowią odpowiednio 10, 50 i 90 % masy gruntu.

W gruntach spoistych stosunek  $O_{90\text{ gtx}} / d_{90}$  może być znacznie większy niż w gruntach niespoistych, jednak trudno podać jego konkretne wartości ze względu na bardzo małe i zróżnicowane wymiary cząstek ilastych gruntu. Ale grunty spoiste zwykle nie stwarzają zagrożeń – ich spójność uniemożliwia wypłukiwanie cząstek, a mała przepuszczalność powoduje niewielkie przepływy wody. Zagrożenia mogą występować w strefach dużych gradientów przepływu.

Wodoprzepuszczalność geosyntetyków stosowanych jako osłony filtrujące w systemach drenażowych należy określać na podstawie obliczeń przepływu wody gruntowej. Stosunek wymiaru porów do wielkości ziaren gruntu powinien być możliwie najbliższy podanym wartościom granicznym, gdyż wtedy uzyskuje się największą przepuszczalność geotekstyliów, przy zachowaniu ich zdolności do zatrzymywania cząstek gruntu.

W trudnych warunkach gruntowo wodnych zaleca się wykonanie polowych badań filtracji w miejscu budowy systemu odwodnienia.

## **4.2 Wymagane własności konstrukcyjne elementów systemu**

### **4.2.1 Własności prefabrykatów systemu odwodnienia powierzchniowego i podziemnego**

Prefabrykowane elementy betonowe stosowane do wykonania systemów odwodnienia powierzchniowego i podziemnego cechuje znaczna wytrzymałość i ciężar. Powinny być stosowane szczególnie do budowy przewodów zbiorczych zarówno układanych na powierzchni terenu jak i umieszczanych pod jego powierzchnią.



#### **4.2.2 Własności przewodów drenarskich**

Przewody systemów odwodnienia podziemnego powinny charakteryzować się odpowiednią wytrzymałością, niedużym ciężarem oraz nadawać się do łatwego montażu i instalowania w gruncie. Przekrój otworu przewodu (jego średnica) oraz jego otwór wlotowy i wylotowy, powinny zapewniać sprawność hydrauliczną przepływu wody i drobnych osadów. Powinien być zapewniony dogodny dostęp do przewodów dla umożliwienia ich przeglądów, konserwacji (głównie usuwania osadów) i napraw. Przewody powinny być odporne na działanie sprzętu do ich ewentualnego czyszczenia dla utrzymania drożności.

#### **4.2.3 Własności studni połączeniowych**

Studnie powinny mieć odpowiednią wytrzymałość, nieduży ciężar (ewentualnie rekompensowany obciążnikami przeciwdziałającymi sile wyporu), nadawać się do łatwego montażu i łączenia z przewodami drenarskimi oraz do łatwego posadowienia w gruncie. Powinny umożliwiać dogodny dostęp do przewodów drenarskich dla przeprowadzenia ich przeglądów, konserwacji i napraw oraz powinny umożliwiać wentylację sieci drenarskiej.

### **5. Wykonawstwo odwodnień drogowych konstrukcji oporowych**

#### **5.1 Porządkowanie zlewni konstrukcji oporowej**

Porządkowania zlewni drogowej konstrukcji oporowej należy rozpocząć od dokładnego przeglądu zagospodarowania jej terenu oraz określenia i opisanie pełnego zakresu prac porządkowych. Od dokładnego zrealizowania wszystkich tych prac zależy możliwość uzyskania efektu poprawy, a nie pogorszenia warunków gruntowych i wodnych zlewni.

W pierwszej kolejności należy usunąć z terenu krzaki i zdziczałą roślinność, które mogą utrudniać swobodny spływ wód powierzchniowych do urządzeń odwadniających. Nie należy przy tym naruszać naturalnego zadarnienia powierzchni terenu, aby nie spowodować jego erozji deszczowej i wietrznej.

Następnie trzeba usunąć wybrzuszenia i zagłębienia powierzchni terenu. Prace te powinny być realizowane z wykorzystaniem gruntu miejscowego – grunt usuwany z wybrzuszeń powinien być umieszczony w zagłębieniach. Po zakończeniu prac ziemnych należy odtworzyć pokrycie powierzchni terenu zlewni roślinami trawiastymi.

## 5.2 Wykonanie koryta zbiorczego wód deszczowych

Koryto zbiorcze wód deszczowych należy wykonać po zakończeniu budowy drogowej konstrukcji oporowej i jej zasypce. Wykonanie koryta należy rozpocząć od wykopania wzdłuż ściany oporowej rowu o wymiarach poprzecznych wynikających z projektowych wymiarów przekroju koryta. Przy tym głębokość rowu powinna być, co najmniej o 0,10 m większa niż konieczna do ułożenia elementów wykładziny koryta. Większa głębokość rowu jest potrzebna do umieszczenia pod wykładzinę warstwy podsypki. Podsypkę zwykle wykonuje się z gruntu piaszczystego, dającego się łatwo zagęścić ręcznie do  $I_{Dw} > 0,70$ , ewentualnie  $I_{Sw} \geq 0,95$  ( $I_{Dw}$  – wymagana wartość stopnia zagęszczenia,  $I_{Sw}$  – wymagana wartość wskaźnika zagęszczenia). Przed przystąpieniem do wykonania podsypki należy sprawdzić zgodność z projektem usytuowanie rowu i podłużnego spadku jego dna. Ponownie kontroluje się spadek dna po wykonaniu podsypki, przed przystąpieniem do instalowania wykładziny koryta.

Przed rozpoczęciem układania prefabrykowanej wykładziny koryta, należy wzdłuż wykonanego rowu wytyczyć i oznaczyć oś koryta. Poszczególne prefabrykaty wykładziny należy układać postępując w kierunku spływu wody w korycie. Po ułożeniu każdego kolejnego prefabrykatu sprawdza się jego osiowość oraz położenie wysokościowe w stosunku do prefabrykatu ułożonego poprzednio i w razie potrzeby reguluje położenie grubością podsypki. Jednocześnie należy zasypywać gruntem, ręcznie go zagęszczając, przestrzeń między prefabrykatem i ścianami rowu. Każdy prefabrykat powinien ściśle przylegać do podsypki i do sąsiednich prefabrykatów. Po ułożeniu, co najmniej kilku prefabrykatów spoinuje się ich styki. Do spoinowania należy stosować materiał PCC wodoszczelny, mrozoodporny, o dużej odporności na ścieranie. Powierzchnia wykładziny wewnątrz koryta (także w miejscach spoin) powinna być równa, możliwie gładka, bez spękań. Koryto powinno tworzyć jednolitą powierzchnię spływową, umożliwiając sprawny odbiór i przepływ wód.

Po zakończeniu układania wykładziny koryta ponownie należy sprawdzić jego liniowość i spadek podłużny, uzupełnić braki w spoinowaniu oraz przeprowadzić próbę sprawności, przepuszczając korytem płynącą wodę z natężeniem zbliżonym do obliczeniowego.

## 5.3 Instalowanie poprzecznych drenaży konstrukcji oporowych

Sączki poprzeczne należy instalować w czasie budowy konstrukcji oporowej. Gdy konstrukcja jest wykonywana z betonu, to sączki należy osadzić w szalunku w miejscach ściśle określonych w dokumentacji projektowej. Końce sączków powinny być wyprowadzone poza wewnętrzne powierzchnie szalunku na odległość 5 cm od strony czołowej powierzchni konstrukcji i 10 cm od strony zasypki. W czasie betonowania zwracać uwagę, aby mieszanka betonowa nie

była wylewana bezpośrednio na sączki, gdyż może je przesunąć lub uszkodzić. Gdy konstrukcja oporowa jest murowana z kamienia, to sączki należy umieszczać w miejscach projektowanych w czasie prowadzenia robót murarskich, wysuwając ich końce, jak w przypadku konstrukcji betonowej.

Wykonując zasypkę konstrukcji oporowej należy zwracać uwagę, aby przy prowadzeniu zagęszczania warstw zasypki nie uszkodzić wystających z konstrukcji końców sączków. Dlatego blisko konstrukcji, zasypkę należy zagęszczać ręcznie. Zagęszczanie mechaniczne może być prowadzone tylko w pewnej odległości od konstrukcji. Po osiągnięciu zasypką spodu sączka należy wykonać filtr odwrotny. Wykonuje się go w miarę postępu zasypywania konstrukcji. Filtr odwrotny powinien mieć kształt i wymiary zgodne z projektem.

#### **5.4 Wykonanie drenaży podziemnych**

Elementy systemu odwodnienia podziemnego należy układać w wykopie na zagęszczonej i wyprofilowanej podsypce. Mogą być łączone „na styk” lub wpust. W połączeniach odcinków kolektorów zbiorczych stosuje się uszczelki. Natomiast odcinki przewodów drenarskich, dla umożliwienia dopływu do ich wnętrza wody, należy łączyć bez uszczelek. Można stosować przewody mające otwory w ściankach wykonane w czasie ich prefabrykacji. Kolektory i przewody powinny być na całej długości gładkie, bez spękań i nierówności. Po ułożeniu przewodu jego wnętrze powinno stanowić jednolitą powierzchnię umożliwiającą sprawny przepływ.

Poniżej podano zasady wykonywania drenażu podziemnego dotyczące najczęstszego przypadku, tzn. drenażu zaprojektowanego w odległości  $5 \div 6$  m od konstrukcji oporowej, na głębokości  $0,50 \div 0,60$  m poniżej jej stopy fundamentowej. W takim przypadku należy drenaż wykonać przed przystąpieniem do budowy konstrukcji oporowej. Wtedy drenaż ten będzie stanowił element systemu odwodnienia wykopu, w którym realizowana będzie budowa konstrukcji oporowej. Założenie takiej realizacji na etapie projektowania pozwoli na zmniejszenie odległość osi drenażu od konstrukcji oporowej nawet do  $2,0 \div 2,5$  m.

Prace należy rozpocząć od wytyczenia osi drenażu, w nawiązaniu do projektowanego usytuowania konstrukcji oporowej. Przed przystąpieniem do głębienia wykopu należy opracować: sposób zabezpieczenia ścian wykopu oraz metodę jego odwodnienia na czas wykonania drenażu i budowy konstrukcji oporowej.

Roboty ziemne należy rozpocząć w najniższym projektowym miejscu wykopu, aby umożliwić grawitacyjny odpływ po jego dnie wody, która pojawi się w wykopie. Ściany wykopu należy zabezpieczyć przed możliwością obsuwania się z nich gruntu.

Dno wykopu powinno być równe i mieć projektowy spadek. Gdy wykop jest wykonywany sprzętem mechanicznym, to należy przerywać jego pracę około 0,20 m powyżej projektowej rzędnej dna i kończyć wykop ręcznie, aby nie naruszyć w jego podłożu struktury rodzimego gruntu. Pogłębienie ręczne wykopu powinno tylko nieznacznie wyprzedzać układanie podsypki piaskowej przewodu drenarskiego. Zapobiega to pogorszeniu cech podłoża drenażu, gdy grunt jest wystawiony na działanie czynników atmosferycznych.

Przed przystąpieniem do układania przewodu drenarskiego inspektor nadzoru powinien przeprowadzić odbiór techniczny wykopu, sprawdzając równość i podłużne nachylenie jego dna oraz sprawdzić poprawność lokalizacji studzienek kontrolnych i/lub połączeniowych.

Przewód drenarski powinien być układany w kierunku przeciwnym do spływu wody, czyli od dolnego jego końca. Jeżeli płyty fundamentowe studzienek mają być betonowane na miejscu, to należy je wykonać w czasie układania przewodu drenarskiego. Natomiast, płyty prefabrykowane można instalować po ułożeniu przewodu.

Montaż kolektora zbiorczego i przewodu drenarskiego powinien przebiegać zgodnie z wytycznymi określonymi przez ich producenta. Należy starannie łączyć poszczególne odcinki przewodów i przewody ze studzienkami. Po zainstalowaniu odcinka przewodu długości 10 ÷ 15 m należy przewody obsypać z boków gruntem i go zagęścić. Następnie należy sprawdzić prawidłowość ułożenia przewodu: prostoliniowość i nachylenie podłużne oraz zasypać przewód do górnej krawędzi, z równomiernym zagęszczaniem gruntu. Zasypkę układać warstwami grubości 0,10 ÷ 0,20 m.

W środowisku klasy XA2 lub XA3 przed układaniem przewodów betonowych należy je zabezpieczyć izolacją na bazie bitumów.

## **5.5 Budowa wylotu wód z systemów odwodnienia**

Zwykle projekt wylotu koryta zbiorczego wód opadowych do odbiornika jest rozwiązaniem indywidualnym, ponieważ musi być dostosowany do położenia konstrukcji oporowej względem drogi, przy której jest budowana.

Gdy koryto zbiorcze ma być doprowadzone do rowu przydrożnego, to spód wylotu koryta należy usytuować 0,20 ÷ 0,30 m nad dnem rowu i dostosować rozwiązanie wylotu do nacylenia skarp rowu. Dno i skarpy rowu na odcinku, co najmniej jednego metra od wylotu koryta, powyżej i poniżej jego otworu, należy zabezpieczyć przed erozją brukiem lub okładziną betonową.

Gdy woda z koryta zbiorczego jest odprowadzana bezpośrednio do cieku, to spód wylotu koryta należy usytuować 0,20 ÷ 0,30 m powyżej zwierciadła wody rocznej, średniej z wielolecia, jednocześnie wylot należy zabezpieczyć ściankami szczelnymi przed rozmyciem przez wody powodziowe. Natomiast, gdy wylot jest umieszczony na brzegu doliny cieku, to należy w

przedłużeniu koryta wykonać rów otwarty doprowadzony do ciek. Wtedy nie jest konieczne zabezpieczenie wylotu koryta ściankami szczelnymi.

Wyloty drenów systemu drenażu podziemnego mogą być prefabrykowane lub wykonane na miejscu. Gdy wody z drenażu będą odprowadzane do rowu przydrożnego lub melioracyjnego (które najczęściej mają przekrój trapezowy), to prefabrykowany element wylotu należy dostosować do nachylenia skarp rowu i średnicy zewnętrznej przewodu drenarskiego ( $D_2$ ). Natomiast, gdy wody z drenażu będą odprowadzane do ciek, to wylot drenażu można wykonać na miejscu, dopasowując przekrój wylotu do konturu przekroju poprzecznego koryta ciek. Rzędnią spodu wylotu należy umieszczać około  $0,20 \pm 0,30$  m nad rzędnią zwierciadła średniej rocznej wody z wielolecia, określonej dla przekroju ciek w miejscu wylotu.

### **5.6 Wykonanie drenażu konstrukcji oporowej usytuowanej wzdłuż ciek wodnego**

Wykonanie system odwodnienia powierzchniowego konstrukcji oporowej usytuowanej wzdłuż ciek, zwykle polega na nadaniu spadku poprzecznego głowicy konstrukcji w stronę powierzchniowego odwodnienia drogi (na przykład w stronę jej krawężnika) oraz uformowaniu od tej strony w głowicy konstrukcji kapinosa.

Sączki poprzeczne odwodnienia konstrukcji oporowej należy usytuować  $0,20 \pm 0,30$  m powyżej poziomu wody w ciek, średniego rocznego z wielolecia. Rozstaw sączków powinien być dostosowany do ilości wody dopływającej do konstrukcji i do warunków gruntowych – zwykle przyjmuje się  $2 \div 5$  m. Minimalna wewnętrzna średnica sączka wynosi  $0,10$  m. Chłonność sączka sprawdza się według procedury podanej w punkcie opisanym powyżej Zaleceń.

Sączki należy zabezpieczyć przed napływem przez nie w okresach powodzi wody z ciek w zasypkę konstrukcji oporowej. Napływ ograniczają filtry odwrotne przy wlotach sączków, ale nie przeciwdziałają mu całkowicie. Na wylotach kolektorów zbiorczych, mających duże otwory, należy instalować od strony ciek klapy zwrotne.

### **5.7 Roboty wykończeniowe**

Po zakończeniu instalowania elementów systemu odwodnienia konstrukcji oporowej, należy ostatecznie uporządkować powierzchnię zlewni, teren wzdłuż koryta zbiorczego wód opadowych i wokół wylotów przewodów do odbiorników wody z systemu. Generalnie, prace wykończeniowe powinny korzystnie wpłynąć na estetykę naziemnych elementów systemu odwodnienia i ich otoczenie.

W robotach wykończeniowych zaleca się stosowanie materiałów naturalnych, zwłaszcza kamienia i gdzie możliwe – darniny. Należy odtworzyć

warstwę gleby usuniętą przy wyrównywaniu tereny zlewni i realizacji robót budowlanych. Grubość tej warstwy powinna wynosić, co najmniej 0,20 m, bowiem tylko wtedy zasiane rośliny wytworzą skuteczny system korzenny. W przypadku realizacji robót ziemnych poza okresem wegetacji zaleca się ochronę przed erozją fragmentów terenu pozbawionych darniny przez pokrycie ich biowłókniną (tkaniną ze ścinków bawełny lub lnu z wszczepionymi nasionami wyselekcjonowanych traw).

### 5.8 Kryteria odbioru robót odwodnieniowych

Odbiory wykonanych systemów odwodnienia powierzchniowego i podziemnego dzieli się na częściowe i końcowe.

Odbiór częściowy przewodu drenarskiego powinien obejmować, co najmniej jego odcinek między studzienkami kontrolnymi i dotyczyć:

- oceny zgodności wykonanych robót z projektem, zwłaszcza usytuowania wysokościowego i spadków podłużnych,
- oceny użytych materiałów i ich zgodności z wymaganiami projektu,
- oceny połączeń między poszczególnymi elementami przewodów i ich połączeń ze studzienkami kontrolnymi,
- oceny szczelności odbieranego odcinka przewodu (tylko w przypadku kolektora zbiorczego z rur ciągłych).

Odbiór końcowy (nazywany technicznym) przewodu drenarskiego dotyczy całego przewodu i obejmuje:

- analizę protokołów z pomiarów i ocen wizualnych przeprowadzonych w czasie odbiorów częściowych,
- sprawdzenie, czy zostały wprowadzone do dokumentacji powykonawczej wszystkie zmiany i uzupełnienia, które nastąpiły w czasie realizacji robót,
- sprawdzenie prawidłowości wykonania i zakończenia wszystkich prac przewidzianych w projekcie.

Pozytywny wynik odbioru końcowego stanowi podstawę do wyrażenia przez nadzór zgody na zasypanie wykopu z przewodem drenażowym od jego wierzchu do powierzchni terenu.

Wykonawca odwodnienia ma obowiązek stałej i systematycznej kontroli robót w zakresie i z częstotliwością określoną w specyfikacji technicznej wykonania i odbioru robót, która stanowi część dokumentacji projektowej. Wyniki kontroli prowadzonej przez Wykonawcę powinny być akceptowane przez Inspektora nadzoru z ramienia Zleceniodawcy.

Dopuszcza się następujące tolerancje wykonania elementów systemów odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych:

- odchylenia w poziomie krawędzi podłużnej dna wykopu od jego osi projektowej nie powinny być większe niż  $\pm 5$  cm,

- odchylenia wymiarów w planie wykopu od wymiarów projektowych nie powinny przekraczać 10 cm,
- szerokość wykonanej warstwy podsypki nie może się różnić od podanej w projekcie o więcej niż  $\pm 5$  cm,
- nierówności podłużne podsypki nie powinny być większe niż 4 mm,
- rzędne elementów systemu odwodnienia nie powinny różnić od rzędnych projektowych więcej niż  $\pm 1$  cm,
- odchylenie w planie przewodu drenarskiego lub koryta zbiorczego wód opadowych oraz osi ułożonego drenażu lub koryta od położenia projektowego nie powinno przekraczać  $\pm 0,5$  cm,
- odchylenie spadku dna ułożonego przewodu drenarskiego lub koryta zbiorczego od spadku podanego w projekcie nie powinno przekraczać  $- 5$  % (w przypadku zmniejszenia spadku) oraz  $+10$  % (w przypadku zwiększenia),
- rzędne pokryw studzienek kontrolnych powinny odpowiadać rzędnym projektowym z dokładnością  $\pm 0,5$  cm.

## **6. Przyczyny uszkodzeń elementów systemu odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych**

### **6.1 Czynniki środowiskowe**

Czynniki środowiskowe działające na elementy systemów odwodnienia powierzchniowego i podziemnego konstrukcji oporowych dzielą się na zewnętrzne i wewnętrzne.

Czynniki zewnętrznymi są opady atmosferyczne i niskie temperatury. Wody opadowe nawilżają betonowe wykładziny koryt zbiorczych, a niskie temperatury powodują ich przemarzanie. Prowadzi to do złuszczeń i ubytków betonu. Ponadto elementy betonowe odwodnienia powierzchniowego bywają narażone na niszczące działanie chlorków pochodzących z zimowego utrzymania dróg. Gdy przewiduje się takie warunki, to elementy betonowe powinny być dostosowane do środowisk klasy XD3 i XF4. Aby w tych warunkach zapewnić trwałość i mrozoodporność elementów odwodnienia należy wykonać je z betonu:

Opady atmosferyczne, podobnie jak silne wiatry, mogą powodować erozję nie chronionych terenów. Spłukiwane wodami opadowymi grunty mogą trafiać do koryt zbiorczych, ograniczając ich zdolność przepustową, a nawet przerwać w nich ciągłości przepływu. Gwałtowne opady atmosferyczne, których następstwem jest duży spływ powierzchniowy nie mieszczący się w korycie zbiorczym powodują, że na zewnątrz koryta pojawiają się strumienie wody rozmywające i unoszące grunt, a konsekwencji deformacje elementów system zbierania wód opadowych.

Czynnikami wewnętrznymi są głównie zanieczyszczenia wody gruntowej m.in. przynieszone z powierzchni terenu przez infiltrujące w grunt wody opadowe. Groźne są związki chemiczne, które mogą powodować korozję elementów systemów odwodnienia podziemnego, głównie betonowych, ale także z tworzyw sztucznych. Stąd przy wyborze materiału, z którego powinny być elementy odwodnienia podziemnego, należy uwzględnić skład fizyko – chemiczny wód gruntowych. Powinien on być podany w dokumentacji hydrogeologicznej podłoża gruntowego. Ta dokumentacja musi zawierać ocenę stopnia agresywności składników wody w stosunku do najczęściej stosowanych materiałów konstrukcyjnych.

Wybierając materiał projektant powinien sprawdzić, czy nadaje się do zastosowania w środowisku wodnym zawierającym substancje wymienione w dokumentacji. Należy żądać od każdego producenta elementów odwodnienia podziemnego informacji, w jakich warunkach można jego produkty stosować.

Projektując odwodnienie podziemne należy także uwzględnić możliwość działania na jego elementy siarczanów zawartych w wodzie gruntowej lub powstających w wyniku rozkładu osadów organicznych. Gdy może wystąpić takie zagrożenie, to należy elementy odwodnienia projektować w założeniu środowiska klasy XA1, a przy agresywności wody gruntowej potwierdzonej badaniami zgodnie z wynikami badań i normy PN – EN 206-1 (tab. 2). W przypadku słabo agresywnych środowisk (klasy XA1) należy projektować elementy betonowe systemu odwodnienia z betonu:

- klasy co najmniej C30/37,
- o w/c  $\leq 0.45$  (aby beton był odporny na ścieranie),
- zawierającego cementu co najmniej  $300 \text{ kg/m}^3$ .

Cement powinien być odporny na działanie siarczanów (zgodnie z normą PN-B-19705).

## 6.2 Wandalizm

Znajdujące się na powierzchni terenu elementy systemu odwodnienia konstrukcji oporowych, zawsze będą narażone na akty wandalizmu. Dotyczy to zwłaszcza elementów metalowych – ze stali, żeliwa, mosiądzu. W miarę możliwości należy unikać stosowania takich materiałów zastępując je substytutami mniej narażonymi na akty wandalizmu.

## 6.3 Następstwa braku utrzymania

Wszystkie elementy systemu odwodnienia konstrukcji oporowej należy systematycznie utrzymywać. Gdy to wymaganie nie jest spełniane, wtedy nawet początkowo nieistotne niedomagania systemu odwodnienia mogą dość szybko pogorszyć jego skuteczność, zwiększając niszczące działania wód opadowych i podziemnych. W konsekwencji powiększa się zakres i koszt prac remontowych



oraz skraca długość okresu przydatności systemu odwodnienia, a może także mieć szkodliwy wpływ na długość życia użytkowego konstrukcji oporowej.

## **7. Utrzymanie systemów odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych**

### **7.1 Wymagania ogólne**

Ustawa Prawo budowlane [2] określa ogólne wymagania dotyczące utrzymanie obiektów budowlanych. Według Prawa budowlanego utrzymanie powinno obejmować:

- stały nadzór,
- konserwację i remonty,
- przebudowę i rozbudowę,
- prowadzenie dokumentacji eksploatacyjnej i remontowej.

Drogowe konstrukcje oporowe są drogowymi obiektami inżynierskimi. Dlatego utrzymanie tych konstrukcji, w tym ich systemów odwodnienia, powinno spełniać szczegółowe wymagania obowiązujące w utrzymaniu drogowych obiektów inżynierskich, określone zarządzeniami Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad, zgodnymi z ustawą Prawo budowlane [2].

### **7.2 Nadzór stały**

Nadzór stały nad systemami odwodnień konstrukcji oporowych należy realizować zgodnie z „Instrukcjami przeprowadzania przeglądów drogowych obiektów inżynierskich” GDDKiA. Instrukcje szczegółowo określają rodzaje przeglądów, ich częstotliwości i zakresy, sposoby przeprowadzania, stosowany sprzęt i zasady dokumentowania przeglądów.

### **7.3 Konserwacja i remonty**

Prace konserwacyjne systemu odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych powinny utrzymywać jego elementy w stanie zapewniającym efektywne działanie systemu odwodnienia. Prace konserwacyjne należy przeprowadzać po każdym przeglądzie lub stwierdzeniu, że nastąpiło pogorszenie stanu elementów systemu odwodnienia znacząco zmniejszające jego skuteczność. W zakres prac konserwacyjnych systemu odwodnienia konstrukcji oporowej wchodzi:

- usuwanie roślinności na zboczach wzniesień zlewni konstrukcji oporowej, ograniczającej lub nadmiernie tamującej spływ wód powierzchniowych,

- usuwanie zanieczyszczeń nagromadzonych w korytach zbiorczych wód opadowych,
- naprawa uszkodzonych połączeń (spoin) elementów koryta zbiorczego wód opadowych,
- poprawa pogorszonych warunków napływu wód opadowych do koryta zbiorczego,
- likwidacja szczelin i zapadlisk gruntu w rejonie koryta zbiorczego oraz przemieszczeń jego elementów wzajemnych i względem konstrukcji oporowej,
- uszczelnienie miejsc przesiąkania wody z koryta zbiorczego i lokalnych jego podmyć,
- zainstalowanie pokryw studzienek w miejsce zniszczonych lub ukradzionych,
- odtworzenie drożności zamulonych przewodów drenarskich,
- usuwanie odkładów drobnego gruntu z dna studzienek kontrolnych.

Prace remontowe powinny przywracać w całości lub częściowo projektową zdolność użytkową elementów systemu i polegają na wykonaniu naprawy albo wymianie zużytych lub zniszczonych elementów systemu odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych. Zakres prac remontowych obejmuje:

- odbudowę systemu odwodnienia powierzchniowego lub zainstalowanie nowych jego elementów,
- remont elementów odwodnienia, w tym przebudowę lub wymianę elementów drenażu, wymianę obsypki filtracyjnych oraz oczyszczenie, spulchnienie lub wymianę w rejonie dopływów wody do drenażu gruntu z zamulonymi porami,
- korekta pochyleń skarp i zboczy na terenie zlewni konstrukcji oporowej, dla umożliwienia swobodnego spływu wód opadowych,
- odtworzenie pokryć przeciw erozyjnych na przyległych stokach,
- prace konserwacyjne, których potrzeba wyniknęła w trakcie remontu systemu odwodnienia.

#### **7.4 Przebudowa i rozbudowa**

Prace związane z przebudową i rozbudową systemu odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych, należy przeprowadzać, gdy staje się konieczne usprawnienie funkcjonowania elementów tego systemu lub jego rozbudowa.

W ramach tych prac, wymienia się jego elementy na sprawniejsze hydraulicznie, trwalsze lub bardziej odporne na akty wandalizmu oraz instaluje dodatkowe elementy systemu odwodnienia, gdy powinien on sprostać

trudniejszym warunkom działania, na przykład spowodowanych wzrostem ilości dopływających wód, zmianą warunków zasilania systemu itp.

### **7.5 Dokumentacja eksploatacyjna i remontowa**

W ramach utrzymania systemu odwodnienia konstrukcji oporowej należy prowadzić i bieżąco aktualizować następującą dokumentację:

- protokoły z przeglądów okresowych systemu,
- dziennik robót konserwacyjnych i naprawczych,
- projekty i plany roczne lub dwuletnie prac remontowych,
- dokumentacje badawcze, projektowe i kosztorysowe, plan sytuacyjny i profil podłużny odcinka drogi z konstrukcją oporową, protokoły, notatki służbowe itp.

Roboty remontowe wykonywane systemem zleconym powinny być przeprowadzane na podstawie dokumentacji projektowej i kosztorysowej zgodnych z obowiązującymi przepisami. Roboty remontowe wykonywane systemem gospodarczym przeprowadza się na podstawie dokumentacji technicznej przygotowanej w zakresie niezbędnym do wykonania robót.

## **8. Przeglądy systemów odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych**

Przeglądy systemów odwodnienia drogowych konstrukcji oporowych należy przeprowadzać zgodnie z Instrukcjami GDDKiA [17]. Zwykle przeglądy tych systemów przeprowadza się jednocześnie z przeglądami konstrukcji oporowych, które odwadniają.

Natomiast w sytuacji awaryjnej systemu odwodnienia, przegląd dotyczy zwykle tylko systemu i jego otoczenia. Według Instrukcji należy stosować następujące rodzaje przeglądów:

- bieżące,
- podstawowe (okresowe kontrole roczne),
- rozszerzone (okresowe kontrole pięcioletnie),
- szczegółowe,
- ekspertyzy.

### **8.1 Przegląd bieżący**

W ramach przeprowadzanego przeglądu bieżącego konstrukcji oporowej, dokonywany jest również przegląd systemu jej odwadniania. Przegląd ten jest tym samym wizualną kontrolą systemu odwodnienia konstrukcji oporowej przeprowadzaną w ramach patrolowych objazdów sieci drogowej oraz po każdym wyjątkowym zjawisku (intensywnym i długotrwałym opadzie

atmosferycznym, silnych mrozach, powodzi, wystąpieniu osuwiska i drgań parasejsmicznych oraz po robotach, które mogły uszkodzić system odwodnienia).

Celem prowadzonego przeglądu bieżącego jest wizualne sprawdzenie stanu urządzeń odwadniających: czy są uszkodzone i występują pogorszenia, których rozwój może zagrozić sprawnemu działaniu odwodnienia i przez to bezpieczeństwu konstrukcji oporowej, sąsiedniej zabudowy lub ruchu drogowego. Co najmniej dwa razy w roku (w marcu i październiku) oraz każdorazowo po stwierdzeniu nieprawidłowości działania systemu odwodnienia, przegląd należy udokumentować protokołem. W ramach przeglądu bieżącego należy sprawdzić, czy:

- są widoczne oznaki deformacji podłoża w rejonie systemu odwodnienia i na terenie przyległym (zlewni konstrukcji oporowej),
- koryto zbiorcze wód opadowych jest uszkodzone i została zmniejszona jego drożność,
- powierzchnie przyległych zboczy są uszkodzone (wystąpiła ich erozja) i są narażone na wystąpienie osuwisk lub spływów gruntu,
- w studzienkach kontrolnych drenażu podziemnego widać ruch wody,
- woda wycieka z sączków poprzecznych,
- stan roślinności w sąsiedztwie elementów systemu drenażu może świadczyć o wyciekach z nich wody,
- w rejonie koryta zbiorczego wód opadowych są ślady podmyć i rozmyć terenu,
- występują uszkodzenia skarp odbiorników przy wylotach wód z systemu odwodnienia,
- w wylotach do odbiornika koryta zbiorczego i drenażu podziemnego zalegają zanieczyszczenia (osady i rumosz),
- jakieś prace, które były realizowane w pobliżu elementów systemu odwodnienia spowodowały jego nieprawidłowe funkcjonowanie,
- występują zwiększone poziomy wypełnienia odbiorników zmniejszające sprawność odprowadzania wód z systemów odwodnienia.

Szczegółowe wymagania dotyczące przeglądu bieżącego są podane w „Instrukcji przeprowadzania przeglądów bieżących drogowych obiektów inżynierskich” [17].

## **8.2 Przegląd podstawowy**

W ramach przeprowadzanego przeglądu podstawowego konstrukcji oporowej, dokonywany jest również przegląd systemu jej odwadniania. Celem przeglądu podstawowego jest ocena i rejestracja aktualnego stanu technicznego elementów systemu odwodnienia konstrukcji oporowej oraz ich otoczenia, a

także określenie potrzeb, zakresu i kolejności robót bieżącego utrzymania i remontów. Przegląd podstawowy powinien ustalić:

- uszkodzenia elementów systemu odwodnienia oraz terenu i jego zabudowy w zasięgu wpływu odwodnienia, ze zwróceniem uwagi na zagrożenia bezpieczeństwa ludzi, ich mienia i środowiska,
- uszkodzenia elementów systemu odwodnienia, terenu i jego zabudowy w zasięgu wpływu odwodnienia z określeniem, które należy zlikwidować w ramach bieżącego utrzymania, a które w trybie awaryjnym,
- czy zostały wykonane zalecenia z poprzedniego przeglądu,
- potrzebę przeprowadzenia i termin przeglądu rozszerzonego lub szczegółowego poza ich harmonogramem,
- potrzebę wykonania ekspertyzy stanu technicznego całego systemu odwodnienia konstrukcji oporowej lub jego części.

Wyniki przeglądu podstawowego powinny umożliwić określenie zakresu i terminu podjęcia prac konserwacyjnych lub remontowych i warunków dalszego użytkowania systemu odwodnienia.

Przegląd podstawowy systemu odwodnienia należy przeprowadzać, co najmniej raz w roku, w II lub III kwartale, w ramach przeglądu podstawowego konstrukcji oporowej oraz po każdym stwierdzeniu przez przegląd bieżący lub podstawowy sytuacji awaryjnej.

### **8.3 Przegląd rozszerzony**

W ramach przeprowadzanego przeglądu rozszerzonego konstrukcji oporowej, dokonywany jest również przegląd systemu jej odwadniania. Przegląd rozszerzony systemu odwodnienia konstrukcji oporowej ma na celu sprawdzenie stanu technicznego elementów tego systemu, stanu wokół nich terenu i przydatności użytkowej systemu odwodnienia oraz zarejestrowanie zmian stanu elementów systemu i ich otoczenia.

W ramach przeglądu rozszerzonego należy zinwentaryzować uszkodzenia elementów systemu odwodnienia, jak w przeglądzie podstawowym oraz:

- skontrolować działanie systemu odwodnienia,
- ocenić estetykę otoczenia elementów systemu.

Przegląd rozszerzony systemu odwodnienia konstrukcji oporowej powinien być przeprowadzany w ramach jej przeglądu rozszerzonego, tzn. co najmniej raz na 5 lat (w II lub III kwartale) oraz w każdej sytuacji awaryjnej, na podstawie decyzji podjętej po analizie wyników przeglądu bieżącego lub podstawowego. Jeżeli przeprowadza się przegląd rozszerzony, to w danym roku rezygnuje się z przeglądu podstawowego.

#### **8.4 Przegląd szczegółowy**

W ramach przeprowadzanego przeglądu szczegółowego konstrukcji oporowej, dokonywany jest również przegląd systemu jej odwadniania. W ramach przeglądu szczegółowego systemu odwodnienia konstrukcji oporowej należy szczegółowo:

- zinventaryzować stan techniczny elementów systemu odwodnienia i sprawdzić jego działanie,
- ustalić uszkodzenia elementów systemu odwodnienia, których usunięcie powinno być wprowadzone do planu remontów,
- ustalić, czy należy poprawić cechy użytkowe systemu odwodnienia i określić pożądany zakres jego przebudowy, który powinien być wprowadzony do planu modernizacji,
- ustalić, czy jest konieczne opracowanie ekspertyzy.

Przegląd szczegółowy powinien być przeprowadzony:

- przed upływem okresu gwarancyjnego po zbudowaniu systemu odwadniania,
- co najmniej raz na 5 lat (w II lub w III kwartale roku), w ramach przeglądu szczegółowego odwadnianej konstrukcji oporowej,
- w trybie wyjątkowym, gdy na konieczność przeglądu szczegółowego wskazują rezultaty przeglądu podstawowego lub rozszerzonego.

#### **8.5 Ekspertyza**

Ekspertyza powinna być opracowywana, gdy wystąpiły skomplikowane problemy powodujące niezadowalające działanie całego systemu odwodnienia lub jego elementów oraz w przypadku zagrożenia przez odwodnienie bezpieczeństwa sąsiedniego obszaru i jego zabudowy. Podstawą ekspertyzy powinny być specjalistyczne pomiary, badania i obliczenia. Ekspertyzę powinna opracować instytucja, ewentualnie specjalista kompetentny w zakresie problemów odwodnienia, dysponujący odpowiednią aparaturą.

### **9. Zagadnienia ekologiczne**

W projektowaniu i wykonaniu systemów odwodnienia powierzchniowego i podziemnego drogowych konstrukcji oporowych, należy dążyć do tego, aby odwodnienie nie zagroziło przyległemu terenowi, w tym polom uprawnym, łąkom, pastwiskom i zabudowie oraz nie pogorszyło stanu odbiorników wód, do których jest odprowadzana woda z systemów odwodnienia. Dlatego projekt i wykonanie systemów odwodnienia konstrukcji oporowych nie powinny powodować:

- niekontrolowanego przenikania wód odprowadzanych systemami odwadniania konstrukcji oporowych w grunt i do wód powierzchniowych,
- niekontrolowanego spływu wód powierzchniowych, mogącego spowodować erozję stoków naturalnych i skarp wykopów oraz okresowo zanieczyszczać cieki i zbiorniki wód powierzchniowych,
- zmian i zakłóceń warunków gruntowo – wodnych i wodnych w strefie wpływu systemów odwadniania konstrukcji oporowych, określonej w raporcie oddziaływania na środowisko w etapie przygotowania inwestycji, zgodnie z Ustawą Prawo ochrony środowiska [3] oraz Ustawą Prawo wodne [1].

Ponieważ zarówno wody powierzchniowe, jak i gruntowe przejmowane przez systemy odwodnienia powierzchniowego i podziemnego drogowych konstrukcji oporowych są zaliczone do wód nie zanieczyszczonych, dlatego nie ma potrzeby budowy urządzeń oczyszczających te wody przed odprowadzeniem w grunt, albo do zbiorników lub cieków powierzchniowych.

Szczegółowe wymagania ochrony środowiska przed działaniem zanieczyszczonych wód przejmowanych przez systemy odwodnienia powierzchniowego i podziemnego oraz wymagania dotyczące urządzeń ochrony środowiska zawierają Zalecenia, zeszyt nr 7 „Zagadnienia ekologiczne odwodnienia pasa drogowego, Projektowanie, budowa i utrzymanie odwodnienia dróg i drogowych obiektów inżynierskich”.

## **10. Ocena efektywności ekonomicznej wykonania odwodnienia**

Do oceny przedsięwzięcia inwestycyjnego, jakim jest także wykonanie odwodnienia można stosować algorytmy, które umożliwiają porównywanie rozwiązań wariantowych. Algorytmy wykorzystują matematyczną metodę systematycznego przeszukiwania. Jest to metoda pracochłonna i prymitywna. Jednak do klasyfikacji zbiorów zmiennych losowych, o dyskretnej zmienności, a także zbiorów zmiennych niemierzalnych ilościowo (klasyfikowanych jakościowo), jest metodą skuteczną, a często jedyną możliwą do zastosowania. Poniżej zostały przedstawione podstawowe kryteria tej metody ocen.

### **10.1 Różnicowe kryterium kosztów**

Porównuje się koszty  $K_{rz}$  alternatywnych rozwiązań. W praktyce ma się do czynienia z dyskretnym modelem kosztów, co umożliwia sformułowanie kryterium różnicowego dla porównywanych wariantów:

- I – go, wymagającego mniejszych nakładów inwestycyjnych i większych kosztów społecznych,

- II – go, wymagającego większych nakładów inwestycyjnych i mniejszych kosztów społecznych.

Droższe rozwiązanie inwestycyjnie będzie opłacalne wtedy, gdy zostanie spełniony warunek:

$$K_{z1} - K_{z2} \geq K_{r2} - K_{r1} \quad (25)$$

gdzie:

$K_{z1}$  – koszty zawodności w I wariantcie rozwiązania technicznego, zł.

$K_{z2}$  – koszty zawodności w II wariantcie rozwiązania technicznego, zł

$K_{r2}$  – nakłady inwestycyjne w I wariantcie rozwiązania technicznego, zł

$K_{r1}$  – koszty zawodności w II (droższym) wariantcie rozwiązania technicznego, zł.

Nierówność (25) opowiada założeniu, że wariant droższy (II) jest korzystny, jeżeli zmniejszenie kosztów społecznych pokrywa zwiększone koszty spowodowane wzrostem kosztów inwestycji. Traktując różnicę  $K_{z1} - K_{z2}$  jako zysk wynikający ze zmniejszenia kosztów społecznych implikowany dodatkowymi kosztami inwestycyjnymi  $K_{r2} - K_{r1}$ , można określić wskaźnik efektywności  $\varepsilon$ , ilustrujący efektywność ekonomiczną środków przeznaczonych na zmniejszenie kosztów społecznych, wynikającą z zastosowania metody *bezwykopowej np. przecisku*.

$$\varepsilon = \frac{(K_{z1} - K_{z2}) - (K_{r2} - K_{r1})}{K_{z1} - K_{z2}} \geq 0 \quad (26)$$

Problemem przedstawionego modelu rachunku kosztów jest porównywanie wielkości zdeterminowanych (koszty inwestycyjne) z wielkościami losowymi (koszty społeczne). Zgodnie z teorią podejmowania decyzji takie postępowanie jest słuszne pod warunkiem, że koszty społeczne zostaną wyznaczone na podstawie znanych rozkładów zmiennych losowych lub reprezentatywnego materiału statystycznego, opracowanego dla podobnych zastosowań w przeszłości techniki *bezwykopowej*. Niestety, w kraju (i nie tylko) nie ma wyników badań pozwalających na spełnienie wymienionych warunków. Dlatego obecnie można podejmować decyzje wprowadzając do rachunku przybliżone wartości kosztów społecznych i stosując strategiczny model podejmowania decyzji. W tym modelu kosztom społecznym przypisuje się wagę np.  $1 - \alpha < 1$ , gdzie  $\alpha$  jest miarą nieufności do wprowadzanych wartości  $K_z$ . Dla tak sformułowanej wagi, kryterium różnicowe przyjmuje postać:

$$(1 - \alpha)(K_{z1} - K_{z2}) \geq K_{r2} - K_{r1} \quad (27)$$

Przetawiona metoda, polegająca na wyznaczeniu wskaźnika efektywności inwestycji, umożliwia porównywanie kosztów rozwiązań z



dokładnością determinowaną dokładnością określenia kosztów społecznych. Ze względu na złożoność wyznaczania tych kosztów, w praktyce inżynierskiej kalkulacje sprowadza się do uwzględnienia w rachunku kosztów zajęcia ulic, chodników i ewentualnie wyłączenia z użytkowania dróg, które musi ponieść zarządzający obiektem w czasie jego budowy i w przypadku prac naprawczych.

## 11. Literatura

Dla potrzeb opracowania przedmiotowych Zaleceń wykorzystano szereg pozycji literaturowych, normy i wytyczne, wzięto również pod uwagę wymagania aktualnie obowiązującego ustawodawstwa. Zestawienie niektórych ważniejszych wykorzystanych pozycji bibliografii podano poniżej.

1. Ustawa z dnia 18 lipca 2001 roku – Prawo wodne. Dz.U. Nr 115/2001, poz. 1229 z późniejszymi zmianami.
2. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 roku – Prawo budowlane. Tekst jednolity Dz.U. Nr 207/2003, poz. 2016 z późniejszymi zmianami.
3. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku – Prawo ochrony środowiska. Dz.U. Nr 62/2001, poz. 627 z późniejszymi zmianami.
4. Ustawa z dnia 04 lutego 1994 roku – Prawo geologiczne i górnicze. Dz.U. Nr 27/1994, poz. 96 z późniejszymi zmianami.
5. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz.U. Nr 43/1999, poz. 430.
6. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. Dz.U. Nr 63/2000, poz. 735.
7. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 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. Nr 137/2006, poz. 984.
8. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 października 2005 w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać dokumentacje hydrogeologiczne i geologiczno – inżynierskie. Dz.U. Nr 201/2005, poz. 1673.
9. Polska norma. PN-S-02205. Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Terminologia, wymagania i badania.
10. Polska norma PN-S-02204. Drogi samochodowe. Odwodnienie dróg. Grudzień 1997.
11. Polska norma PN-99/B-06050. Roboty ziemne budowlane. Wymagania ogólne. Geotechnika.
12. Polska norma. PN-98/B-12040. Ceramiczne rurki drenarskie.

13. Norma branżowa. BN-83/8836-02. Przewody podziemne. Roboty ziemne. Wymagania przy odbiorze.
14. Norma branżowa. BN-76/8847-01. Ściany oporowe budowli kolejowych i drogowych. Wymagania i badania.
15. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego Id-3 (D-4). PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa 2004.
16. Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlano – montażowych. Tom II. Instalacje sanitarne i przemysłowe. Wydawnictwo Arkady. Warszawa 1988.
17. Instrukcje przeprowadzania przeglądów drogowych obiektów inżynierskich. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Warszawa, 2005.
18. J. Glazer, W. Malinowski, Geologia i geotechnika w budownictwie. PWN Warszawa 1991.
19. J. Sokołowski, A. Żbikowski, Odwodnienia budowlane i osiedlowe. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 1993.
20. E. Mielcarzewicz. Odwodnienia terenów zurbanizowanych i przemysłowych. Systemy odwadniania. PWN, Warszawa 1990.
21. C. Madryas, A. Kolonko, L. Wysocki. Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2002.
22. R. Edel. Odwodnienie dróg. WKŁ. Warszawa 2006.
23. Z. Szling, E. Paczeński. Odwodnienia budowli komunikacyjnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław, 2004.
24. J. Sysak. Odwodnienie podtorza. WKŁ, Warszawa 1980.
25. A. Jarominiak. Lekkie konstrukcje oporowe. WKŁ. Warszawa 2000.
26. B. Gajewska, B. Kłosiński, P. Rychlewska. Zalecenia dotyczące stosowania geosyntetyków w odwodnieniach dróg. Zeszyt Nr 6. Instytut Badawczy Dróg i Mostów. Warszawa 2008.

## 12. Spis tablic

- 3.1 Przykładowe wartości współczynników spływu  $\psi$  [21]
- 3.2 Przykładowe wartości parametru  $A_q$  [21]
- 3.3 Prędkości spływu ( $v_l$ ) cząstki deszczu po powierzchni zlewni
- 3.4 Dopuszczalne nachylenia dna rowu odwadniającego
- 4.1 Wymagania dotyczące betonu narażonego na agresję chemiczną
- 4.2 Naprężenia projektowe i długotrwałe naprężenia niszczące podstawowych tworzyw termoplastycznych

## 13. Spis rysunków

- 2.1 Element obiektu mostowego obramowującego korpus drogi
- 2.2 Element głowicy tunelu samochodowego

- 2.3 Schemat konstrukcji oporowej
  - a. wzdłuż drogi
  - b. wzdłuż cieku
- 2.4 Przykłady odwodnienia podziemnego konstrukcji oporowych
- 2.5 Przykłady przekrojów koryt zbiorczych wód opadowych
  - a. prefabrykowanego
  - b. zabezpieczonego przed erozją okładziną betonową
- 2.6 Przykład rowu stokowego
- 2.7 Przykład drenażu poprzecznego drogowej konstrukcji oporowej
- 2.8 Efekty działania podziemnego drenażu podłużnego (opaskowego)
  - a. ułożonego na warstwie nieprzepuszczalnej
  - b. ułożonego w warstwie wodonośnej
- 2.9 Przykład pionowej warstwy filtracyjnej drogowej konstrukcji oporowej
- 3.1 Przykład wyznaczenia zlewni drogowej konstrukcji oporowej
- 3.2 Rozwiązanie odbioru wód z koryta zbiorczego przez rów skarpowy dolny
- 3.3 Oznaczenia użyte we wzorze do obliczania minimalnej odległości drenażu od krawędzi fundamentu konstrukcji oporowej
- 3.4 Oznaczenia stosowane we wzorach do obliczania zdolności chłonnej drenażu
- 3.5 Wykres do określania uziarnienia obsypki filtracyjnej przewodów drenarskich w gruntach niespoistych i mało spoistych
- 3.6 Schemat wylotu przewodu drenarskiego do rowu przydrożnego lub koryta cieku wodnego