



AQUANET RETENCJA



KATALOG III

METODY ZAGOSPODAROWANIA
WÓD OPADOWYCH
DLA DRÓG, PLACÓW I PARKINGÓW

SPIS TREŚCI

I. JAKOŚĆ WÓD OPADOWYCH	4
1. WPROWADZENIE	4
2. RODZAJE I ŹRÓDŁA ZANIECZYSZCZEŃ WÓD OPADOWYCH POWSTAJĄCE W WYNIKU ODWODNIENIA DRÓG	4
3. SPOSOBY OGRANICZANIA ILOŚCI ZANIECZYSZCZEŃ ODPROWADZANYCH DO ŚRODOWISKA W ZWIĄZKU Z ODWADNIANIEM PASA DROGOWEGO	7
II. ROZWIĄZANIA TECHNICZNE	9
1. OGRÓD DESZCZOWY	9
1.1. Cel i zakres stosowania	9
1.2. Opis konstrukcji i działania	10
1.3. Warunki użytkowania	11
2. NIECKI RETENCYJNE	11
2.1. Cel i zakres stosowania	11
2.2. Opis konstrukcji i działania	11
2.3. Warunki użytkowania	13
3. PASAŻ ROŚLINNY	13
3.1. Cel i zakres stosowania	13
3.2. Opis konstrukcji i działania	14
3.3. Warunki użytkowania	15
4. ROWY RETENCYJNE	15
4.1. Cel i zakres stosowania	15
4.2. Opis konstrukcji i działania	16
4.3. Warunki użytkowania	16
5. WYPUSTKA ULICZNA	17
5.1. Cel i zakres stosowania	17
5.2. Opis konstrukcji i działania	17
5.3. Warunki użytkowania	18
6. OBNIŻONE RONDA Z ZIELENIĄ	19
6.1. Cel i zakres stosowania	19
6.2. Opis konstrukcji i działania	19
6.3. Warunki użytkowania	19
7. ROŚLINNE STREFY BUFOROWE	20
7.1. Cel i zakres stosowania	20
7.2. Opis konstrukcji i działania	21
7.3. Warunki użytkowania	22

8.	MATY ROZCHODNIKOWE	22
	8.1. Cel i zakres stosowania	22
	8.2. Opis konstrukcji i działania	23
	8.3. Warunki użytkowania	23
9.	STUDNIE CHŁONNE	24
	9.1. Cel i zakres stosowania	24
	9.2. Opis konstrukcji i działania	24
	9.3. Warunki użytkowania	25
10.	ODWODNIENIA LINIOWE	25
	10.1. Cel i zakres stosowania	25
	10.2. Opis konstrukcji i działania	26
	10.3. Warunki użytkowania	26
11.	NAWIERZCHNIE PRZEPUSZCZALNE	27
	11.1. Cel i zakres stosowania	27
	11.2. Opis konstrukcji i działania	27
	11.3. Warunki użytkowania	29
12.	PODZIEMNE ZBIORNIKI SZCZELNE (DETENCYJNE)	30
	12.1. Cel i zakres stosowania	30
	12.2. Opis konstrukcji i działania	31
	12.3. Warunki użytkowania	32
13.	SYSTEM KANAŁOWY POD PRZEPUSZCZALNĄ NAWIERZCHNIĄ	33
	13.1. Cel i zakres stosowania	33
	13.2. Opis konstrukcji i działania	33
	13.3. Warunki użytkowania	34
14.	SKRZYNKI ROZSĄCZAJĄCE	34
	14.1. Cel i zakres stosowania	34
	14.2. Opis konstrukcji i działania	35
	14.3. Warunki użytkowania	35
15.	KOMORY DRENAŻOWE	36
	15.1. Cel i zakres stosowania	36
	15.2. Opis konstrukcji i działania	36
	15.3. Warunki użytkowania	37
III.	KATALOG ULIC	38
	MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE	49

I. JAKOŚĆ WÓD OPADOWYCH

1. WPROWADZENIE

Spływy wód opadowych i roztopowych z dróg, parkingów i innych powierzchni nie tylko wymagają ich zagospodarowania pod względem zebrania i retencjonowania, ale również – w określonych warunkach – oczyszczania (szczegółowe informacje w dodatku IV „Uwarunkowania formalno-prawne gospodarki wodami opadowymi w mieście”). Określenie uwarunkowań i oszacowanie stężeń zanieczyszczeń w odpływie wymaga analizy źródeł oraz potencjalnych wariantów systemów.

2. RODZAJE I ŹRÓDŁA ZANIECZYSZCZEŃ WÓD OPADOWYCH POWSTAJĄCE W WYNIKU ODWODNIENIA DRÓG

Na jakość wód opadowych i roztopowych ma wpływ wiele czynników, które można zebrać w dwie podstawowe grupy kryteriów:

- parametry opadu atmosferycznego,
- właściwości zlewni.

Dla pierwszej kategorii, oprócz natężenia, czasu trwania, zmienności w czasie, znaczenie mogą mieć również właściwości opadu – fizyczne (stężenia pyłów zawieszonych, w postaci pyłów unoszonych z powierzchni terenu, dymów z palenisk, pyłków roślin) oraz chemiczne (np. pH, rozpuszczalność wodorotlenków i soli zasadowych metali śladowych jest znacznie większa w wodach opadowych o kwaśnym odczynie). Wśród właściwości zlewni można wymienić wiele różnorodnych czynników i parametrów. Jednymi z bardziej istotnych są: rodzaj zabudowy zlewni (np. mieszkaniowa, przemysłowa, handlowa itp.), pokrycie terenu (wodoprzepuszczalność powierzchni, rodzaje powierzchni – dachy, trawniki, chodniki itp.), stopień zanieczyszczenia powierzchni (zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym, mogą to być między innymi: pyły, piasek, węglowodory – takie jak smary, oleje, paliwa – środki odładzające i sole, metale śladowe, odchody zwierzęce, liście i fragmenty roślin, starty opony itp.), pory roku (zwłaszcza w przypadku wód roztopowych), spadek terenu, spadek przepuszczalności na skutek kolmatacji i wiele innych. Zmienność ilości i jakości wód opadowych i roztopowych zależy m.in. od:

- stopnia zanieczyszczenia powietrza,
- pory roku,
- długości trwania deszczu,
- natężenia deszczu i długości przerw między zdarzeniami,
- sposobu i skuteczności oczyszczania zlewni,
- eksploatacji sieci, zwłaszcza częstotliwości i skuteczności czyszczenia (jeśli dotyczy).

Wybrane czynniki, warunkujące stopień zanieczyszczenia wód opadowych i roztopowych pochodzących z dróg, ulic i parkingów, to:

- natężenie ruchu pojazdów i ich rodzaj,
- rodzaj nawierzchni,
- sposób usuwania gołoledzi.

Dane literaturowe (wyniki badań) wskazują na bardzo szeroki zakres stężeń zanieczyszczeń występujących w wodach deszczowych. Dotyczy to zwłaszcza zawiesin ogólnych. W przypadku substancji ropopochodnych wspomniany zakres jest mniejszy, ale znacznie mniejsza jest też liczba dostępnych źródeł. Dane te, zwłaszcza starsze, należy traktować orientacyjnie. Warto również zauważyć, że najwyższe stężenia zazwyczaj pojawiają się w tzw. pierwszej fali spływu, która trwa najczęściej kilkanaście do kilkudziesięciu minut. Dane udostępnione przez Sofijanic i in. (2021) [36] wskazują na dość niskie stężenia substancji ropopochodnych w wodach opadowych w kanadyjskim mieście Jasper – nieznaczne przekroczenie 15 mg/l tylko w przypadku deszczu nawalnego i praktycznie brak wykrycia w przypadku wód roztopowych. W tych samych badaniach dla zawiesiny ogólnej obserwowano przekroczenia stężenia 150 mg/l zarówno w wodach roztopowych, jak i podczas deszczu nawalnych. Wyraźnie wyższe wartości występowały w tym drugim przypadku – maksymalnie do 440 mg/l.

Doniesienia literaturowe wskazują, że spływy z dachów (ceramicznych, blaszanych, bitumicznych) charakteryzują się niskim stopniem zanieczyszczenia (Politechnika Warszawska, 1987-1991, Instytut Ochrony Środowiska, 1998-1999) i że mają one niewielki udział (około 20-25%, maksymalnie do 50 mg/l) w całkowitym ładunku zanieczyszczeń występujących w wodach opadowych [50].

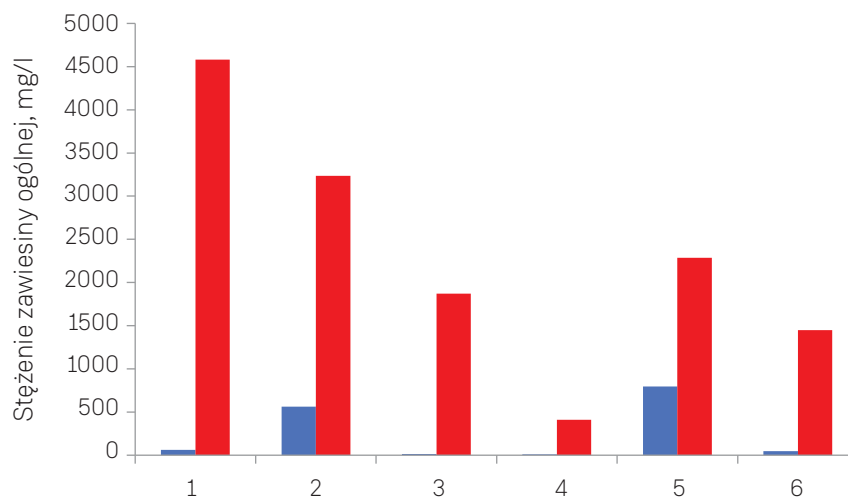
Z analizy tych danych literaturowych (tab. 1.1.; ryc. 1.2.) można wyciągnąć wniosek, że: wody w postaci opadu atmosferycznego mają niskie stężenia zawiesin (choć zdarzają się wartości rzędu kilkuset mg/l), zaś wody deszczowe z dachów – wyższe, ale dość rzadko przekraczające dopuszczalną wartość 100 mg/l. Natomiast wody deszczowe z innych powierzchni, zwłaszcza z dróg oraz wody roztopowe, mogą charakteryzować się stężeniami zawiesiny ogólnej sięgającymi do kilkunastu tysięcy mg/l (w skrajnych przypadkach nawet do kilkudziesięciu tysięcy mg/l).

W niniejszym opracowaniu odniesiono się tylko do dwóch rodzajów zanieczyszczeń wprost limitowanych w krajowym prawodawstwie (zawiesin ogólnych i substancji ropopochodnych). Należy jednak pamiętać, że w wodach opadowych i roztopowych występuje jeszcze wiele innych typów zanieczyszczeń, które w określonych przypadkach (szczegółowe informacje w dodatku 4) trzeba również usuwać. Wśród nich znajdują się na przykład, często przywoływane w literaturze, metale śladowe i biogeny (związki azotu i fosforu).

Tab. 1.1. Przykładowe wartości stężeń zawiesiny ogólnej i substancji ropopochodnych w wodach opadowych na terenach miejskich

Rodzaj zlewni [źródło]	Wartości zanieczyszczeń [mg/l]					
	Zawiesiny ogólne			Substancje ropopochodne		
	Min.	Maks.	Śred.	Min.	Maks.	Śred.
Opad* [7]	2,1	290				
Opad [31]	0,5	58				
Spływy z dachu [31]	0	443				
Spływy z dachu* [7]	3	304		0,3	1,9	
Ulice - opad [50]	62	4580	1305	0,6	2,4	1,2
Spływy z ulic [31]	561	3236				
Z dróg publicznych* [7]	15	1870		0,6	19	
Mycie ulic [31]			1700			
Spływy z ulic (Częstochowa) [27]	11	410				
Roztopowe [31]			1500			
Ulice - wody roztopowe [50]	794	2285	2249	3,7	19	11,4
Wyloty do rzek - spływy deszczowe i roztopowe (Białystok) [20]	48	1450				
Spływy z prywatnych posesji * [7]	22	490				
Miasto Jasper, st. Alberta (Kanada) [36]	0	440				15,5

* z wykorzystaniem danych opublikowanych przez innych autorów



Ryc. 1.2. Przykładowe wartości (minimalne - niebieskie, maksymalne - czerwone) stężeń zawiesiny ogólnej [mg/l] w wodach opadowych z ulic i dróg (1, 5 [50] 2 [31]; 3 [7]; 4 [27]; 6 [20])

3. SPOSOBY OGRANICZANIA ILOŚCI ZANIECZYSZCZEŃ ODPROWADZANYCH DO ŚRODOWISKA W ZWIĄZKU Z ODWADNIANIEM PASA DROGOWEGO

W obiektach błękitno-zielonej infrastruktury, czyli systemów, które często imitują naturalne siedliska (np. oczyszczalnie hydrofitowe), wykorzystuje się procesy prowadzące do zatrzymywania i rozkładu zanieczyszczeń, np. [19]

- fizyczne (mechaniczne):
 - cedzenie,
 - filtracja (infiltracja),
 - sedymentacja wraz z flotacją,
- biologiczne (biodekompozycja, biosorpcja),
- chemiczne (np. adsorpcja).

Specyfika tych systemów polega m.in. na wykorzystaniu warunków lokalnych, takich jak obniżenia terenu (retencja z sedymentacją), gleby (gruntu) o korzystnych właściwościach dla wodoprzepuszczalności, oraz znaczącego udziału żywych organizmów – nie tylko mikroorganizmów (bakterii i pierwotniaków w strefie korzeniowej gruntu lub podłoża filtracyjnego), ale również makrofitów (roślin mokradłowych i wodnych, w tym takich, które mogą akumulować zanieczyszczenia, np. metale śladowe). Zaletą jest usuwanie zanieczyszczeń już w miejscu lub pobliżu ich występowania. Rozwiązania w ramach tych systemów można, z pewnym uproszczeniem, podzielić na: powierzchniowe (zbiorniki retencyjne i niecki infiltracyjne) i podziemne (skrzynki retencyjno-rozsączające, komory drenażowe), z tym że w wielu przypadkach wskazane systemy łączą oba typy rozwiązań (np. niecka chłonna z drenażem).

Ze względu na stosunkowo niski stopień zanieczyszczenia (zwłaszcza w odniesieniu do substancji ropopochodnych) nie wydaje się zasadne oczyszczanie wód opadowych z dachów, co ma też odzwierciedlenie w krajowym prawodawstwie (szczegółowe informacje w dodatku 4) i praktyce.

Z doniesień literaturowych [50] wynika, że ponad 80%, a niekiedy nawet 90%, węglowodorów adsorbuje się na zawiesinach (zawiesinach ogólnych) w formie ultracienkiej powłoki na ziarnach cząstek stałych, np. iłu, piasku. Oznacza to, że tylko kilka procent występuje w formie rozpuszczonej lub koloidalnej. Znacząca frakcja, która nie adsorbuje się na zawiesinach, to substancje flotujące, często w postaci dość jednorodnej warstwy. Są to zazwyczaj frakcje paliw, smary samochodowe, oleje.

Uzasadnionym wydaje się więc stwierdzenie, że stosując skuteczne usuwanie zawiesin z wód opadowych, można również usunąć substancje ropopochodne, zwłaszcza że z danych literaturowych, co prawda bardzo nielicznych (tab. 6), wynika, że ich stężenia nie przekraczają zazwyczaj kilkunastu mg/l, co oznacza, że zaledwie 25–30% sprawności usuwania jest wystarczające, aby uzyskać stężenia wymagane prawnie, tj. nie więcej niż 15 mg/l. Wskazane jest, aby w pewnych sytuacjach systemy BZI uzupełniać urządzeniami podczyszczającymi (osadnikami, separatorami). Towarzyszą temu dodatkowe korzyści, takie jak wydłużenie sprawnego

funkcjonowania i wspieranie prawidłowego przebiegu procesów biologicznych (np. poprzez przeciwdziałanie kolmatacji).

Skuteczność usuwania poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń przez systemy BZI zależy jest od wielu czynników i parametrów (np. typu urządzenia, rozwiązań i elementów konstrukcyjnych), zwłaszcza że systemy te łączą często kilka procesów oczyszczania (sedymentację, filtrację, biosorpcję, biodekompozycję itd.). Podane w niniejszym opracowaniu wartości skuteczności usuwania zanieczyszczeń (tab. 1.3.) należy wobec tego traktować poglądowo. W celu określenia w danych warunkach bardziej miarodajnych wartości zaleca się stosowanie metod obliczeniowych (Błażejewski, 1996; Pawlak, 2021). Niezależnie od dostępności i stopnia szczegółowości dostępnych metod obliczeniowych dotyczących stopnia usuwania poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń w praktyce często problemem może być określenie stężeń w dopływie do systemu. W miarę możliwości w tej sytuacji wskazane jest przeprowadzenie rozpoznawczych badań terenowych, ewentualnie modelowych.

Tab. 1.3. Skuteczność usuwania zawiesiny ogólnej i substancji ropopochodnych przez systemy błękitno-zielonej i szarej infrastruktury

Obiekt BZI	Skuteczność usuwania (źródło) [%]						
	Zawiesiny ogólne				Substancje ropopochodne		
	Sawicka-Siarkiewicz, 2004	Wałęga i in., 2013	Aryal i in., 2010	Sakson i in., 2014**in, 2010	Sawicka-Siarkiewicz, 2004	Wałęga i in., 2013*	Sakson i in., 2014**
Rowy i niecki trawiaste	40–90	wysoka	55–75	40–100	20–90	wysoka	20–90
Rowy, zbiorniki i studnie chłonne/infiltracyjne	80			80–100	80		80
Ogrody deszczowe		dobra	70–90			wysoka	
Obiekty hydrofitowe		dobra	50–90			wysoka	
Zbiorniki retencyjne	80			40–90	80		80
Filtr piaskowy			60–90				
Osadniki			0–70				
Osadniki i piaskowniki	60–80			60–80	60–80		60–80
Separatory substancji ropopochodnych (klasa II)					≥95		≥95
Separatory substancji ropopochodnych (klasa I)					18–96 (58)		

* oleje i tłuszcze ** z wykorzystaniem danych opublikowanych przez innych autorów

Ograniczenia i zagrożenia wynikające ze stosowania BZI jako systemy oczyszczające:

- brak norm i standaryzacji,
- zbyt krótki czas zatrzymania przy dużych przepływach (natężeniach dopływu), zwłaszcza maksymalnych,
- kolmatacja gruntu (podłoża filtracyjnego),
- zmiana zakładanych warunków tlenowych na beztlenowe, ze względu na kolmatację lub podtopienie,
- pogorszenie właściwości sorpcyjnych z upływem czasu (jeśli to możliwe, warto przewidzieć możliwość wymiany).

II. ROZWIĄZANIA TECHNICZNE

1. OGRÓD DESZCZOWY

1.1. Cel i zakres stosowania

Ogrody deszczowe (ang. *rain gardens*) występują w wersji ogrodu szczelnego (ang. *bioretention cell*) lub ogrodu infiltrującego (ang. *biofiltration cell*). Mogą mieć formę „rozległą” (w przypadku dostępności znacznej powierzchni) lub „kompaktową” (czasem nazywaną „w pojemniku”) o pionowych ścianach i płaskim dnie. Ze względu na brak ograniczeń wymiarów i ich proporcji mogą mieć również zróżnicowaną powierzchnię i różnorodny kształt [22].

Ogród deszczowy można stosować przede wszystkim w celu retencjonowania (stosunkowo wysoka zdolność retencyjna: 150–250 dm³/m²) i oczyszczania wody opadowej. Usuwanie zanieczyszczeń (zawiesiny ogólnej, związków N i P, metali śladowych i substancji ropopochodnych) odbywa się, za sprawą dużej masy roślin i ich bioróżnorodności, w procesach: fizycznych, biologicznych (m.in. dzięki systemom korzeniowym roślin i mikroorganizmom) i chemicznych. W przypadku odbioru wód z powierzchni zanieczyszczonych stosuje się osadniki z filtrem żwirowym na dopływie.

Dodatkowe korzyści to: zróżnicowane możliwości zastosowania, zwiększenie bioróżnorodności, funkcja dekoracyjna.

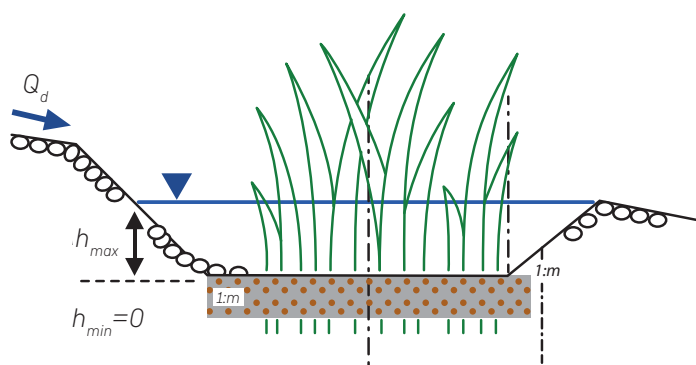
Zalecana lokalizacja ogrodu deszczowego: w zabudowie zwartej, jak i rozproszonej, najczęściej przy drogach i ciągach pieszo-jezdnym o małym obciążeniu ruchem, w pasie drogowym - pomiędzy jezdnią a chodnikiem lub pomiędzy chodnikami albo drogami rowerowymi [6]. Lokalizacje niezalecane - to: ulice bez pasów lub z bardzo wąskimi pasami zieleni, komercyjno-handlowe ciągi i deptaki, pasy ruchu. Odległość od nieruchomości min. 4 m, dla ogrodu infiltrującego w gruncie - 5 m.

1.2. Opis konstrukcji i działania

Charakterystyka elementów konstrukcyjnych ogrodów [26, 44]:

- w przypadku doprowadzania wody korytem (muldą) należy wlot umocnić narzutem kamiennym lub betonem (ryc. 2.1),
- dno zbiornika przepuszczalne lub uszczelnione do pewnego poziomu (np. bentonitem), aby zachować minimalny stały poziom piętrenia, niezbędny dla roślinności wodnej i błotnej,
- im większe jest nachylenie terenu przyległego, tym większa głębokość ogrodu (stawu),
- przelew powinien być zlokalizowany 10–20 cm powyżej powierzchni wypełnienia celem uzyskania tymczasowego spiętrzenia wody nad tą powierzchnią,
- warstwy wypełnienia (od góry): ściółka żwirowa (maksymalnie 7 cm), mieszanka ziemi ogrodniczej z humusem i piaskiem o miąższości min. 40 cm, żwir/tłuczeń płukany 15–40 mm o miąższości min. 50 cm.

Modyfikacją ogrodu deszczowego jest ogród deszczowy w pojemniku [26], który składa się z następujących warstw: piasek gruboziarnisty z dodatkami (tłuczona cegła lub dolomit), keramzyt lub kruszywo dolomitowe o miąższości minimum 30 cm, rura drenarska w oplocie, folia (PVC, PE). Na obrzeżach ogrodu, w miejscach doływu wody, zaleca się stosowanie narzutu kamiennego w celu tłumienia energii kinetycznej wody.



Ryc. 2.1. Ogród deszczowy bez wypełnienia, w gruncie dobrze przepuszczalnym

Metoda obliczeniowa: poj. ogrodu deszczowego = powierzchnia x 1 m (głębokość w przekroju) x 0,3 współczynnik zmniejszający

1.3. Warunki użytkowania

Wymagana jest obecność roślinności niskiej (np. bylin) i/lub niewysokich krzewów, preferowane są gatunki typowe dla siedlisk podmokłych i bagiennych, najlepiej rodzime. Wymagania pielęgnacyjne roślin są niskie (wykaszenie coroczne na jesieni) lub umiarkowane, również koszty odtworzenia są stosunkowo niskie. Ogrody deszczowe można stosować nad infrastrukturą sieci sanitarnych.

W celu przeciwdziałania deptaniu przez pieszych (zagęszczenie gleby) i ograniczenia ryzyka uszkodzenia ciała (zwłaszcza małych dzieci) w miejscach uczęszczanych przez pieszych należy stosować niskie bariery.

2. NIECKI RETENCYJNE

2.1. Cel i zakres stosowania

Niecki retencyjne to otwarte, stosunkowo płytkie zagłębienia terenu, w których może być gromadzona woda opadowa (niecki retencyjno-infiltracyjne), ale również może zachodzić infiltracja wód opadowych (niecki infiltracyjne) [25]. Niecka retencyjna może być zasilana wodą opadową przez krawędzie lub punktowo. Infiltracja następuje na dużej powierzchni, przy jednoczesnym oczyszczaniu wody. Zastosowanie narzutu kamiennego przy wlocie do niecki pozwala na zapewnienie równomiernego rozdziału dopływających wód opadowych (na całej powierzchni).

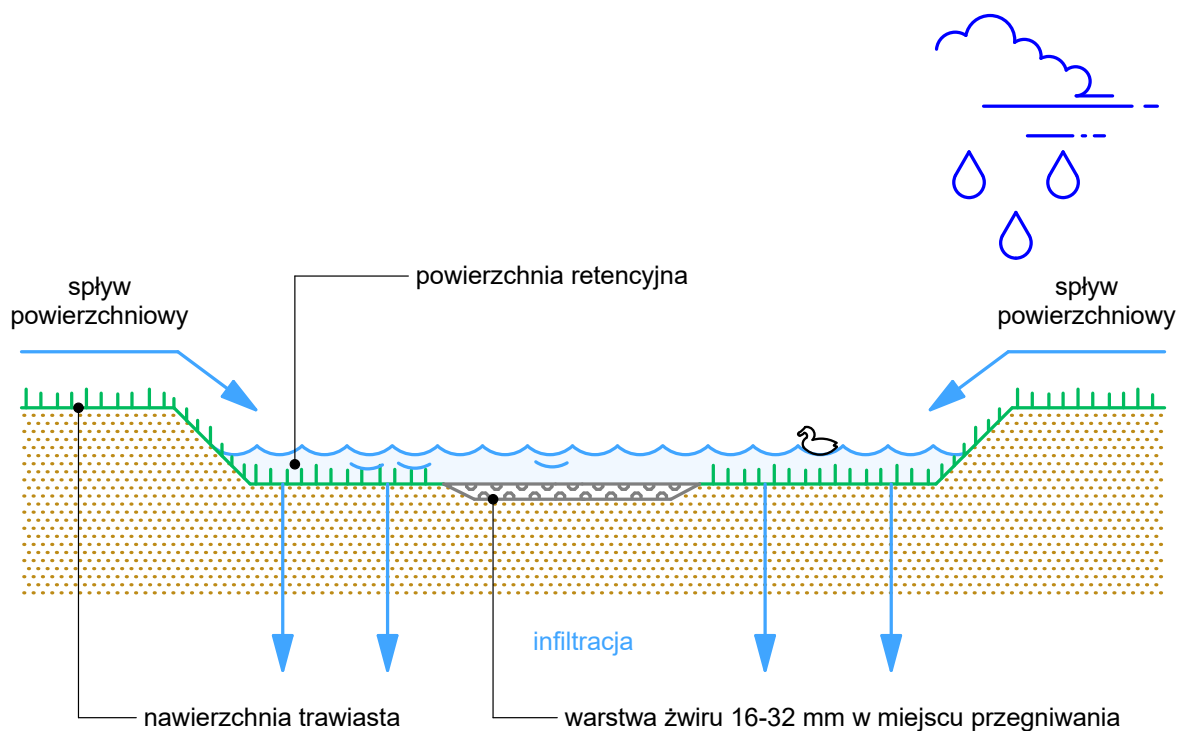
2.2. Opis konstrukcji i działania

Niecki retencyjne to niewielkie obniżenia terenu mające na celu retencję i infiltrację niewielkich objętości wód opadowych i roztopowych. Dzięki temu prostemu rozwiązaniu możliwe jest zatrzymanie w sposób kontrolowany wód w miejscu opadu/roztopu. Rozwiązanie to polega na wsiąkaniu wód o charakterze powierzchniowym przez organiczną warstwę gruntu, co dobrze podczyszcza wody opadowe ze spływu powierzchniowego. Dzięki temu podczyszczona woda trafia w głąb profilu glebowego. Fundamentalne znaczenie przy nieckach retencyjnych mają warunki gruntowe. Rozwiązanie powinno przewidywać spójność gruntu w miejscu jej lokalizacji, dlatego przed jej planowaniem konieczne jest przeprowadzenie badań gruntowych. W przypadku gruntów przepuszczalnych możliwe będzie zastosowanie niecki suchej trawiastej, z której woda w 48 godzin powinna zostać całkowicie odprowadzona do gruntu lub niecki mokrej w przypadku gruntów słabo przepuszczalnych. W tym wypadku konieczne jest zastosowanie roślin hydrofitowych i wypełnienie najgłębszego miejsca żwirem w celu zapobiegania przegniwania trawy.

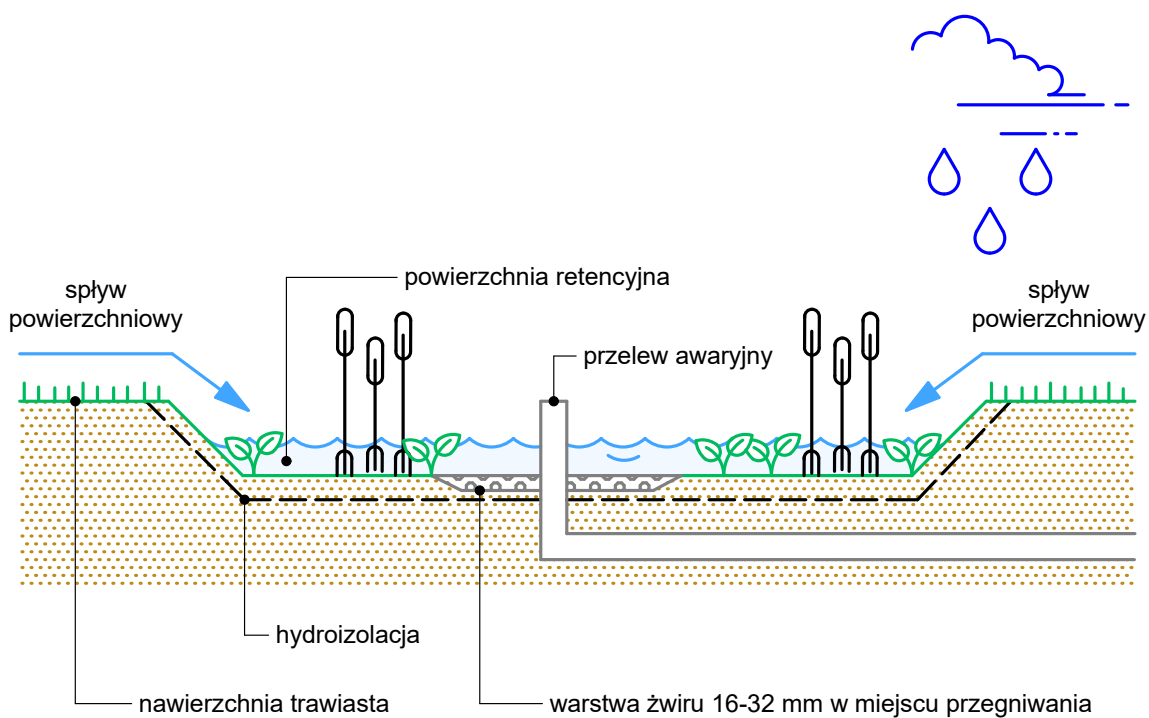
- Zalecana głębokość dla niecki suchej: 30–40 cm.
- Zalecana głębokość dla niecki mokrej: 90–120 cm.
- Średnia gęstość nasadzeń: 3 rośliny/m².

Niecki można łączyć z innymi urządzeniami błękitno-zielonej infrastruktury (BZI). Właściwy dobór roślin podnosi estetyczną wartość miejsca. Zagłębienia mogą też komponować się z krajobrazem i w okresie bez opadów stanowić dodatkowe urozmaicenie terenów rekreacyjnych lub np. pasów rozgraniczających parkingi i pasy drogowe.

Ograniczeniem dla tego rodzaju rozwiązań są wysokie poziomy wód gruntowych oraz konieczność wygospodarowania stosunkowo dużej powierzchni terenu [37].



Ryc. 2.2.1. Schemat działania niecki retencyjnej suchej



Ryc. 2.2.2. Schemat działania niecki retencyjnej mokrej

Wsiąkanie w nieckach ma charakter powierzchniowy przez ożywioną warstwę gruntu, a infiltracja odbywa się poprzez wierzchnie warstwy o drobnym uziarnieniu. Sprawność oczyszczania jest bardzo dobra dzięki zatrzymywaniu nawet drobnej zawiesiny. Niecki retencyjne (niem. *Mulden und Rigolen*) nie mają uszczelnienia w postaci folii z tworzywa sztucznego lub maty bentonitowej.

Metoda obliczeniowa: pojemność ret. = powierzchnia x głębokość

2.3. Warunki użytkowania

Wymagania co do zabiegów eksploatacyjnych, podobnie jak dla ogrodów deszczowych (pielęgnacja niektórych rodzajów/gatunków roślin), są niskie lub umiarkowane, takie również są koszty odtworzenia.

Najważniejszymi zaleceniami eksploatacyjnymi są:

- wymagana obecność roślinności: roślinność niska (np. byliny) oraz niewysokie krzewy, preferowane gatunki typowe dla siedlisk podmokłych i bagiennych, najlepiej rodzime,
- można stosować nad infrastrukturą sieci sanitarnych i wodociągach,
- na obrzeżach niecki, w miejscach dopływu wody, zaleca się stosowanie narzutu kamiennego w celu tłumienia energii wody,
- w celu przeciwdziałania deptaniu przez pieszych (zagęszczenie gleby) można stosować niskie bariery.

Do zalet tego typu rozwiązań zalicza się:

- dobrą skuteczność retencyjną,
- dobre warunki dla konserwacji, małe nakłady techniczne,
- łatwość wkomponowania w tereny zielone,
- możliwość obsadzenia różnorodną roślinnością.

3. PASAŻ ROŚLINNY

3.1. Cel i zakres stosowania

Pasaż roślinny jest odmianą oczyszczalni hydrofitowej (gruntowo-roślinnej) o przepływie poziomym, zazwyczaj w formie koryta (ze względu na znaczenie długości drogi przepływu/filtracji dla zwiększenia skuteczności oczyszczania), może mieć też jednak kształt bardziej zwarty.

Pasaż roślinny można stosować przede wszystkim w celu retencjonowania i oczyszczania wód opadowych. Dodatkową korzyścią jest zwiększenie bioróżnorodności oraz zmniejszenie efektu wyspy ciepła. Maksymalna dobową ewapotranspiracja roślin bagiennych dochodzi latem do 5–6 mm, tj. 5–6 l/m².

Ze względu na właściwości oczyszczające (filtracja przez materiał porowaty, w którym dodatkową funkcję pełni masa korzeniowa roślin i mikroorganizmy tam bytujące) pasaż roślinny zalecany jest do odprowadzania zanieczyszczonych wód opadowych z dróg i ulic (zwłaszcza jezdni), ewentualnie z innych obiektów (np. stacji paliw). Preferowane są ulice z wąskimi lub bardzo wąskimi pasami zieleni.

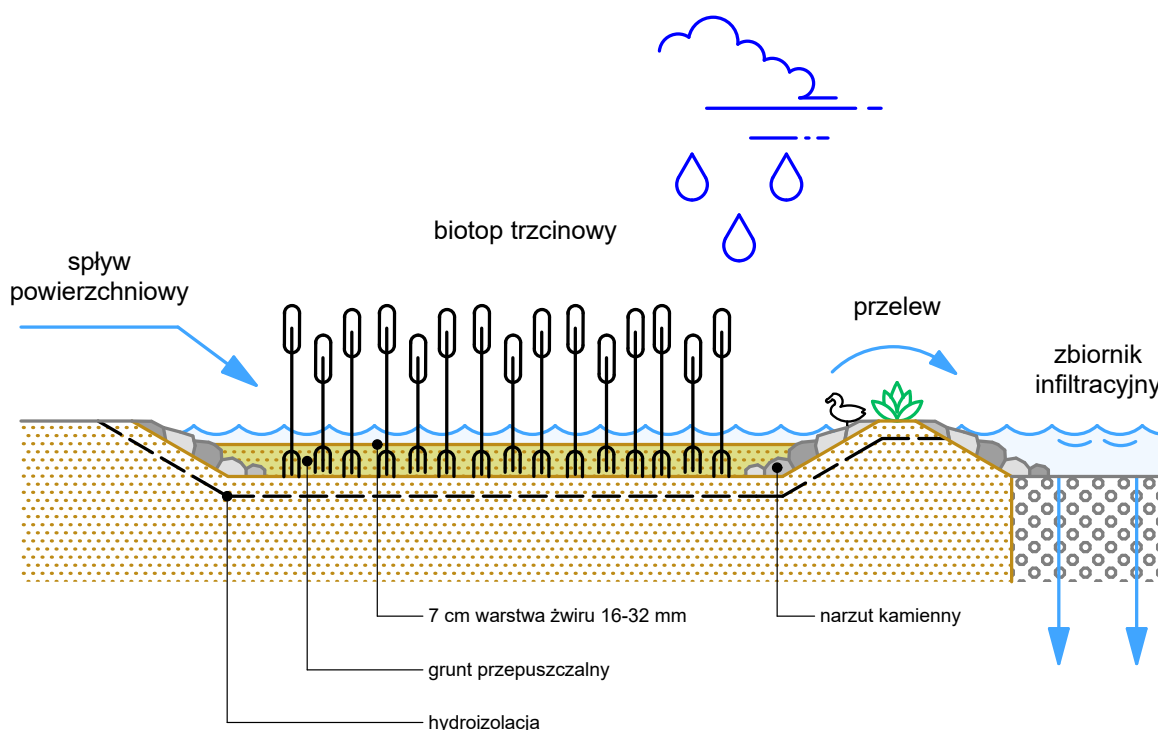
3.2. Opis konstrukcji i działania

Pasaż roślinny powinien spełniać następujące wymogi konstrukcyjne:

- mieć umocnione korytko wlotowe – ze względu na konieczność wytracania energii wody w czasie deszczy nawalnych – i umocniony przelew (awaryjny), umocnienie można wykonać w formie narzutu kamiennego (tłuczeń lub żwir o uziarnieniu 8–40 mm),
- zalecany podłużny spadek dna i powierzchni wynosi 2%,
- składać się z następujących warstw (wyszczególnionych na ryc. 2.3.) – od góry,
- zawierać złożę piaszczyste lub żwirowe – $H \approx 30$ cm (maksymalnie do 50 cm) miąższości,
- mieć folię izolacyjną (PVC lub PE, grubość min. 0,5 mm) lub matę bentonitową; w przypadku korzystnych warunków dla infiltracji w głąb gruntu rodzimego po kilku metrach od wlotu do pasażu można nie dawać warstwy izolacyjnej,
- zawierać podsypkę piaskową o grubości 3 cm lub geowłókninę,
- średnia gęstość nasadzeń: 5 roślin/m².

W przypadku stosunkowo małej chłonności wskazane jest poprzedzanie systemu obiektem retencyjnym. Warto rozważyć łączenie pasażu roślinnego z innym systemem infiltracyjnym.

Usuwanie zanieczyszczeń w pasażu roślinnym odbywa się głównie na drodze mechanicznej (filtracja szkodliwych substancji) i biologicznej (procesy tlenowego i beztlenowego rozkładu rozpuszczonych substancji biodegradowalnych), w pewnym zakresie również chemicznej (adsorpcja na ziarnach gruntu) [2].



Ryc. 2.3. Schematyczny przekrój podłużny przez pasaż roślinny

Niestety nie ma prostych formuł obliczeniowych dla substancji takich jak zawiesiny ogólne czy też substancje ropopochodne. W obu przypadkach jedną z istotnych zmiennych, trudnych do określenia, jest rozkład wielkości cząstek zanieczyszczeń i ich właściwości. Zakładając, że oba rodzaje zanieczyszczeń można usuwać na drodze filtracji, kluczowym parametrem dla skuteczności usuwania będą właściwości materiału filtracyjnego, m.in. rodzaj materiału filtracyjnego, wielkość i kształt ziaren, wielkość i kształt porów, wskaźnik jednorodności uziarnienia itp.; orientacyjna wartość skuteczności usuwania zanieczyszczeń dla zawiesin ogólnych wynosi powyżej 40–50% [2]. Orientacyjne skuteczności usuwania zawiesin ogólnych przez pasaże roślinne podane są w rozdziale **1. Jakość wód opadowych i podczyszczanie spływów z dróg, parkingów i innych powierzchni, dla których wymagane jest podczyszczanie.**

Przy spodziewanych większych stężeniach substancji ropopochodnych (np. z jezdni lub parkingów) zalecane jest wcześniejsze usuwanie na drodze flotacji lub sedymentacji (usuwanie wraz z zawiesiną) ze względu na niebezpieczeństwo kolmatacji gruntu.

Metoda obliczeniowa: poj. retencyjna = powierzchnia x 1 m (głębokość w przekroju) x 0,3 (współczynnik zmniejszający)

3.3. Warunki użytkowania

Ze względu na swoją prostą konstrukcję pasaż roślinny nie wymaga kosztownych ani skomplikowanych zabiegów pielęgnacyjnych i konserwacyjnych. Mogą być potrzebne stosunkowo proste zabiegi w postaci [2]: pielęgnacji roślin i ewentualnej wymiany obumarłych roślin, przycinania roślin (zazwyczaj do wysokości 30–50 cm), kontroli stanu technicznego, umocnień na dopływie i odpływie. W razie potrzeby należy rozważyć zastosowanie niskich barier przeciwdziałających deptaniu przez pieszych (zagęszczenie gleby) Podczas prac konserwacyjnych lub pielęgnacyjnych należy mieć również na uwadze niebezpieczeństwo zagęszczenia gruntu. Jednym z najlepiej sprawdzających się gatunków jest trzcina pospolita, nasadzenie trzcinowe również wraz z innymi gatunkami (np. pałąką wodną, kosańcem, niezapominajką, kniecią błotną).

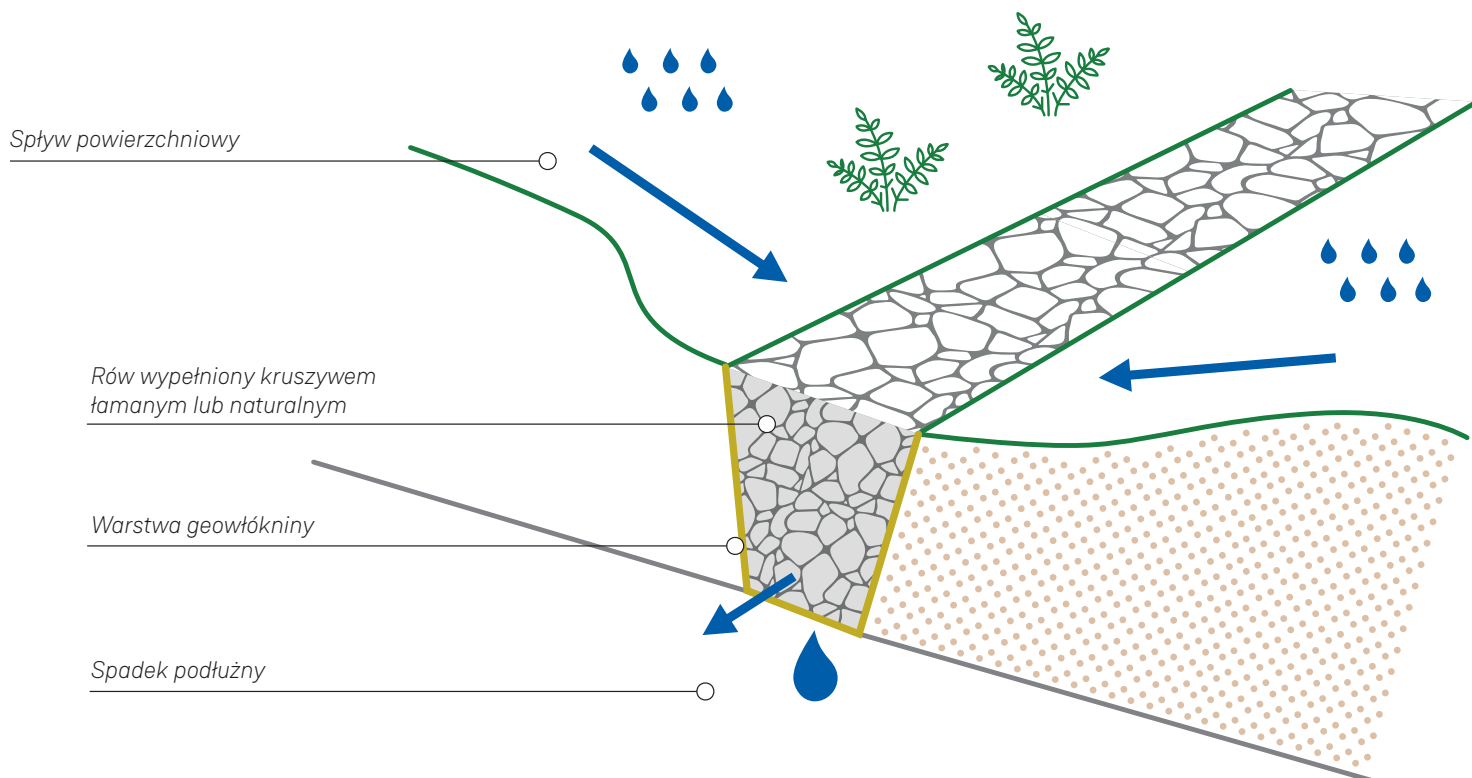
4. ROWY RETENCYJNE

4.1. Cel i zakres stosowania

Są to urządzenia wodne zdefiniowane w ustawie Prawo wodne (Dz.U. 2017, poz. 1566 ze zm.). Służą do zbierania, tymczasowej retencji i wsiąkania wody opadowej w grunt rodzimy. W Polsce używany jest niekiedy niepoprawny termin „drenaż francuski” [14], zamiast „drenaż Frencha” (ang. *French drainage*) od nazwiska jego wynalazcy i/lub propagatora H. Frencha (1859). Rowy są stosowane wzdłuż dróg w celu ich odwodnienia i uzupełniania zasobów wód gruntowych. Dodatkowo woda, przesiąkając przez wypełnienie drenażu i podłoże gruntowe, podlega procesom oczyszczania z zawiesiny i innych substancji. Wykonanie oraz eksploatacja rowów może wymagać uzyskania odpowiednich zgód administracyjnych.

4.2. Opis konstrukcji i działania

French [10] opisał kamienne drenaże przykryte warstwą gleby, stosowane m.in. w Irlandii na podmokłych gruntach ornych. Do zagospodarowania wody opadowej stosuje się obecnie rowy wypełnione kamieniami lub otoczkami w otulinie z geowłókniny, niekiedy wyposażone w dolnej części w rurę perforowaną do szybszego odwodnienia (ryc. 2.4). Przekrój rowu może być prostokątny lub trapezowy. Wzdłuż rowów stosuje się trawiaste pasy chroniące drenaż przed zamuleniem.



Ryc. 2.4. Schematyczny przekrój podłużny przez pasaż roślinny z wypełnieniem

Metoda obliczeniowa: poj. retencyjna = powierzchnia x głębokość

4.3. Warunki użytkowania

Mogą być stosowane wszędzie tam, gdzie nie przewiduje się znacznych zanieczyszczeń. Na końcu rowu można zainstalować studnię obserwacyjną. W trakcie eksploatacji zaleca się wykonywanie inspekcji z częstotliwością miesięczną przez pierwszy rok od budowy w okresach opadów deszczu oraz tuż po intensywnych opadach. Prace konserwatorskie są nieskomplikowane i ograniczają się do:

- usuwania osadów zanieczyszczeń, szczególnie liści, smarów i oleju,
- okresowego koszenia trawy do wysokości równej lub wyższej od zakładanej głębokości wody,
- naprawy miejsc, gdzie nastąpiła erozja,
- wymiany piasku, żwiru tkaniny, gdy zidentyfikowano kolmatację,
- sprawdzenia studni kontrolnych pod kątem kolmatacji po czasie około trzech dni suchych.

5. WYPUSTKA ULICZNA

5.1. Cel i zakres stosowania

Wypustki uliczne są swego rodzaju ogrodami deszczowymi (klasyfikacja wg [38]), tj. konstrukcjami wypełnionymi roślinnością i otoczonymi krawężnikami, które łączą cechy niecki z ogrodem deszczowym w pojemniku. Inną nazwą to kieszeniowe biotopy (zatoki) przyuliczne [17]. Podstawową właściwością, co odzwierciedla już ich nazwa, jest umiejscowienie w jezdni lub pasie drogowym, lub w bezpośrednim ich sąsiedztwie. Dlatego wypustki uliczne sprawdzają się zarówno w zabudowie zwartej, jak i rozproszonej.

Systemy te lokalizuje się w obniżeniu w stosunku do ciągów komunikacyjnych (jezdni, ciągów parkingowych wzdłuż jezdni). Woda z odwadnianego terenu może spływać bezpośrednio lub poprzez krawężniki – przez „przerwy”, „kierownice” lub trapezowe wycięcia. Rozwiązanie to zalecane jest dla gruntów o współczynniku filtracji $k_f > 1,4 \times 10^{-5}$ m/s (w przypadku gruntów o mniejszej wartości k_f – stosować warstwę drenażową).

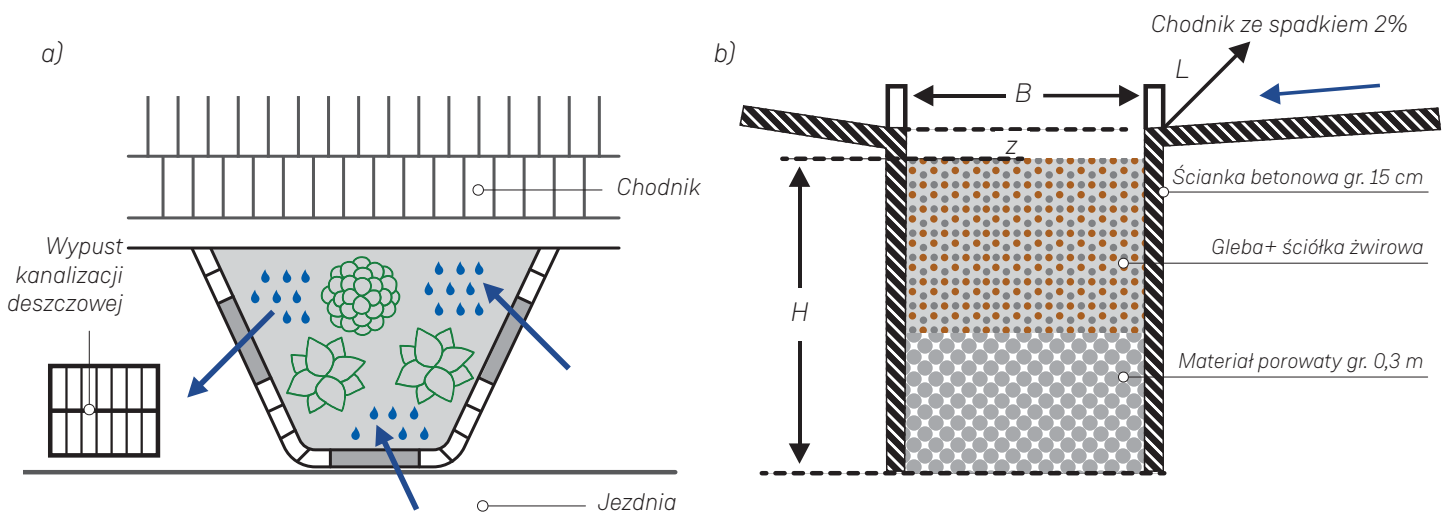
Wypustkę uliczną stosuje się przede wszystkim w celu retencjonowania (całkowita pojemność retencyjna od $100 \text{ dm}^3/\text{m}^2$ do $300 \text{ dm}^3/\text{m}^2$) i oczyszczania wód opadowych. Dodatkowymi korzyściami są: łatwość adaptacji istniejących ulic i dróg/ciągów komunikacyjnych, zwężenia pasa jezdni powoduje uspokojenie ruchu, przy przejściach dla pieszych wypustki poprawiają poczucie bezpieczeństwa (bariery/zabezpieczenia w stosunku do przemieszczających się pojazdów).

Preferowaną lokalizacją dla wypustki ulicznej jest pas jezdni, zamiennie z miejscami parkingowymi, przy przejściach dla pieszych, w pobliżu skrzyżowań, np. jako zwężenie jezdni. Odnośnie do typów ulic i dróg preferowane są lokalizacje [38]: ulice zbiorcze i lokalne, drogi dojazdowe i wewnętrzne, place i parkingi, infrastruktura przystankowa.

5.2. Opis konstrukcji i działania

Wypustka w rzucie z góry ma zazwyczaj kształt trapezu o zaokrąglonych kątach (ryc. 2.5a), długość $L = 6-12$ m, szerokość $B = 1-3,5$ m (średnio $B = 1,5$ m – w świetle między krawężnikami), zagłębienie $z = 20-30$ cm, maksymalna głębokość: $H + z = 1,5$ m (od poziomu chodnika do dna systemu), $H \geq 0,8$ m (dla drzew > 1 m). Nachylenie skarp: pionowe lub nachylenie do 1:2,5; poprzeczne spadki jezdni, dróg rowerowych – 1% do 3% (optymalnie 2%). Powinna być zapewniona możliwość odprowadzania nadmiaru wody w dwóch wariantach: albo bezpośrednio do kanału (studzienki deszczowej), albo do wpustu deszczowego (zwłaszcza w przypadku gruntów półprzepuszczalnych). Schematycznie przekrój poprzeczny przez wypustkę uliczną przedstawia rycina 2.5b.

Usuwanie zanieczyszczeń odbywa się w ramach procesów: fizycznych (mechanicznych), biologicznych



Ryc. 2.5. Schematyczny rzut poziomy (a) i przekrój poprzeczny (b) przez wypustkę

i chemicznych – dzięki zadarnieniu, roślinności niskiej i/lub wysokiej; stosunkowo skuteczne w usuwaniu zawiesin ogólnych, związków azotu i fosforu, metali śladowych, substancji ropopochodnych i mikroorganizmów.

Metoda obliczeniowa: poj. wypustki ulicznej = powierzchnia x 1 m (głębokość w przekroju) x 0,3 współczynnik zmniejszający

5.3. Warunki użytkowania

Wymagania co do zabiegów eksploatacyjnych są niskie lub umiarkowane, ale wiążą się ze specjalistycznymi kompetencjami. Koszty odtworzenia zazwyczaj nie są wygórowane, jednak zależą od warunków lokalnych, nasadzenia: trawy i byliny, rzadziej krzewy i drzewa. Najważniejsze zalecenia to:

- konieczne jest ograniczenie lub zrezygnowanie ze stosowania soli (zimowe utrzymanie dróg),
- odprowadzenie nadmiaru wody – konieczne w przypadku lokalizacji w obrębie gruntów nieprzepuszczalnych,
- zalecane są nasadzenia roślinne, w przypadku nasadzenia drzew należy unikać konfliktu między lokalizacją instalacji podpowierzchniowych a przewidywaną objętością bryły korzeniowej,
- w przypadku ograniczonej przestrzeni w celu umieszczenia pionowej ściany od strony chodnika może być konieczne zmniejszenie szerokości całkowitej obrysu obiektu,
- w przypadku gdy pionowa ściana betonowa znajduje się od strony ulicy, powinna być ona zaprojektowana tak, aby przenosić obciążenia pojazdów, może to wymagać nowych krawężników i/lub naprawy części ulicy/drogi,
- należy zwrócić uwagę na lokalizację hydrantów.

6. OBNIŻONE RONDA Z ZIELENIĄ

6.1. Cel i zakres stosowania

Obniżone ronda z zielenią to stosunkowo nowe rozwiązanie, które nie ma jeszcze szczegółowych wytycznych projektowych (przynajmniej opublikowanych w szerokim dostępie). Stanowią obniżenia terenu wewnątrz ronda. Mogą mieć formę suchych zbiorników retencyjnych lub też systemu bioretencyjnego albo ogrodu deszczowego. Uzupełnieniem mogą być ciągi (chodniki, drogi rowerowe) przepuszczalne. Korzystne może być zintegrowanie systemu w ramach ronda z systemem drenażowym [24]. Komórka bioretencyjna w ramach ronda może przejmować spływy z jezdni, chodników czy też dróg rowerowych. Pełni ona głównie funkcję retencyjną, a w przypadku korzystnych warunków dla infiltracji – również podczyszczania [2].

Obniżone rondo z zielenią można stosować przede wszystkim w celu retencjonowania i oczyszczania wód opadowych. Dodatkowe korzyści to: zwiększenie bioróżnorodności i funkcje dekoracyjne. Możliwości lokalizacji w typach ulic/dróg [38] to: ronda przy ulicach zbiorczych, lokalnych, dojazdowych i wewnętrznych.

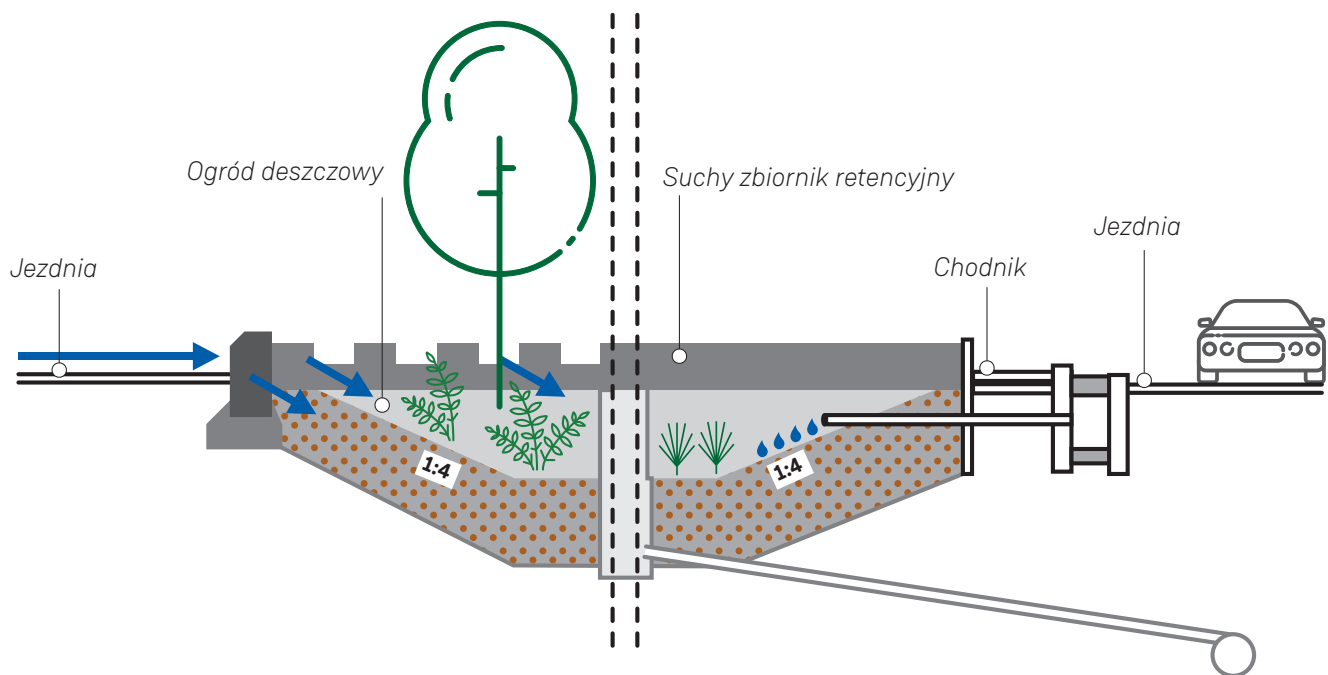
6.2. Opis konstrukcji i działania

Poziom wlotu należy zaprojektować tak, by znajdował się powyżej poziomu gruntu. W przypadku suchego zbiornika retencyjnego niezbędne jest zastosowanie przelewu awaryjnego. Przy braku możliwości powierzchniowego doprowadzenia wód opadowych suchy zbiornik retencyjny/ogród deszczowy w rondzie można zasilać i zabezpieczyć odpływami wykonanymi jako przepusty pod drogą [24]. Wariant ogrodu deszczowego (bioretencji) w ramach ronda powinien być wykonany z warstw (od góry): ściółka żwirowa o miąższości ok. 8–10 cm i podłoże roślinne (do sadzenia). W obu wariantach zdrenowanie można posadzić w warstwie drenażowej lub skrzynek retencyjnych. W tym przypadku warstwę podłoża roślinnego (gruntu rodzimego) należy oddzielić od warstwy drenażowej lub skrzynek retencyjnych geowłókniną. Schematyczny przekrój poprzeczny przez obniżone rondo z zielenią przedstawia ryc. 2.6. Ze względów bezpieczeństwa skarpy suchego zbiornika retencyjnego w rondzie nie powinny mieć nachylenia większego niż 1:4; w przeciwnym razie zbiornik powinien być ogrodzony niskim żywopłotem.

6.3. Warunki użytkowania

Część obszaru w ramach suchego zbiornika retencyjnego w rondzie należy przewidzieć dla celów pielęgnacyjnych i możliwości dostępu (komunikacji) [29]. Można ją zagospodarować w postaci utwardzonych, np. kamieniami, ścieżek/schodów, które umożliwią dostęp również w okresach, kiedy grunt jest podmokły lub woda stagnuje na stosunkowo niskim poziomie.

Preferowane są nasadzenia z rodzimych gatunków roślin odpornych na okresowe zalewanie. Roślinność: krzewy, wysokie trawy i małe drzewa.



Ryc. 2.6. Przekrój poprzeczny przez obniżone rondo z zielenią

7. ROŚLINNE STREFY BUFOROWE

7.1. Cel i zakres stosowania

Roślinne (zielone) strefy buforowe mają formę odpowiednio ukształtowanej powierzchni porośniętej roślinnością (tj. trawą lub inną rodzimą roślinnością – najlepiej pozyskaną w pobliżu), zlokalizowanych pomiędzy niepunktowymi źródłami zanieczyszczeń a odbiornikami wód opadowych w celu łagodzenia skutków zanieczyszczeń ze źródeł niepunktowych. Głównym ich zadaniem jest ochrona obiektów BZI i odbiorników przed przeciążeniem ładunkiem dopływających zanieczyszczeń, zmniejszenie powierzchni BZI, wydłużenie żywotności i ułatwienie konserwacji.

Zazwyczaj wykorzystuje się przepływ warstwowy lub liczne, lecz małe, przepływy skoncentrowane (w tym przypadku zalecany jest rozpraszacz poziomy, zlokalizowany wzdłuż roślinnej strefy buforowej). Roślinne strefy buforowe usuwają zanieczyszczenia na drodze: filtracji, infiltracji, sedymentacji i procesów prowadzonych przez roślinność. Nadają się one jako systemy podczyszczające (np. dla komórek bioretencyjnych), jako jeden z elementów szerszego (złożonego) systemu BZI lub jako obiekt niezależny (samodzielny), pod warunkiem dostępności wystarczającej powierzchni terenu. Mogą być stosowane w otwartych przestrzeniach do usuwania spływów z dróg, autostrad i małych parkingów albo jako łagodnie nachylone skarpy rowów trawiastych (otwartych kanałów). Dodatkowymi zaletami roślinnych stref buforowych są znikome zagrożenie uwięzienia drobnych kręgowców (np. płazów) i aspekty estetyczne.

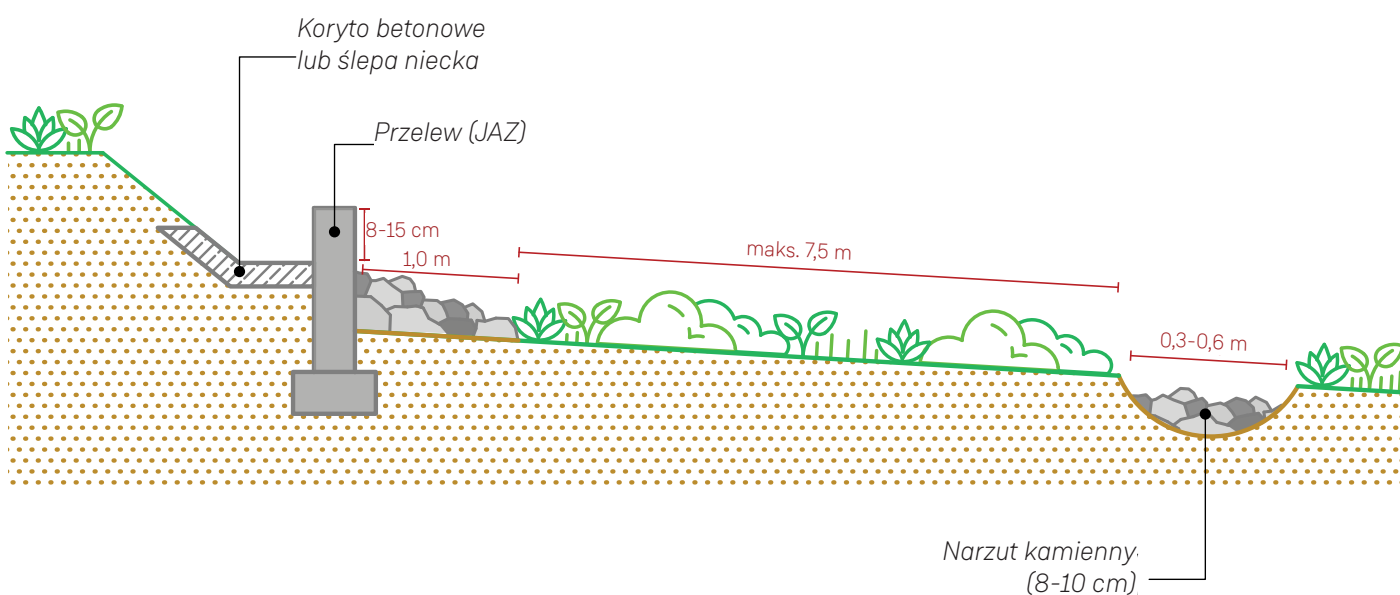
Czynniki, które powinny być brane pod uwagę przy projektowaniu roślinnych stref podczyszczających, to m.in. [38]: właściwości obszaru (użytkowanie terenu, rodzaj gleby i jej wodoprzepuszczalność), najlepsze dostępne praktyki dotyczące projektowania i eksploatacji tych systemów oraz istniejąca infrastruktura. Najczęstsze ograniczenia to uwarunkowania lokalizacyjne (m.in. rozkład przestrzenny spływu powierzchniowego, spadek terenu) oraz układ przestrzenny.

Roślinne strefy buforowe uzyskują skuteczność usuwania zawiesin ogólnych od 50 do ponad 90% [1, 11, 12, 26]. Decydujące znaczenie dla usuwania cząstek stałych ma długość strefy buforowej: ok. 50% można usunąć na pierwszych 2-3 m długości, a na następnych 2-3 m kolejne 25-45%; wpływ długości >10 m na skuteczność usuwania zawiesin był nieznaczny [11].

Roślinne strefy buforowe mogą również usuwać węglowodory, metale śladowe oraz związki N i P, głównie poprzez sedymentację drobnych cząstek i filtrację spływu podpowierzchniowego. Do celów projektowych zaleca się wykonanie obliczeń z uwzględnieniem lokalnych uwarunkowań i parametrów strefy (spadków, wymiarów).

7.2. Opis konstrukcji i działania

W górnym (wlotowym) obszarze strefy zaleca się wyrównanie (wypoziomowanie) terenu, a nawet zastosowanie rozwiązania w formie np. poziomego rowu, krawężnika czy stałego progu betonowego w celu uzyskania równomiernego rozprowadzenia dopływu na całej szerokości strefy. Korona poziomego przelewu (progu) powinna przewyższać powierzchnię narzutu kamiennego o 8-15 cm (ryc. 2.7). Narzut kamienny powinien mieć 8-10 cm miąższości i długość (w kierunku przepływu wody) około 1 m. Maksymalna długość części strefy w postaci stoku/ zbocza porośniętego roślinnością nie powinna przekraczać 7,5 m. Strefa buforowa powinna kończyć się narzutem kamiennym o podobnej miąższości jak narzut poniżej progu, jednak jego długość (w kierunku przepływu wody) może być nieco mniejsza: 0,3-0,6 m. Schematycznie konstrukcję roślinnej strefy buforowej przedstawia ryc. 2.7.



Ryc. 2.7. Schemat konstrukcji roślinnej strefy buforowej

W przypadku dużych ładunków zawieszin w dopływających wodach zaleca się stosowanie osadników na dopływie do strefy buforowej. Nie zaleca się natomiast stosowania stref na podłożu gliniastym (bardzo niska wodoprzepuszczalność) oraz na podłożu (np. skalistym), na którym nie można uzyskać stabilnego zadarnienia trawą. Za kluczowy czynnik warunkujący prawidłowe działanie roślinnych stref buforowych uważa się utrzymanie równomiernego przepływu o prędkości do 0,45 m/s [39]. Pozostałe czynniki warunkujące uzyskanie oczekiwanej skuteczności usuwania zanieczyszczeń oraz bezawaryjną pracę to: odpowiednia długość drogi przepływu i nachylenie terenu, natężenie przepływu, rodzaj i zagęszczenie roślinności. Roślinne strefy buforowe najlepiej sprawdzają się w obszarach odwadnianych o powierzchni do 4000 m². Czas zatrzymania wody po deszczu nawałnym w obrębie roślinnej strefy buforowej nie powinien przekraczać 24 h. Wymagana długość roślinnej strefy buforowej to 3–20 m, w zależności od spadku terenu i jego pokrycia. Minimalna szerokość strefy buforowej powinna wynosić 20% jej długości lub 2,5 m (w zależności od tego, która wartość jest większa).

7.3. Warunki użytkowania

Roślinne strefy buforowe często są łatwo dostępne, dzięki czemu wymagania konserwacyjne są niskie, a co za tym idzie, niskie są również koszty z nimi związane. Należy zwrócić uwagę na kontrolę (w pierwszym roku półroczne inspekcje, a następnie coroczne) i ewentualne usuwanie zanieczyszczeń i osadów, aby utrzymać odpowiednie nachylenie i zapobiec tworzeniu się garbów lub zagłębień. W przypadku zalegania osadów może dochodzić do przepływów bocznikowych i/lub erozyjnych, wtedy znacząco spada skuteczność usuwania zanieczyszczeń. Należy stosować roślinność (trawy) odporną na: zasolenie (zimowe utrzymanie dróg), wysokie ładunki zanieczyszczeń i dużą prędkość przepływu. Zaleca się regularne i częste koszenie trawy. W przypadku silnie zasolonych wód roztopowych zaleca się odprowadzanie ich do kanału istniejącej sieci deszczowej za pośrednictwem np. kinety z zasuwą burzową. W przypadku braku możliwości odprowadzania do kanalizacji deszczowej lub innego odbiornika (np. rowu melioracyjnego) zaleca się zastosowanie stawu retencyjnego na dopływie – przed progim przelewowym (pojemność można obliczyć, przyjmując 0,9 maksymalnej grubości pokrywy śnieżnej pomnożonej przez pole powierzchni spływu), ewentualnie rowu (kanału), stanowiącego obejście, łączące próg przelewowy z zabezpieczonym przez strefę roślinną odbiornikiem, w celu ominięcia strefy.

8. MATY ROZCHODNIKOWE

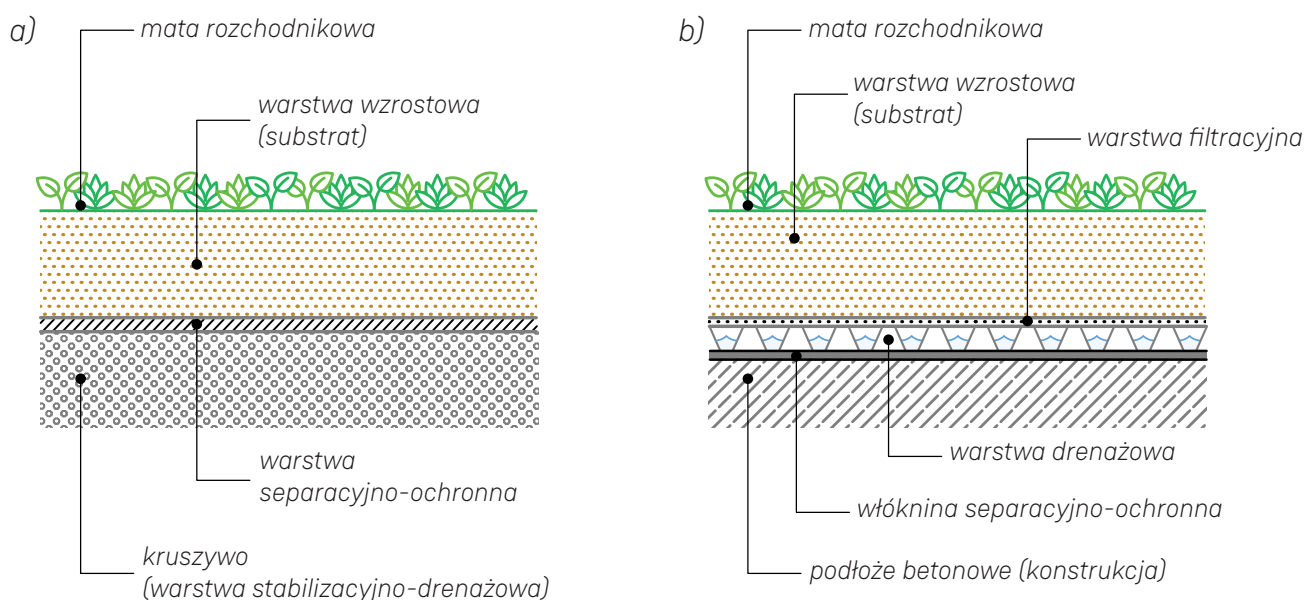
8.1. Cel i zakres stosowania

Rozchodniki to roślinność sucholubna, odporna na suszę i estetyczna przez większość roku [18]. Maty rozchodnikowe kwitną wiosną i latem. Jesienią efektownie się przebarwiają. Doskonale sprawdzają się w będących konsekwencją zmian klimatycznych warunkach ekstremalnych – przy upałach, dużym nasłonecznieniu, suszy. Podczas ciepłego i suchego dnia utrata wilgoci jest zmniejszona do minimum. Zastosowanie mat rozchodnikowych pozwala obniżyć koszty eksploatacji (mat nie trzeba kosić ani regularnie podlewać, ani poświęcać zbyt dużo czasu na serwisowanie) [15]. Maty rozchodnikowe szczególnie często stosuje się nie tylko do rozwiązań zielonych dachów, ale również w przypadku torowisk tramwajowych.

8.2. Opis konstrukcji i działania

Maty układane są na warstwie wzrostowej, najczęściej w postaci zrolowanej warstwy roślinnej. Zieloną zabudowę należy projektować wyłącznie na odcinkach torowisk podsypkowych niezabudowanych lub zabudowanych zasypką tłuczniową (w takim przypadku należy założyć wybranie istniejącej zasyпки tłuczniowej do wierzchu podkładów). W przypadku układania na podłożu betonowym maty wymagają dodatkowej warstwy filtracyjnej i drenażowej. Schematy konstrukcyjne torowisk z zastosowaniem mat rozchodnikowych przedstawiono na ryc. 2.8a (w przypadku podłoża piaskowo-żwirowego) oraz ryc. 2.8b (dla podłoża betonowego).

Warstwę substratu należy projektować do poziomu 0,04 m poniżej płaszczyzny główek szyn, pomniejszonego o grubość rozkładanych rolek z rozchodnikami (należy przyjąć grubość rolek nie mniejszą niż 0,02 m) – w celu ograniczenia możliwości późniejszego wspinania się roślinności na szyny w czasie jej wzrostu. Rozchodniki z maty wegetacyjnych dla wariantów zielonej zabudowy należy projektować z gatunków, których maksymalna wysokość nie przekracza 10 cm (w stanie po zakończeniu wzrostu roślinności).



Ryc. 2.8. Konstrukcja torowiska z matą rozchodnikową na podłożu piaskowo-żwirowym (a) i na podłożu betonowym (b) (na podstawie Greenfond)

8.3. Warunki użytkowania

Maty wegetacyjna z rozchodników posiada dorosłe i rozrośnięte rośliny, a stopień okrycia w chwili dostawy jest nie mniejszy niż 95%. Wpływa to na ograniczenie potrzeb związanych z pielęgnacją. Jedynie w fazie początkowej maty rozchodnikowej wymaga odpowiedniej ilości wilgoci. Należy również usuwać chwasty, jeżeli się pojawiają.

Zalety zielonych torowisk w miastach:

- tłumienie hałasu: rośliny zasadzone między szynami obniżają poziom dźwięków wydawanych przez tramwaje nawet o kilka decybeli,

- mniej zanieczyszczone powietrze: dodatkowa roślinność pozwala filtrować spaliny, za których powstawanie odpowiada ruch samochodowy, a także zapobiega wzbijaniu się pyłów powstałych po przejeździe tramwajów,
- niższa temperatura latem: roślinność w procesie ewapotranspiracji oddaje wilgoć do atmosfery i dzięki temu, zwłaszcza latem, obniża temperaturę otoczenia, przeciwdziałając powstawaniu miejskiej wyspy ciepła,
- retencjonowanie wód opadowych w miejscu ich powstawania,
- zwiększenie bioróżnorodności i budowa zielonych korytarzy w miastach,
- poprawa estetyki: rozchodniki kwitną, a jesienią przebarwiają się na piękne kolory.

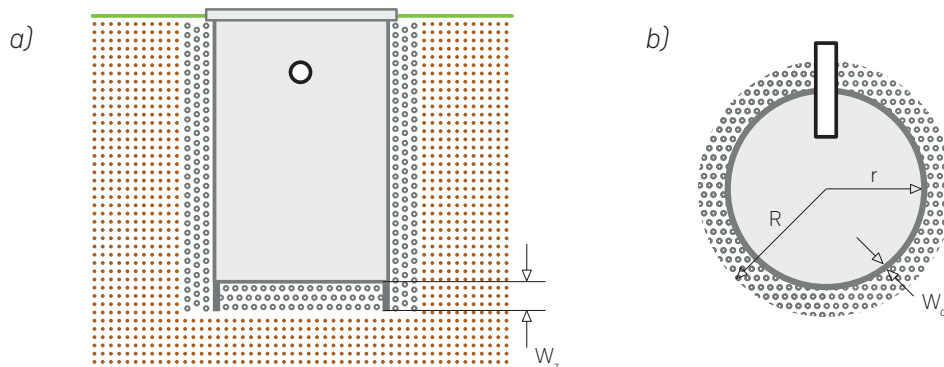
9. STUDNIE CHŁONNE

9.1. Cel i zakres stosowania

Studnie chłonne są to urządzenia wodne, zdefiniowane w Ustawie z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne (Dz.U. z 2017 r. poz. 1566, ze zm.), które służą kształtowaniu zasobów wodnych lub korzystaniu z nich. Wykonanie oraz eksploatacja wymagać może uzyskania odpowiednich zgód administracyjnych. Studnie chłonne uważane są za jedno z najprostszych urządzeń infiltracyjnych, z tym że mają ograniczoną zdolność rozsączenia wód opadowych.

9.2. Opis konstrukcji i działania

Studnie chłonne stosuje się, gdy płytko występują słabo przepuszczalne warstwy gruntów, a pod nimi grunty łatwo przepuszczalne. Zaleca się, aby rozsączenie wód odbywało się w gruntach o współczynniku filtracji znacznie powyżej 8,64 cm/d [17]. Wykop pod studnię powinien mieć średnicę o 60 cm większą od zewnętrznej średnicy kręgu studni. Dla stabilizacji studni korzystne jest osadzenie jej na pierścieniu. Pustą przestrzeń między gruntem a kręgami obsypuje się materiałem gruboziarnistym o równomiernym uziarnieniu, gwarantującym porowatość do 50% [4]. Na dno usypuje się niekiedy warstwę żwiru o grubości ok. 0,2–0,5 m, która pełni funkcję filtra, a której powierzchniową warstwę (ok. 5 cm) można w późniejszym okresie eksploatacji wymienić na nową, ograniczając proces kolmatacji. Chroni ona także studnię przed rozmyciem przez strumień spadający na dno w pierwszej fazie napełniania. Schemat studni przedstawiono na ryc. 2.9.



Ryc. 2.9. Studnia chłonna: a) przekrój pionowy, b) rzut poziomy

Metoda obliczeniowa: zawarta w Wytocznych Aquanet Retencja pn [„Projektowanie, wykonawstwo zagospodarowania wód opadowych i roztopowych za pomocą błękitno-zielonej infrastruktury \(BZI\) oraz sieci i przyłączy kanalizacji deszczowej – wymagania ogólne”](#).

9.3. Warunki użytkowania

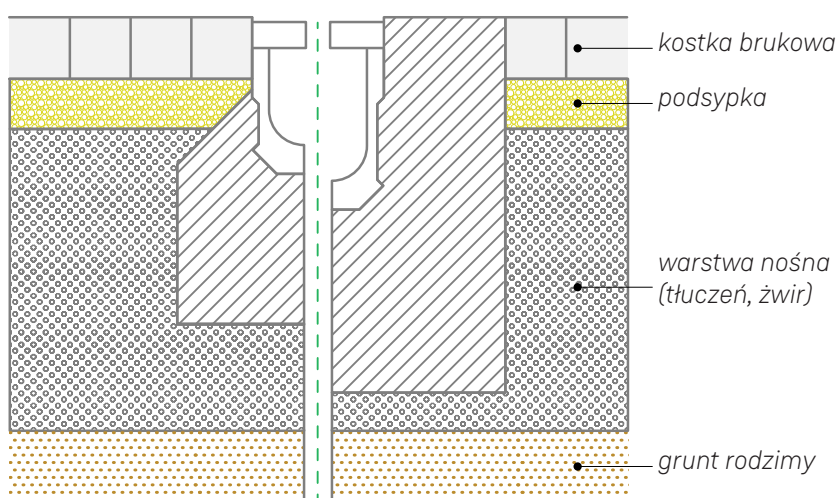
W praktyce głębokość studni chłonnych mieści się najczęściej w granicy od 1 do 3 m, przy czym funkcjonują też studnie chłonne o głębokości do 26 m. W celu uniknięcia wylań powinno się dobierać wymiary studni tak, aby czas napełniania był dłuższy niż czas trwania deszczu. Czas całkowitego opróżnienia urządzenia powinien wynosić od 48 do 72 godzin. W gruntach słabo przepuszczalnych zaleca się, aby w ciągu 24 godzin poziom wody w studni opadł przynajmniej do połowy.

Jeżeli wymiary zaprojektowanej studni nie są wystarczające do zagospodarowania dopływających wód opadowych, wówczas można wykonać kilka studni, niekiedy połączonych ze sobą szeregowo. W takich przypadkach minimalna odległość między krawędziami sąsiednich studni powinna wynosić od 5 do 10 m (w zależności od przepuszczalności gruntu). Dodatkowo warto zaznaczyć, że minimalna odległość studni od budynku nie powinna być mniejsza niż 3 m.

10. ODWODNIENIA LINIOWE

10.1. Cel i zakres stosowania

Odwodnienia liniowe stanowią alternatywę dla konwencjonalnego odwadniania powierzchni za pomocą punktowych wpustów deszczowych. Odwodnienia liniowe skracają drogę spływu wód opadowych po powierzchniach uszczelnionych, z zachowaniem dużej efektywności odwadniania. Znajdują zastosowanie szczególnie w miejscach o podwyższonej estetyce wykończenia nawierzchni, dla których konwencjonalne odwodnienia za pomocą wpustów deszczowych (z kratką ściekową) – z powodu zastosowanych materiałów lub wymagań użytkowych – mogą być nieestetyczne, niepraktyczne lub niebezpieczne (np. na chodnikach, placach czy drogach rowerowych). Poprzez zastosowanie korytek o zwiększonych przekrojach poprzecznych (ryc. 2.10) można wytworzyć dodatkową pojemność retencyjną, wykorzystywaną do bezpośredniego odprowadzania wód opadowych do gruntu przepuszczalnego. W przypadku odwadniania powierzchni formalnie niewymagających oczyszczenia odwodnienia liniowe, ze względu na niewielkie zagłębienie pod powierzchnią terenu, należy łączyć z nieckami infiltracyjnymi i studniami chłonnymi.



Ryc. 2.10. Przykłady odwodnienia liniowego w postaci szczeliny z korytkiem odpływowym w nawierzchni uszczelnionej oraz schemat kanału odwodnieniowego do zabudowy w bruku

10.2. Opis konstrukcji i działania

Odwodnienia liniowe konstruowane są w oparciu o wodoprzepuszczalną kratę lub szczelinę zintegrowaną z korytkiem lub kanałem, które stanowią dla nich podparcie konstrukcyjne i umożliwiają odprowadzenie wód opadowych. Szczeliny mogą być zintegrowane z krawężnikami, eliminując konieczność stosowania ścieków (rynsztoków) wzdłuż krawężników. W przypadku odwadniania dróg rowerowych szczeliny powinny być sytuowane poprzecznie do kierunku jazdy, a ich szerokość ograniczona do kilkunastu milimetrów w celu uniemożliwienia wpadnięcia w szczelinę i uwięzienia w niej koła rowerowego. W warunkach użytkowania przez pojazdy samochodowe szerokość szczeliny można powiększyć do 30 mm [7].

Wpusty liniowe pozwalają rozciągnąć ujmowanie wód opadowych zbierających się na powierzchni terenu wzdłuż ciągów komunikacyjnych lub placów, z jednoczesną poprawą efektu wizualnego. Odwodnienia liniowe redukują konieczność budowy głębokich przyłączy kanalizacyjnych, a przez wykonywanie ich na etapie budowania nawierzchni zmniejszają koszty odprowadzania wód opadowych. Dostępne są korytka dla różnych natężeń przepływów, a w przypadku wyczerpania ich przepustowości można je połączyć z prowadzonym równolegle i na niewiele większej głębokości kanałem. Pozwala to separować transportowane odwodnieniami liniowymi wody opadowe od innych, bardziej zanieczyszczonych wód lub ścieków.

Przepustowość odwodnień liniowych, podawana przez producentów, w przypadku korytek skrzynkowych uwzględnia przepustowość pokryw (z otworami lub rusztami kratowymi, mostkowymi), a w rynnach szczelinowych – przepustowość szczelin. Przepustowość rynien zbierających wody opadowe wynika z wymiarów przekroju poprzecznego (prostokątnego, kołowego lub owalnego) oraz spadków dna i może być obliczana analogicznie jak przepustowość kanałów otwartych.

10.3. Warunki użytkowania

W trakcie eksploatacji odwodnień liniowych podstawowymi zabiegami eksploatacyjnymi są monitoring i czyszczenie korytek, monitoring drożności i trwałości krawędzi szczelin oraz usuwanie zawiesin ze studzienek osadnikowych. Łączenie odwodnień liniowych z urządzeniami do odprowadzania wód formalnie niewymagających oczyszczenia powinno następować przez studzienki osadnikowe – separujące zawiesiny. Piasek używany do zimowego zwalczania śliskości może stanowić jednorazowe obciążenie ładunkiem w zakresie od 60 do 150 g/m² powierzchni placów i chodników (zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 27 października 2005 r. w sprawie rodzajów i warunków stosowania środków, jakie mogą być używane na drogach publicznych oraz ulicach i placach – Dz.U. z 2005 r. nr 230, poz. 1960). Ze względu na rozproszenie studzienek osadnikowych, instalowanych w ciągach odwodnień liniowych, pojemność części osadowej lub koszy filtracyjnych powinna zapewniać opróżnianie nie częstsze niż raz na rok. Razem z czyszczeniem części osadnikowej studzienek należy przeprowadzać przegląd drożności szczelin, krat i korytek odwodnień liniowych. W przypadku gdy odpływy odwodnień podłączone są do urządzeń infiltracyjnych do gruntu, niedopuszczalne jest przepłukiwanie odwodnień liniowych i studzienek bez

jednoczesnego odsysania zawieszin do zbiornika osadu w pojazdach specjalistycznych. Przepłukiwanie instalacji bez jednoczesnego odsysania osadów może doprowadzić bowiem do nieodwracalnego uszkodzenia urządzeń infiltracyjnych.

11. NAWIERZCHNIE PRZEPUSZCZALNE

11.1. Cel i zakres stosowania

W celu zmniejszenia ilości wód opadowych spływających z nawierzchni m.in. parkingów i chodników oraz dróg o małym natężeniu ruchu zaleca się zagospodarowanie wód opadowych z wykorzystaniem infiltracji w miejscu powstania opadu. Jednym ze sposobów tworzenia miejsc bezpośredniego wsiąkania wód opadowych jest zastosowanie nawierzchni przepuszczalnych (ang. *permeable pavement*). Oprócz ograniczenia spływu powierzchniowego zastosowanie nawierzchni przepuszczalnej wpływa pozytywnie na zasilenie wód gruntowych, filtruje zanieczyszczenia oraz obniża temperaturę powierzchni. Usuwanie zanieczyszczeń odbywa się poprzez absorpcję, filtrację i degradację mikrobiologiczną. Badania długoterminowe wykazują skuteczność usuwania do 82–95% zawieszin, do 65% fosforu i 80–85% azotu [19]. Należy unikać stosowania nawierzchni przepuszczalnych w pobliżu źródeł zanieczyszczeń, m.in. stacji benzynowych.

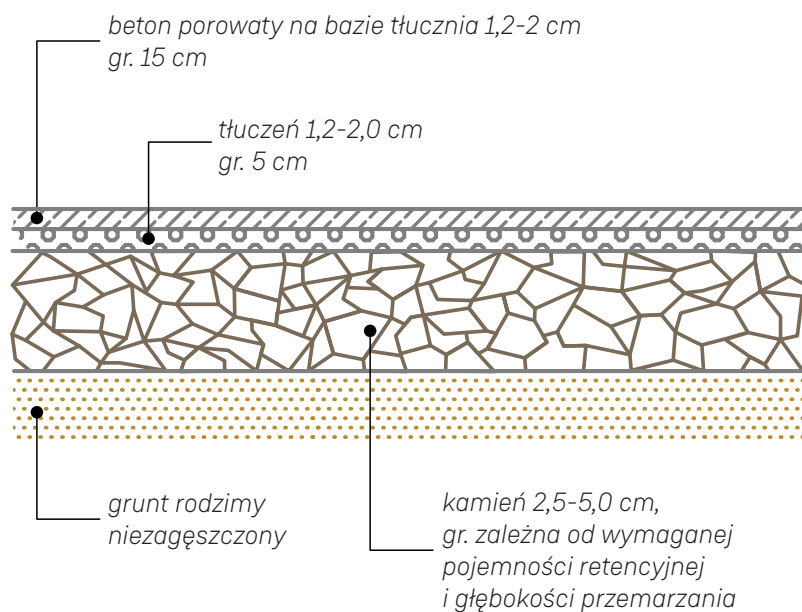
Do nawierzchni przepuszczalnych zalicza się: nawierzchnie żwirowe lub grysowe; geokraty metalowe lub z tworzywa sztucznego, wypełnione gruntem i obsiane trawą; betonowe płyty ażurowe wypełnione roślinnością, np. trawą, lub materiałem sypkim, np. żwirem; kostkę betonową o ściętych narożnikach; nawierzchnie mineralno-żywiczne oraz nawierzchnie wykonane z betonu porowatego lub asfaltu porowatego. W drogach klasy A, S, GP, G i Z asfalt porowaty ($0,1 \leq \epsilon \leq 0,3$) stosuje się jedynie w warstwach ścieralnych [32], położonych na warstwie wiążącej i podbudowie.

11.2. Opis konstrukcji i działania

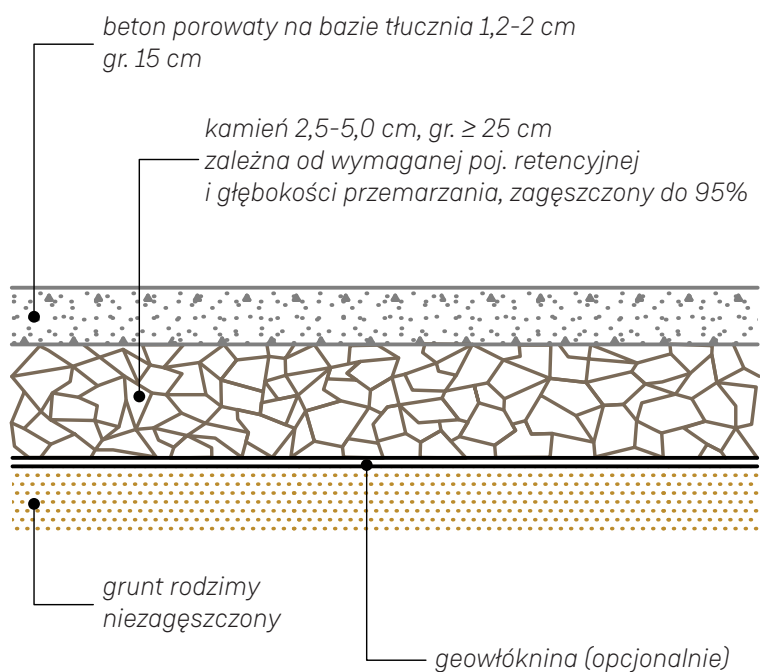
Nawierzchnia przepuszczalna składa się – od góry – z następujących warstw:

- wodoprzepuszczalna warstwa wierzchnia (ścieralna),
- podsypka (pod kostkę brukową) – warstwa wyrównująca i filtracyjna,
- warstwa nośna (podbudowa) – warstwa żwiru lub kamieni, która służy do wzmocnienia nawierzchni obciążonej dużym ruchem pojazdów, a także gromadzenia wody (podczas i po deszczu),
- podłoże – grunt rodzimy, którego przepuszczalność warunkuje odprowadzenie wody do głębszych warstw gruntu. Niekiedy dno wykopu i ściany boczne wykłada się geowłókniną.

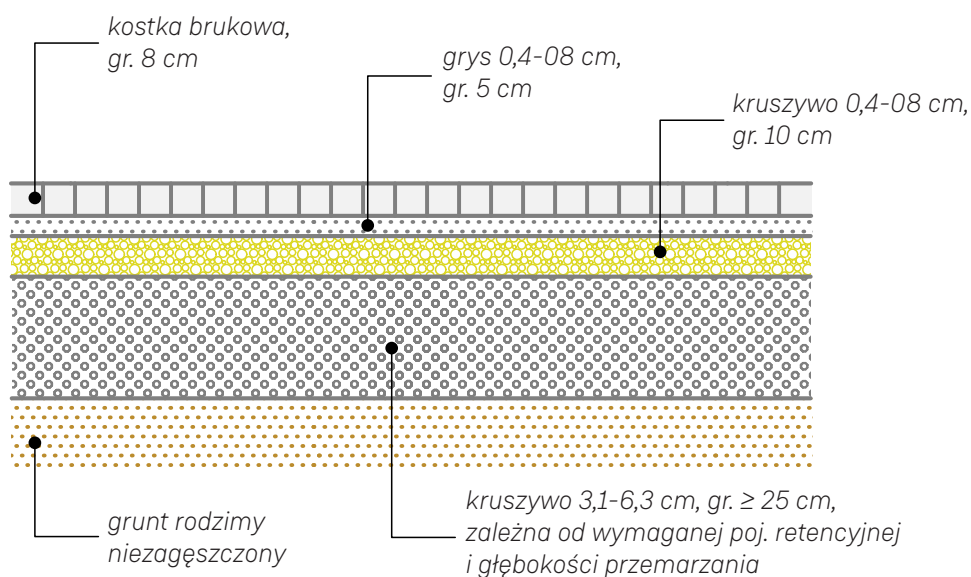
W przypadku gruntów słabo przepuszczalnych w podłożu zaleca się wykonać warstwę drenującą między warstwą odsączającą a gruntem rodzimym, z perforowaną rurą o średnicy 10–20 cm, odprowadzającą wodę do systemu kanalizacji deszczowej lub systemu retencjonowania i zagospodarowania wód opadowych, np. poprzez infiltrację w korzystniejszym miejscu lub wykorzystanie do podlewania zieleni. Przykładowe układy warstw stosowanych w drogach klasy L i D, na placach i parkingach przedstawiają ryc. 2.11.–2.13.



Ryc. 2.11. Układ warstw nawierzchni z asfaltu porowatego



Ryc. 2.12. Układ warstw nawierzchni z betonu porowatego



Ryc. 2.13. Układ warstw nawierzchni z kostki brukowej przepuszczalnej

Efektywność działania nawierzchni przepuszczalnej zależy nie tylko od parametrów warstwy powierzchniowej, ale również od zastosowanych warstw przejściowych. Zalecana wartość współczynnika filtracji podłoża to $k_f \geq 0,7$ cm/h, a najlepiej $k_f \geq 1,3$ cm/h. Nawierzchnie przepuszczalne, instalowane na gruntach o niskiej przepuszczalności (gliniastych), powinny mieć warstwę nośną (podbudowę) działającą jako tymczasowy magazyn wód opadowych do późniejszego odprowadzania w grunt (podłoże). System powinien całkowicie opróżnić się po miarodajnym opadzie deszczu w ciągu maksymalnie 72 godzin (zalecany czas to 24 godziny). Nachylenie powierzchni przepuszczalnej nie powinno być większe od 5% dla nawierzchni żwirowych i od 12% dla betonu porowatego; im mniejszy spadek, tym lepiej. Typowe wartości parametrów nawierzchni przepuszczalnych przedstawiono w tabeli 2.1.

11.3. Warunki użytkowania

Ważnym czynnikiem eksploatacyjnym jest utrzymanie czystości wierzchniej warstwy nawierzchni. Zaleca się czyszczenie hydromechaniczne (wodą pod ciśnieniem) wierzchniej warstwy nawierzchni przepuszczalnej. Zanieczyszczenia w postaci pyłów i zawiesiny mogą z czasem zmniejszać zdolność przepuszczania wody przez tę powierzchnię w wyniku zachodzącego zjawiska kolmatacji. W ekstremalnych przypadkach nawierzchnie takie tracą swoje zdolności do przepuszczania wody. Do czynności eksploatacyjnych należy usuwanie przynajmniej raz w miesiącu zanieczyszczeń pojawiających się na powierzchni, takich jak drobny piasek i osady, żdźbła trawy, śmieci oraz liście. Gruntowną konserwację (oczyszczanie) należy przeprowadzić raz lub dwa razy w roku (najlepiej w styczniu i lipcu), np. hydromechanicznie. Zimą zalecane jest regularne odśnieżanie tej powierzchni łopatą z gumową krawędzią lub pługiem śnieżnym. Należy unikać posypywania śniegu i lodu piaskiem z uwagi na możliwość kolmatacji. Po powierzchniach przepuszczalnych nie powinno się jeździć ani parkować na nich ciężkich pojazdów (w zależności od zaleceń producenta) [14].

Tab. 2.1. Charakterystyki nawierzchni przepuszczalnych [5, 26, 32, katalogi producentów]

Rodzaj nawierzchni	Grubość [cm]	Porowatość [%]	Wodo-przepuszczalność [dm ³ /(s·ha)]	Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu* [MPa]	Uwagi
Beton cementowy porowaty	15	10-30	≥ 4000	5-2	Żywotność 20-40 lat; zmniejsza hałas od transportu i ryzyko poślizgu
Asfalt porowaty: - AP - BBTM	2,5-5,0 1,0-3,5	16-30 10-27	≥ 2000	3,6-2,4	Żywotność 15-20 lat
Bruk z kostki betonowej lub mineralno-żywicznej	0	443	860-4000	2,5 70 kN na kostkę 20 x 10 x 8 cm	Zmniejsza poślizg, nie przetrasta chwastami i roślinami, niezasiedlany przez owady
Geokraty z HDPE	3	304	Zależy od wypełnienia	2,5-1,0	Żywotność 10-75 lat
Płyty ażurowe betonowe	62	4580	Zależy od wypełnienia	4,0-2,5	Żywotność 40-80 lat
Spyływy z ulic [31]	561	3236	≥ 5000	-	Łatwa w budowie; nadaje się do ciągów pieszych lub parkingów o niskim natężeniu ruchu

*wytrzymałość ta maleje wraz ze wzrostem porowatości

12. PODZIEMNE ZBIORNIKI SZCZELNE (DETENCYJNE)

12.1. Cel i zakres stosowania

Celem retencjonowania wody w zbiornikach może być:

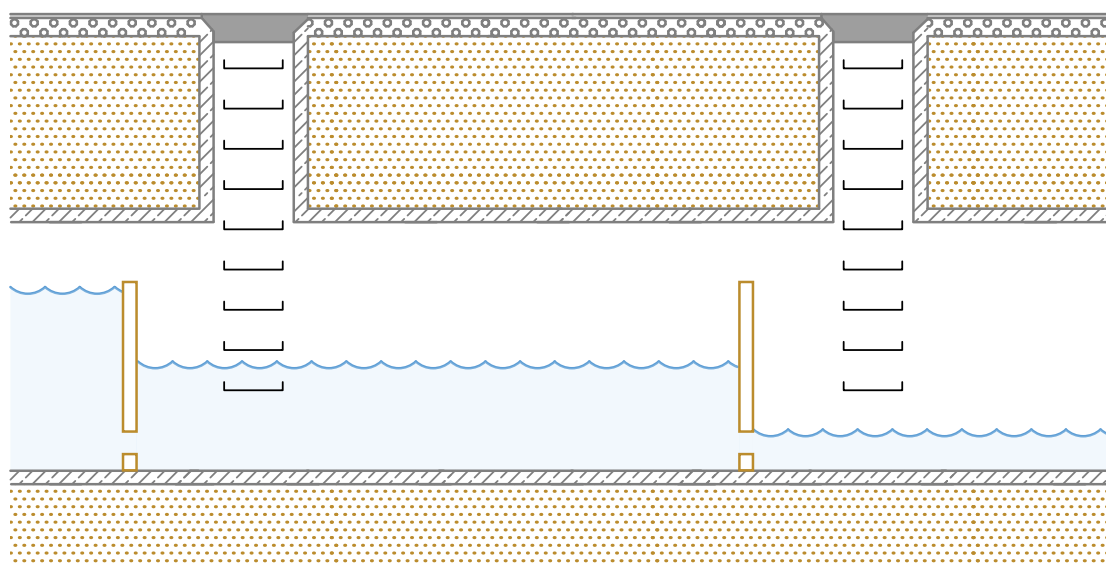
- odciążenie sieci kanalizacyjnej przez przesunięcie odpływu do kanalizacji na czas ustania opadów lub redukcję natężenia odpływu do kanalizacji poprzez wydłużenie czasu odpływu,
- zbieranie wody celem późniejszego rozsączenia do gruntu poprzez urządzenia infiltracyjne o niewystarczającej wodochłonności. Dzieje się tak, gdy grunt charakteryzuje się niskim współczynnikiem filtracji, a dostępna powierzchnia rozsączenia jest ograniczona,
- gromadzenie do celów gospodarczych, niewymagających wody o jakości wody pitnej, np. do podlewania zieleni.

Podstawowym zastosowaniem zbiorników jest opóźnienie odpływu do kanalizacji; wymaga to względnie szybkiego opróżnienia objętości retencyjnej przed następnym opadem. Sprawdzone rozwiązanie są tzw. zbiorniki suche na ciekach. Mają one ograniczony odpływ, wskutek czego podczas wezbrań napełniają się wodą, a następnie powoli

automatycznie opróżniają się. Często wyposażone są w sterowane zamknięcia, poprzedzone kratami. Opróżnienie takich zbiorników może się odbywać na żądanie (np. gestora sieci kanalizacyjnej). Najlepsze efekty w regulowaniu natężenia odpływu ze zbiorników retencyjnych można uzyskać, stosując automatyczne regulatory odpływu (z kontrakcją hydrauliczną lub zmienną charakterystyką oporów miejscowych, zależną od aktualnego poziomu wody).

Zbiorniki retencyjne mogą przechwytywać wody opadowe z powierzchni spływu przed ich wprowadzeniem do sieci kanalizacyjnych lub gromadzić określony nadmiar przepływu w sieciach kanalizacyjnych (retencja kanałowa) (ryc. 2.14). Woda opadowa zgromadzona w zbiornikach retencyjnych może być odprowadzona bezpośrednio do gruntu, gdy nie pochodzi z powierzchni zanieczyszczonych. W przeciwnym razie wodę dopływającą do zbiornika retencyjnego powinien oczyszczać separator, w tym substancji ropopochodnych.

W przypadku planowania wykorzystywania wód opadowych do nawodnień należy przewidzieć dodatkową pojemność retencyjną, dedykowaną do długoterminowego przechowywania wody. Używanie zbiorników retencyjnych do długotrwałego przetrzymywania wody może, szczególnie w okresie jesienno-zimowym, gdy woda nie będzie pobierana, spowodować przepełnienie zbiorników retencyjnych. Wtedy nie spełni on swojej podstawowej funkcji, jaką jest opóźnianie odpływu.



Ryc. 2.14. Przykład zbiornika retencyjnego na przewodzie kanalizacyjnym ze spowolnieniem odpływu poprzez otwory dławiące; grafika – wzór

12.2. Opis konstrukcji i działania

Zbiorniki retencyjne mogą być budowane jako podziemne – zamknięte, lub naziemne – otwarte. Zbiorniki otwarte – naziemne zajmują więcej miejsca, ale mogą być tańsze w budowie i eksploatacji. Jednak w celu ograniczenia głębokości mogą być zasilane spływami powierzchniowymi lub płytkimi rowami i kanałami, stąd najlepiej stosować je poza terenami o gęstej zabudowie. Zbiorniki podziemne w odpowiedniej klasie wytrzymałości konstrukcji można lokalizować pod parkingami i drogami nawet dla pojazdów ciężarowych.

Zbiorniki podziemne można podzielić na [7, 21]:

- kaskadowe o dużej różnicy wysokości pomiędzy wlotem a wylotem,
- grawitacyjne o małej różnicy rzędnych pomiędzy dopływem a odpływem,
- dwupoziomowe grawitacyjne lub grawitacyjno-podciśnieniowe,
- grawitacyjno-pompowe,
- grawitacyjne rurowe.

Zbiorniki retencyjne o dużej różnicy rzędnych między wlotem a wylotem opróżniają się samoczynnie. Pojemność retencyjna zbiorników może być podzielona w układzie szeregowym lub równoległym. W takim przypadku każdy zbiornik (sekcja) powinien posiadać oddzielny właz inspekcyjny. Włazy najczęściej umieszcza się w części wlotowej i wylotowej ze zbiornika. W części wlotowej może następować akumulacja zawiesiny dopływającej z wodami opadowymi w postaci osadów dennych, które należy okresowo usuwać. W części wylotowej będą zainstalowane urządzenia upustowe (np. regulatory odpływu) podlegające okresowej kontroli. Zbiorniki retencyjne muszą być wyposażone w wentylację zapobiegającą skraplaniu się wody we wnętrzu zbiornika, o wydajności umożliwiającej szybkie opróżnienie zbiornika z powietrza w momencie dużego dopływu wody opadowej [7].

Wielkość zbiornika zależy od warunków zasilania i opróżniania oraz akceptowalnych kosztów. Podstawą wszystkich metod wymiarowania jest bilans objętości wody. Zbiorniki mające pełnić funkcję magazynu wody o obniżonej jakości (do celów gospodarczych) wymiaruje się zwykle na objętość niezbędną dla pokrycia potrzeb wodnych w okresie trzytygodniowej suszy. Na terenie nieruchomości niepodłączonych do miejskiego systemu kanalizacyjnego, w związku z brakiem możliwości odprowadzania wód nadmiarowych, zaleca się zapewnienie pojemności zbiorników wystarczającej na 60 mm opadu na odwadnianą powierzchnię uszczelnioną. Natomiast na terenie nieruchomości podłączonych do miejskiego systemu kanalizacyjnego zaleca się stosowanie obiektów małej retencji miejskiej o objętości odpowiadającej sumie opadu co najmniej 30 mm, z możliwością przelania nadwyżki do sieci kanalizacyjnej.

Metoda obliczeniowa: zawarta w Wytycznych Aquanet Retencja pn [„Projektowanie, wykonawstwo zagospodarowania wód opadowych i roztopowych za pomocą błękitno-zielonej infrastruktury \(BZI\) oraz sieci i przyłączy kanalizacji deszczowej – wymagania ogólne”](#).

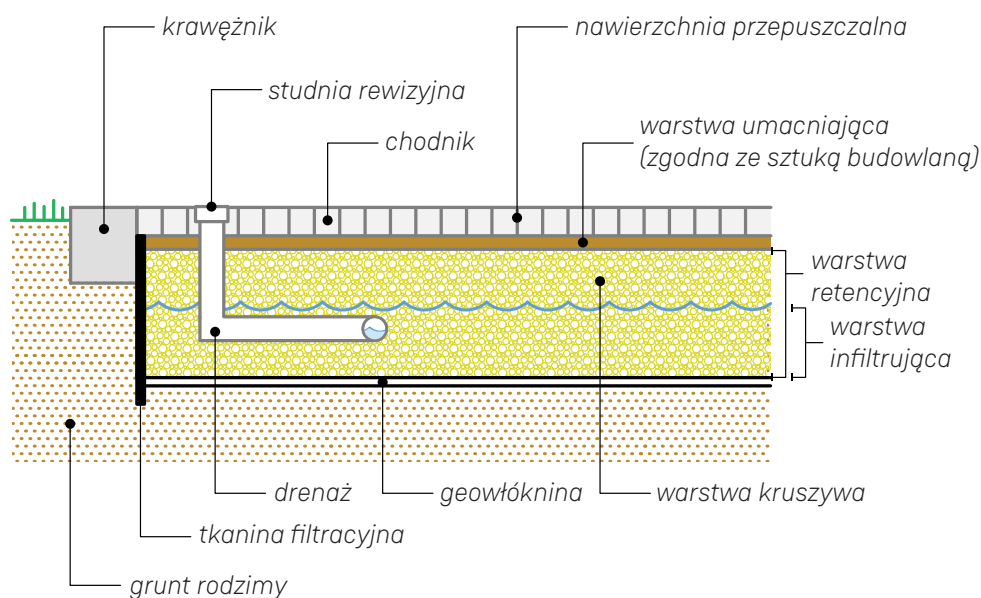
12.3. Warunki użytkowania

Podczas napełniania zbiornika współpracującego z siecią kanalizacyjną dochodzi do spiętrzenia wody w zbiorniku i w kanale dopływowym. Może to spowodować podtapianie podłączonych do sieci kanalizacji deszczowej budynków lub obiektów, kiedy nie są one wyposażone w klapy zwrotne. Fakt ten należy przewidzieć na etapie projektowania zbiornika. Eksploatacja zbiorników przepływowych podziemnych polega głównie na okresowym czyszczeniu z osadów oraz sprawdzeniu stanu technicznego i ewentualnej naprawie urządzeń upustowych. Do zabiegów eksploatacyjnych związanych z eksploatacją zbiorników otwartych przepływowych należą sprawdzanie drożności upustów dennych, wykaszanie roślinności oraz sprawdzanie stanu technicznego nasypów i przelewów awaryjnych. W przypadku krat konieczne jest ich okresowe czyszczenie.

13. SYSTEM KANAŁOWY POD PRZEPUSZCZALNĄ NAWIERZCHNIĄ

13.1. Cel i zakres stosowania

Orowadzenie wód opadowych do gruntu pod nawierzchniami przepuszczalnymi jest limitowane przez wodoprzepuszczalność gruntu. W gęstej zabudowie śródmieść brakuje otwartych przestrzeni umożliwiających tworzenie rozwiązań retencji powierzchniowej, stąd skala takich rozwiązań jest zbyt mała. Oferowane nawierzchnie wodoprzepuszczalne mają zwykle nadmiarową w stosunku do gruntu przepuszczalność. W przypadku opadów o niewielkiej intensywności lub przy bardzo chłonnym gruncie pod nawierzchniami przepuszczalnymi można założyć, że całkowicie wchłonie on wodę opadową. Przy intensywności opadów przekraczającej wodochłonność podłoża gruntowego lub podbudowy nawierzchni woda opadowa zacznie zbierać się na powierzchni i spływać. Scenariuszowi temu można zapobiec, powiększając miąższość porowatej podbudowy (ryc. 2.15) – w tym celu należy wbudować w podbudowę dużych objętości żwiru lub kamienia, których porowatość stanowi jedynie około 30-40% objętości.



Ryc. 2.15. Koncepcja zwiększenia pojemności retencyjnej pod nawierzchniami przepuszczalnymi za pomocą koryta wypełnionego żwirem lub kamieniem [1]

13.2. Opis konstrukcji i działania

W celu zwiększenia pojemności retencyjnej można instalować pod nawierzchniami przepuszczalnymi zbiorniki retencyjne z funkcją infiltracji do gruntu. Na rynku dostępne są dedykowane konstrukcje z tworzyw sztucznych lub betonu, zespajające nawierzchnie wodoprzepuszczalne ze zbiornikami podziemnymi. Po wyczerpaniu pojemności retencyjnej pod nawierzchniami przepuszczalnymi nadmiar wód opadowych powinien przepływać do innych urządzeń retencyjnych i infiltracyjnych, takich jak studnie chłonne i skrzynki rozsączające. Podpowierzchniowe systemy kanałowe tworzące dłuższe odcinki powinny być dzielone na kilkumetrowe segmenty w celu rozdzielania gromadzonej wody na możliwie największej powierzchni i unikania koncentracji w jednym, najniższym miejscu.

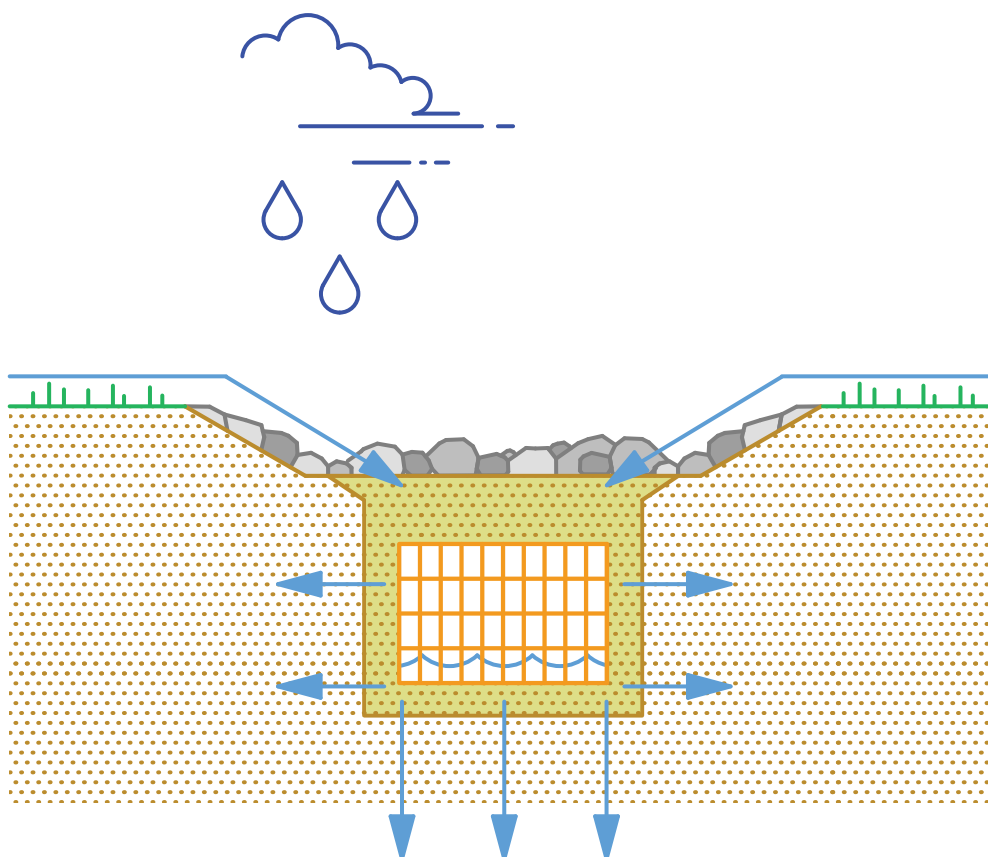
13.3. Warunki użytkowania

Woda zbierana pod nawierzchniami przepuszczalnymi jest częściowo oczyszczona z zawiesin w porowatym materiale przepuszczalnym. Stopień oczyszczenia wody opadowej zależy od rodzaju nawierzchni przepuszczalnej i może być bardzo różny. Im bowiem bardziej przepuszczalna jest nawierzchnia, tym mniejszy jest jej wpływ na zawartość zawiesin. Największą efektywność w usuwaniu zawiesin i innych zanieczyszczeń mają materiały drobnoziarniste, takie jak porowate materiały ceramiczne i betonowe. Najmniejszą efektywność w usuwaniu zanieczyszczeń mają szczeliny, geokraty i wypełnienia żwirowe.

14. SKRZYNKI ROZSĄCZAJĄCE

14.1. Cel i zakres stosowania

W sytuacji gdy na powierzchni terenu nie możemy pozostawić otwartych urządzeń drenażowo-rozsączających (rowu lub niecki infiltracyjnej), przestrzeń wykopu można wypełnić skrzynkami rozsączającymi, zapewniając infiltrację wody do gruntu rodzimego przez dno i ściany (ryc. 2.16). W wypadku niekorzystnych warunków gruntowo-wodnych skrzynki mogą być wykorzystane do budowy zbiorników retencyjnych.



Ryc. 2.16. Przekrój poprzeczny przez system rozsączania z użyciem skrzynek

14.2. Opis konstrukcji i działania

Skrzynki są to gotowe, ażurowe struktury, których szkielet wykonany jest najczęściej z PE lub PP. Pojedyncza skrzynka rozsączająca ma niewielkie wymiary (GEOdek typ A 0,6 x 0,3 x 1,2 m; Wavin Aquacell 0,6 x 0,4 x 1,2 m [30]) o pojemności od 0,2 do 0,3 m³). Z modułów podstawowych (pojedyncze skrzynki) mogą być tworzone konstrukcje przestrzenne. Skrzynki można łączyć szeregowo, równolegle lub w układy warstwowe.

Jeżeli uszczelnimy boki i dno konstrukcji warstwą nieprzepuszczalną (folia, geomembrana), zbiornik będzie pełnił funkcje wyłącznie retencyjne. O takim wyborze mogą zdecydować wysoki poziom wody gruntowej lub duża miąższość gruntów nieprzepuszczalnych. W przypadku korzystnych warunków gruntowo-wodnych zbiornik może pełnić funkcje retencyjno-rozsączające. Według DWA-A 138 [6] jako warunki korzystne można przyjąć grunty przepuszczalne o współczynniku filtracji w granicach $5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} < k_f < 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$. W obu przypadkach montaż zbiornika skrzynkowego nie wymaga ciężkiego sprzętu, konstrukcja może być wykonana etapami. Zbiorniki są gotowe do pracy bezpośrednio po ich wykonaniu.

Skrzynki rozsączające układa się w wykopie, którego dno powinno być płaskie i równe, bez ostrych i twardych elementów. Wymiary wykopu zależą od wymiarów zbiornika, ale zawsze należy pamiętać o wykonaniu posypki. Dla zbiorników retencyjnych powinna być to podsypka o minimalnej miąższości 15–20 cm, wykonana z piasku. Dla zbiorników retencyjno-rozsączających zalecana jest podsypka z gruntów dobrze przepuszczalnych, o miąższości do 40 cm. Dodatkowo stosuje się geowłókninę, którą układa się na podsypce oraz na ścianach bocznych i ścianie górnej systemu. Geowłóknina ma zabezpieczać warstwę filtracyjną otaczającą skrzynki (podsypka) przed zamulaniem i kolmatacją. W przypadku zbiorników retencyjnych stosowanie geowłókniny ma na celu ochronę warstwy izolacyjnej: geomembrany, folii itp. Wadą tego rodzaju rozwiązań jest wprowadzanie dużej masy plastiku do środowiska.

Metoda obliczeniowa: zawarta w Wytycznych Aquanet Retencja pn [„Projektowanie, wykonawstwo zagospodarowania wód opadowych i roztopowych za pomocą błękitno-zielonej infrastruktury \(BZI\) oraz sieci i przyłączy kanalizacji deszczowej – wymagania ogólne”](#).

14.3. Warunki użytkowania

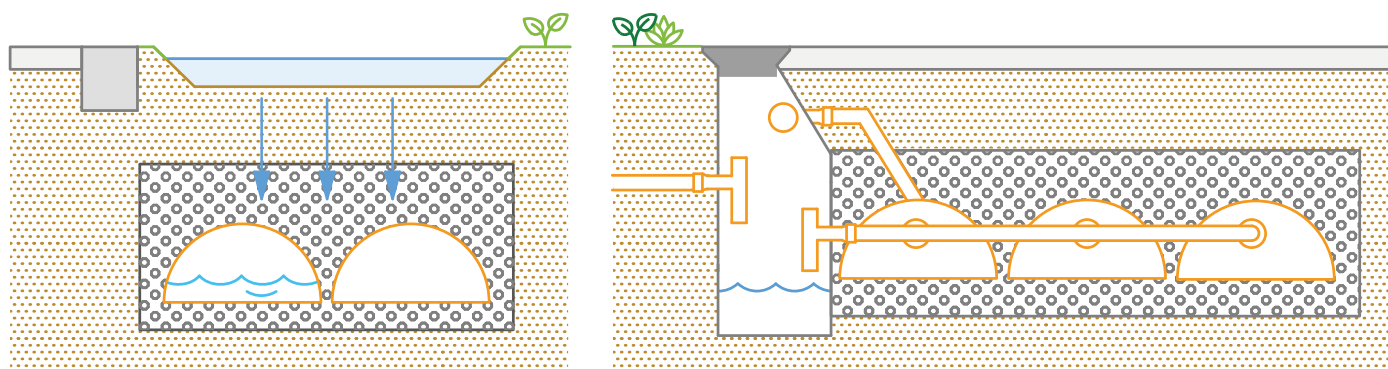
Oprócz warunków gruntowo-wodnych o wyborze rozwiązania: zbiornik retencyjny czy retencyjno-rozsączający mogą zdecydować również: obecność i przepustowość kanalizacji deszczowej oraz zapisy planu zagospodarowania przestrzennego. W przypadku wyboru systemu rozsączającego należy pamiętać o minimalnych odległościach od budynków i infrastruktury technicznej. Bezpieczne odległości zależą w dużym stopniu od wodoprzepuszczalności gruntu i kierunku przepływu wód gruntowych. Konstrukcje z wykorzystaniem skrzynek rozsączających przeznaczone są do użycia w obszarach o ekstensywnej zabudowie, poza strefami ruchu kołowego. Mogą one wspomóc odwodnienia parkingów.

Niektóre systemy skrzynek rozsączających umożliwiają monitoring wnętrza i okresowe czyszczenie wnętrza podziemnych instalacji.

15. KOMORY DRENAŻOWE

15.1. Cel i zakres stosowania

Komory drenażowe charakteryzują dużą podziemną pojemnością retencyjną i możliwość rozsączenia wody opadowej do gruntu, nawet słabo przepuszczalnego, takiego jak piasek gliniasty. Pojemność retencyjną komór tworzą łupiny z tworzyw sztucznych (ryc. 2.17) wraz z obsypką żwirową lub kamienną i jest ona większa niż przy wypełnieniach kamiennych, stosowanych np. w rowach infiltracyjnych. Komory można stosować pod powierzchniami przeznaczonymi do ruchu pojazdów (takimi jak drogi, parkingi, drogi rowerowe) oraz pod chodnikami i urządzeniami przeznaczonymi do powierzchniowego rozsączenia wód opadowych do gruntu (niecki, rowy infiltracyjne itp.). Dopływ do komór drenażowych powinien uwzględniać urządzenie do oczyszczania wód opadowych z zawieszin i substancji ropopochodnych np. w separatorach lub powierzchniach przepuszczalnych, takich jak filtry gruntowe. Woda gromadzona w komorach drenażowych infiltruje do podsypki i obsypki przez otwarte dno komór oraz ściany boczne, a następnie zasila grunt rodzimy. Znane są też rozwiązania bez podsypki i specjalnej obsypki, jednak wówczas należy przykryć komorę geowłókniną przed zasypaniem gruntem.



Ryc. 2.17. Przykład komór drenażowych zasilanych przez infiltrację przez dno rowu oraz spływ z jezdni poprzez separatory zawieszin [38]

15.2. Opis konstrukcji i działania

Komory drenażowe o łukowym przekroju poprzecznym oparte są podstawą na warstwie zagęszczonego przepuszczalnego kruszywa, które przekazuje obciążenie na grunt rodzimy. Zwiększenie sztywności komór uzyskuje się dzięki żebrowaniu i warstwowaniu ścianek. Nośność komór drenażowych jest wystarczająca do przenoszenia nacisków nawet od samochodów ciężarowych. Modułowa konstrukcja komór umożliwia stosowanie dowolnie długich ciągów, jednak należy przy tym zapewnić poziomą podbudowę. Nachylenie podbudowy lub komór będzie powodować spływ wody i jej akumulację w obniżeniach, a przeciążenie hydrauliczne przyspieszy kolmatację gruntu i ograniczy wodochłonność.

Obsypka komór powinna być zabezpieczona geowłókniną przed przenikaniem do niej gruntu podłoża. W skład obsypki mogą wchodzić żwir lub kruszywa łamane, bez części pylastej. Komory drenażowe mogą stanowić zbiorniki

na wodę użytkową; wtedy oprócz geowłókniny stosuje się folię izolacyjną i dodatkowy materiał zabezpieczający przed jej przebiciem. Zastosowanie separatorów i filtracji na doływie do komór jest ważniejsze niż zapewnienie swobodnego dostępu do tuneli przez studzienki rewizyjne. Zakolmatowany zawieszinami i substancjami ropopochodnymi grunt rodzimy traci zdolności infiltracyjne, których nie można odbudować przez czyszczenie jedynie cienkiej warstwy podbudowy.

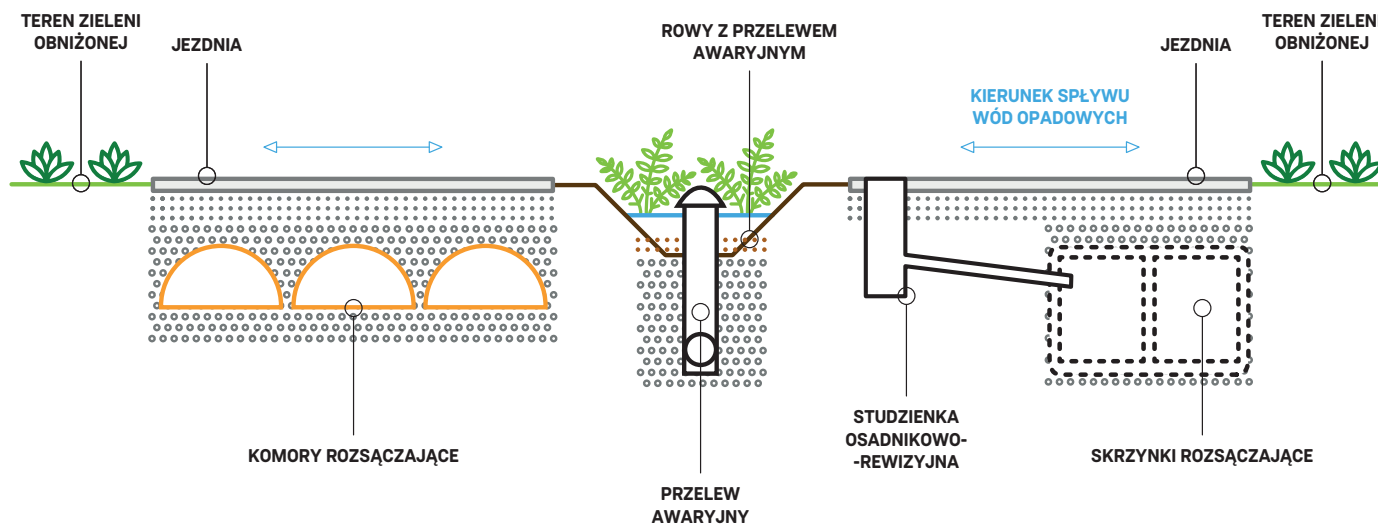
Obliczenie pojemności retencyjnej wymaga rozpoznania warunków wodochłonności gruntu w testach polowych oraz określenia wielkości opadu deszczu, tj. jego intensywności przy danym czasie trwania. Podstawą wymiarowania jest bilans objętości wody.

Metoda obliczeniowa: zawarta w Wytycznych Aquanet Retencja pn [„Projektowanie, wykonawstwo zagospodarowania wód opadowych i roztopowych za pomocą błękitno-zielonej infrastruktury \(BZI\) oraz sieci i przyłączy kanalizacji deszczowej – wymagania ogólne”](#).

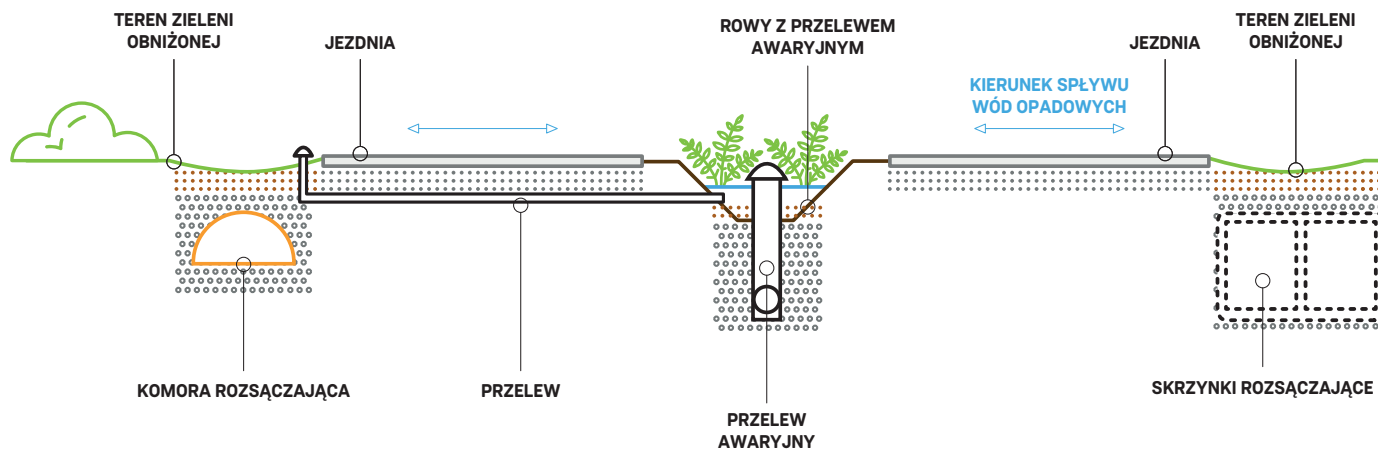
15.3. Warunki użytkowania

Komory drenażowe powinny być zasilane wodą opadową pozbawioną zawieszin i zanieczyszczeń w urządzeniach podczyszczających wody opadowe. Dostęp do wnętrza komór drenażowych jest w okresie eksploatacji możliwy, ale utrudniony. W szczególności nie jest możliwe usunięcie drobnych zawieszin, które zebrały się w warstwie infiltracyjnej i ograniczają chłonność podłoża. Osadniki i urządzenia filtracyjne używane do wstępnego oczyszczania wód przed ich wprowadzeniem do komór drenażowych należy czyścić z osadów i zawieszin, a w filtrach gruntowych i gruntowo-roślinnych okresowo wymieniać zakolmatowaną warstwę filtracyjną. Dotyczy to również powierzchni infiltracyjnych ułożonych nad komorami drenażowymi (np. w postaci niecek lub rowów infiltracyjnych).

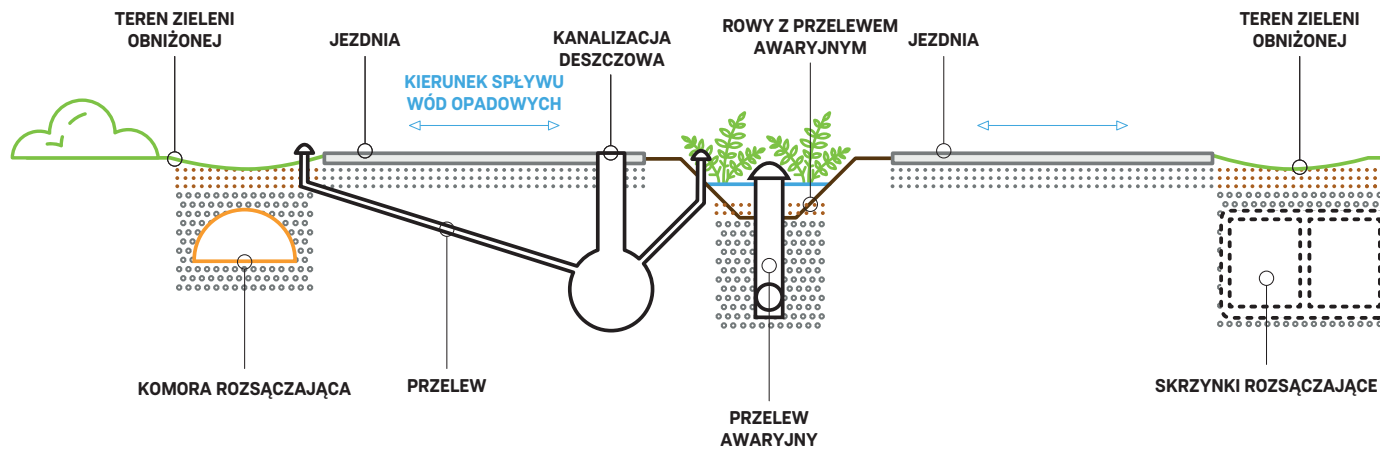
III. KATALOG DRÓG



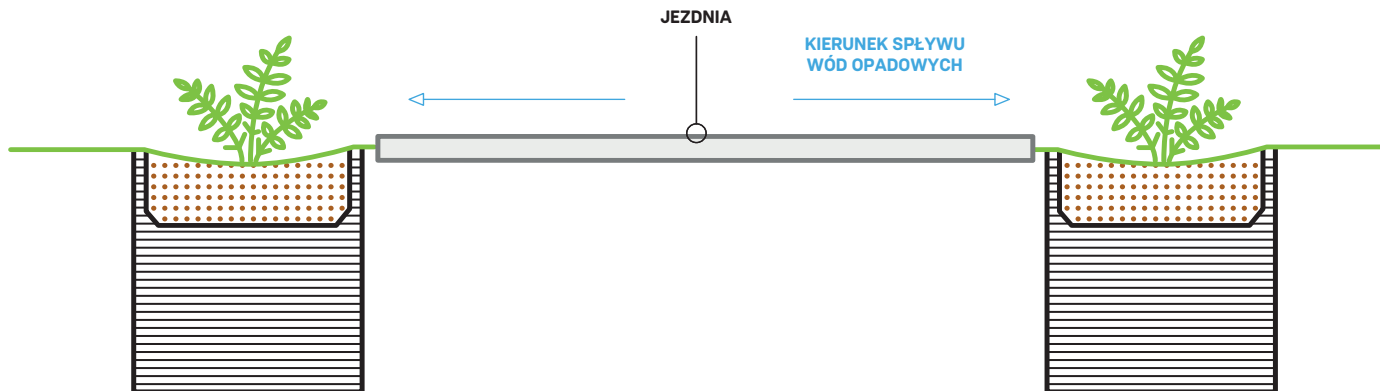
3.1. Droga dwujezdniowa bez dostępu do kanalizacji deszczowej - wariant I



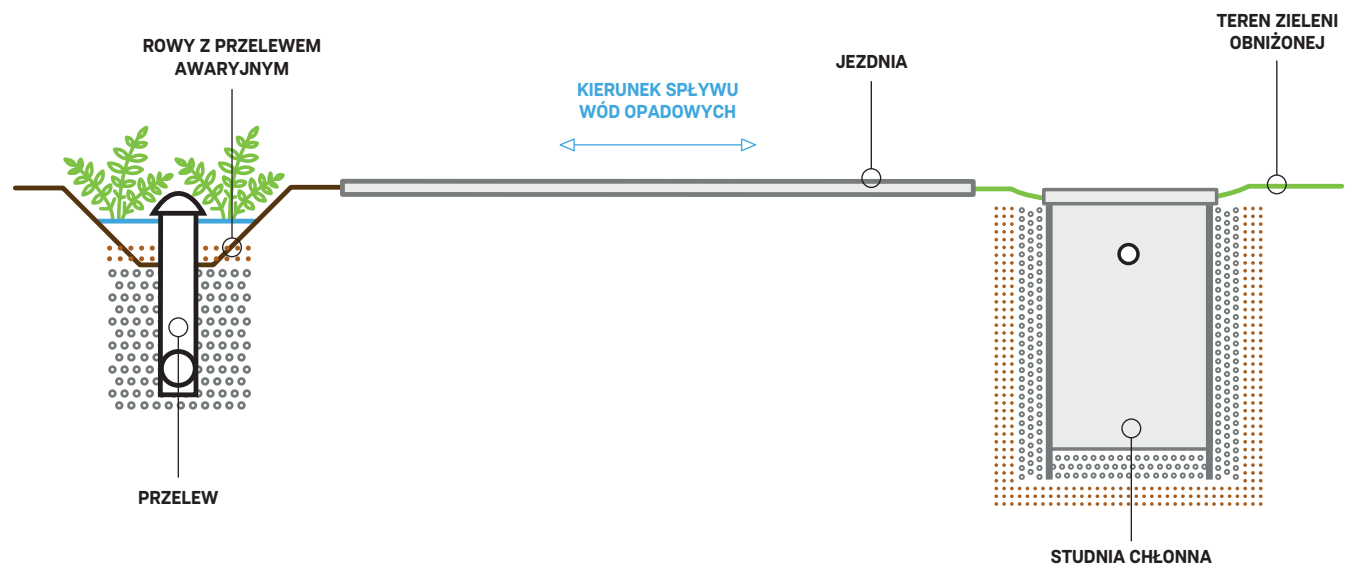
3.2. Droga dwujezdniowa bez dostępu do kanalizacji deszczowej - wariant II



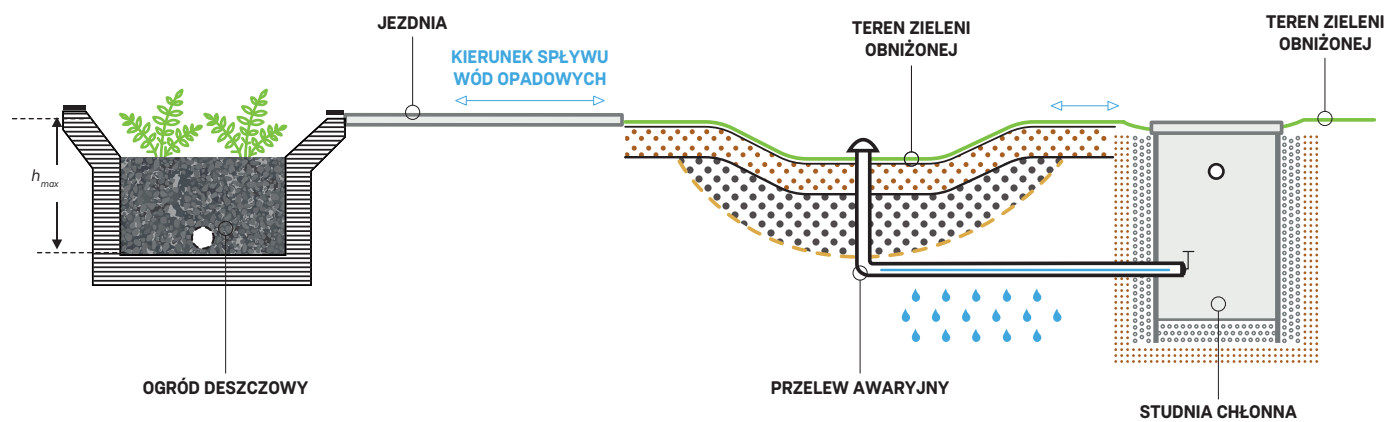
3.3. Droga dwujezdniowa z dostępem do kanalizacji deszczowej



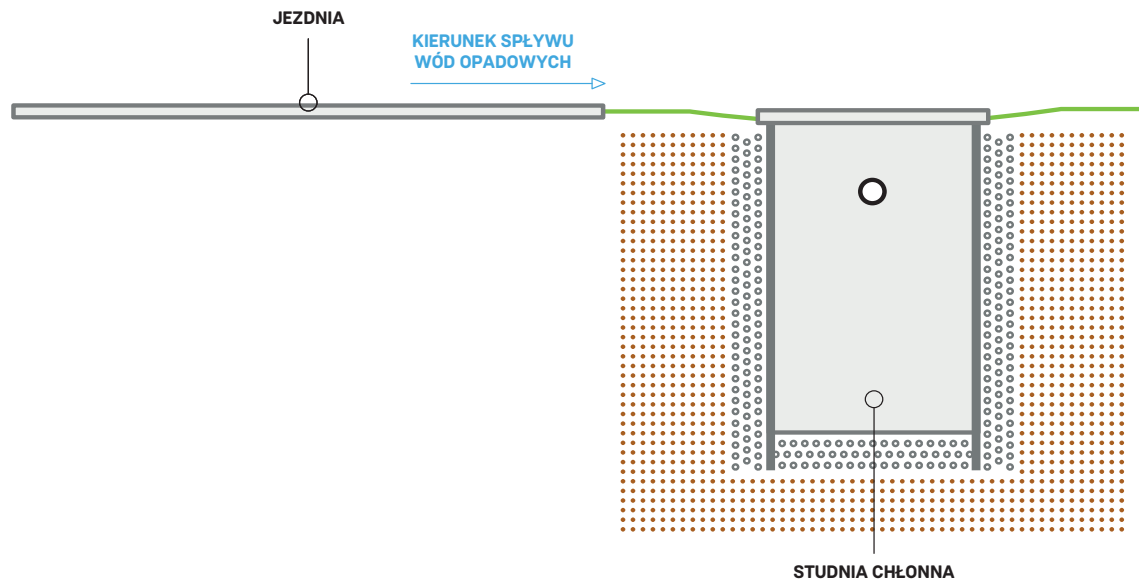
3.4. Droga bez dostępu do kanalizacji deszczowej - wariant I



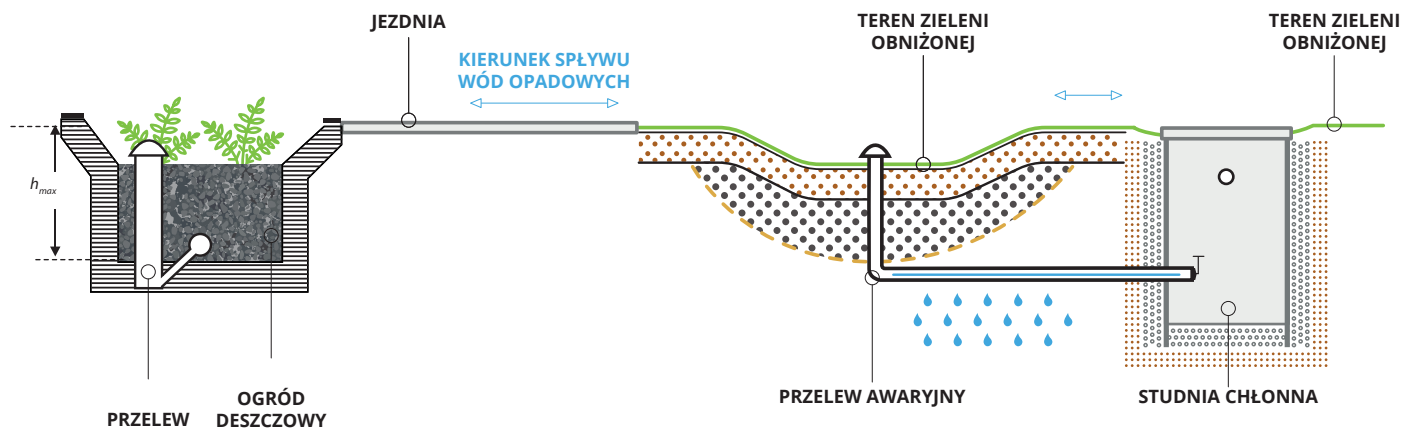
3.5. Droga bez dostępu do kanalizacji deszczowej - wariant II



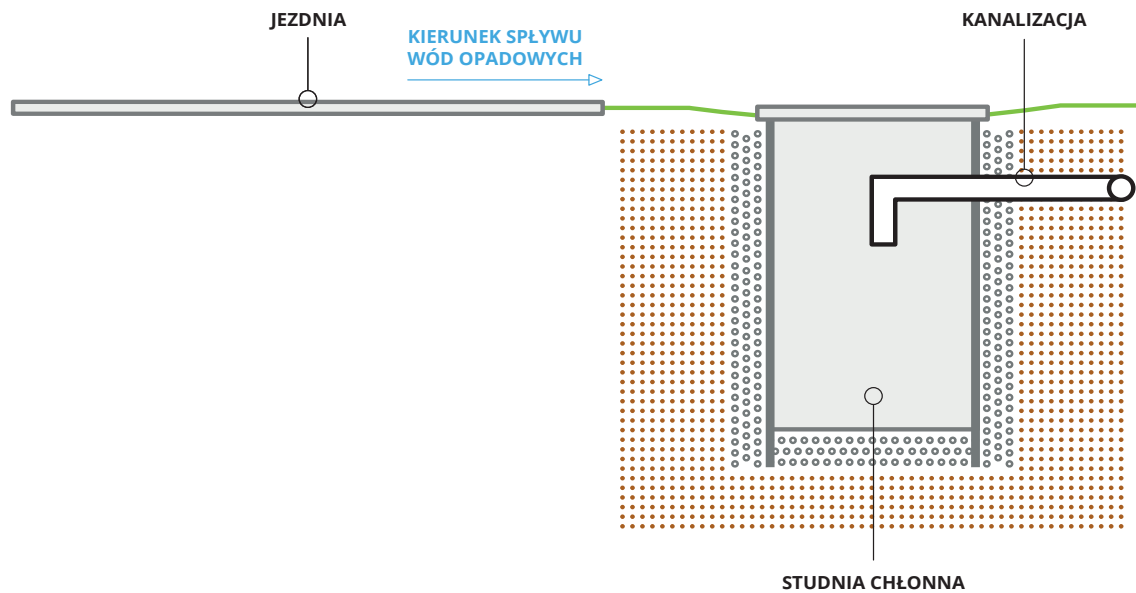
3.6. Droga bez dostępu do kanalizacji deszczowej - wariant III



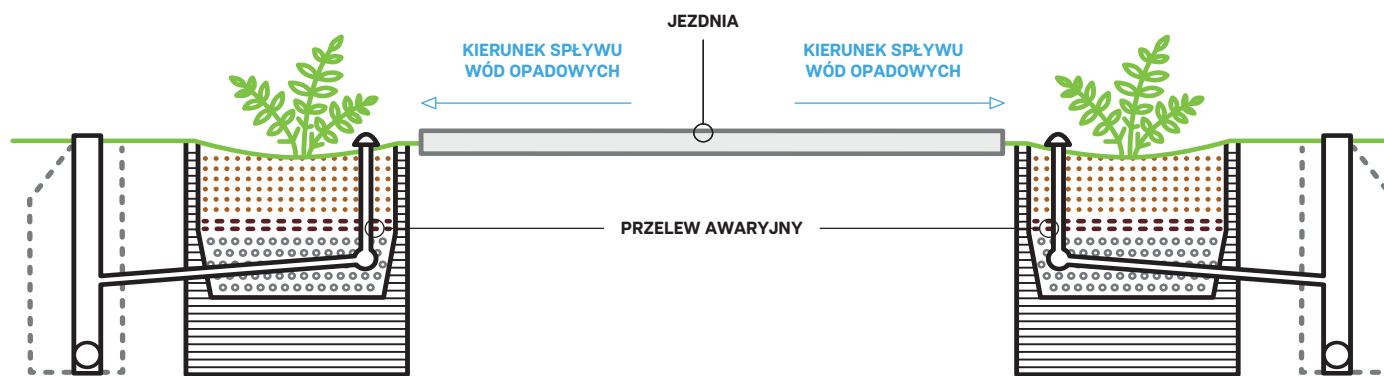
3.7. Droga bez dostępu do kanalizacji deszczowej - wariant IV



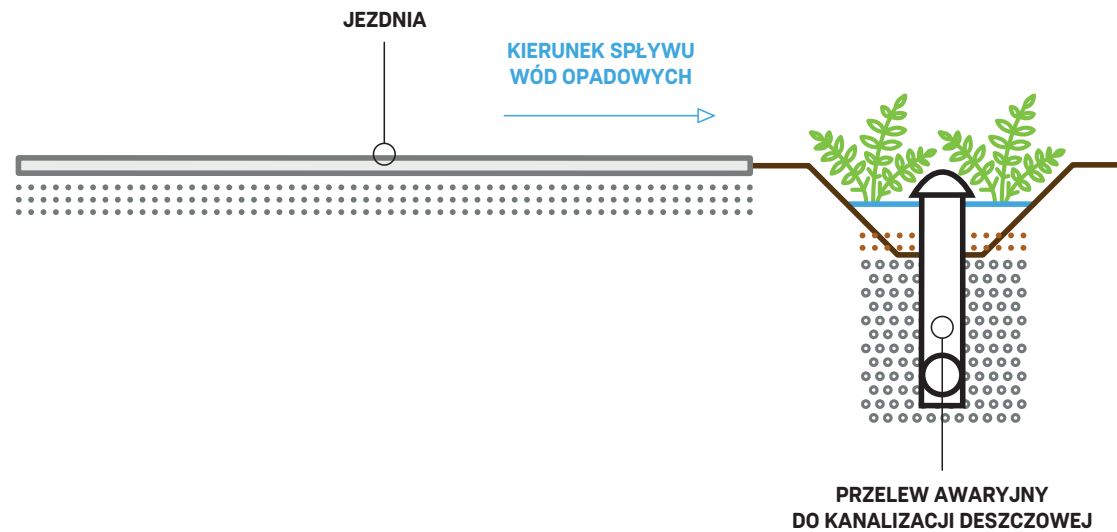
3.8. Droga bez dostępu do kanalizacji deszczowej - wariant V



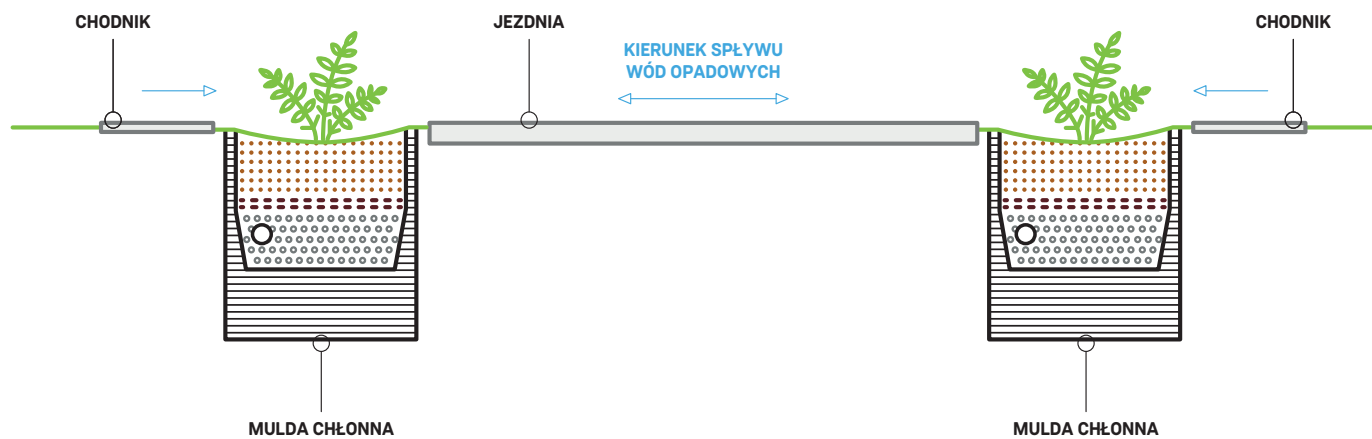
3.9. Droga z dostępem do kanalizacji deszczowej - wariant I



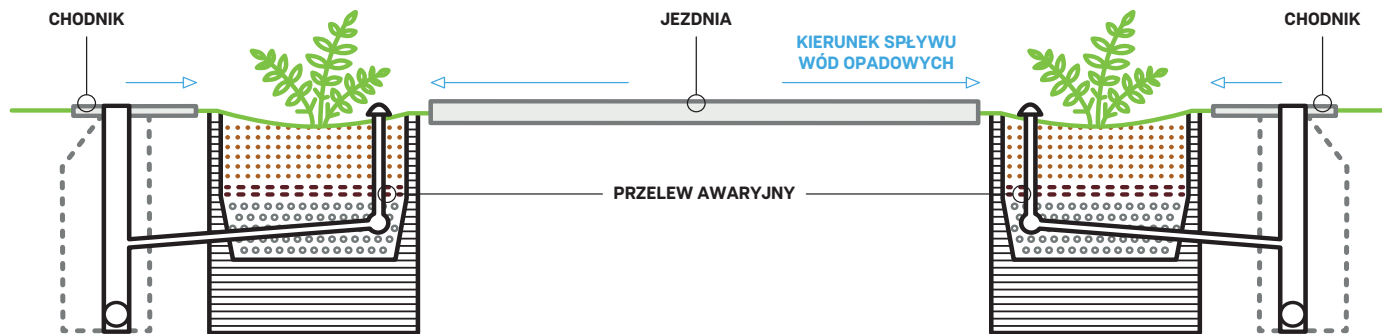
3.10. Droga z dostępem do kanalizacji deszczowej - wariant II



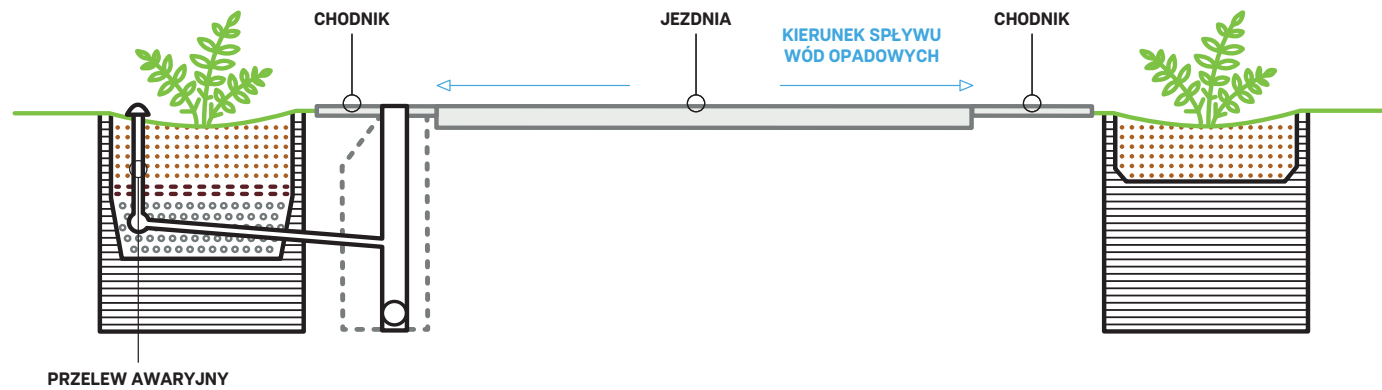
3.11. Ulica z dostępem do kanalizacji deszczowej – wariant III



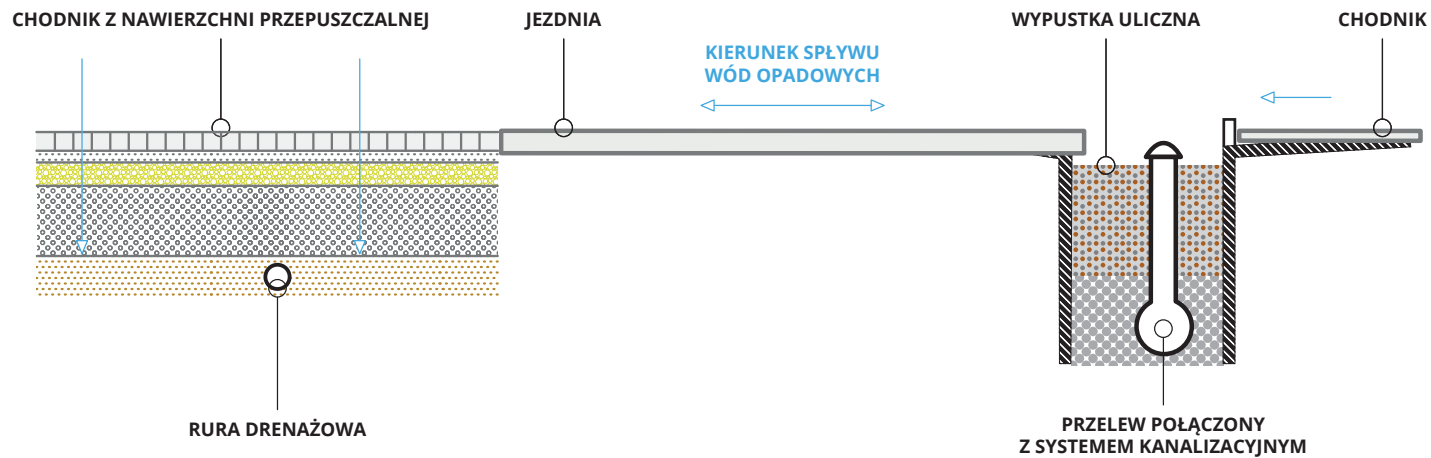
3.12. Droga z chodnikiem bez dostępu do kanalizacji deszczowej



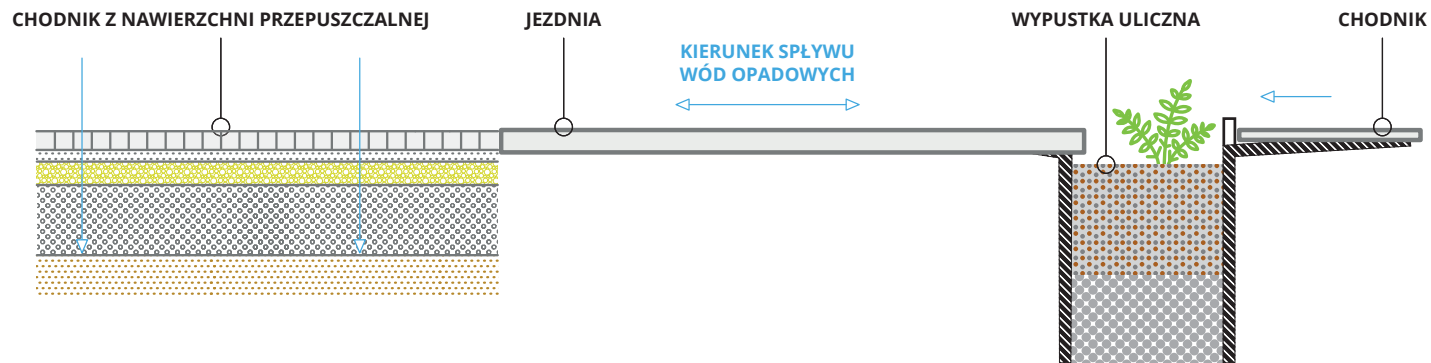
3.13. Droga z chodnikiem oraz dostępem do kanalizacji deszczowej – wariant I



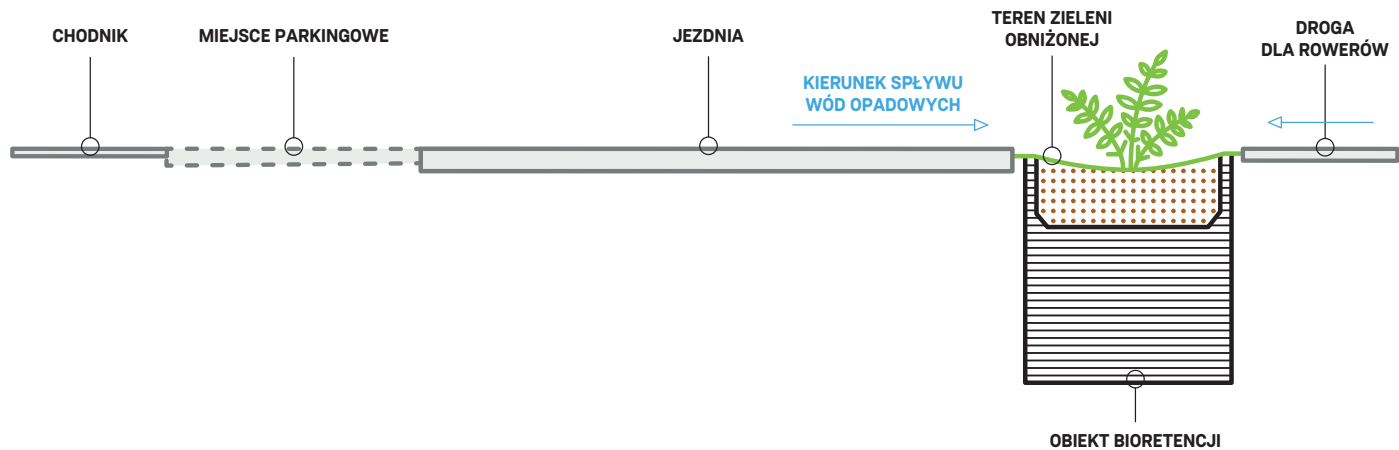
3.14. Droga z chodnikiem oraz dostępem do kanalizacji deszczowej – wariant II



3.15. Droga z chodnikiem z nawierzchni przepuszczalnej oraz dostępem do kanalizacji deszczowej



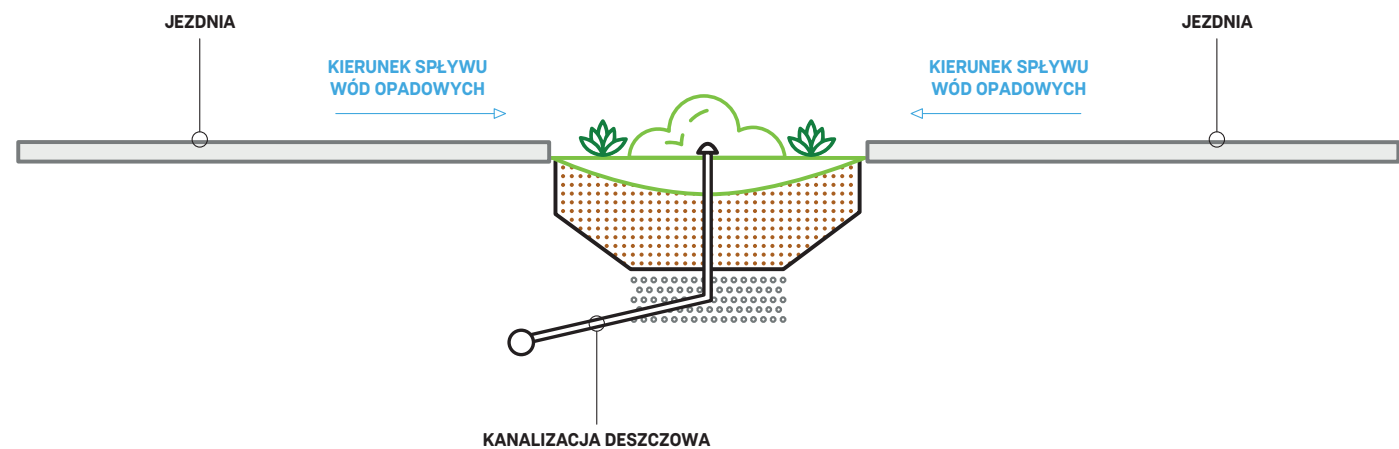
3.16. Droga z chodnikiem z nawierzchni przepuszczalnej bez dostępu do kanalizacji deszczowej



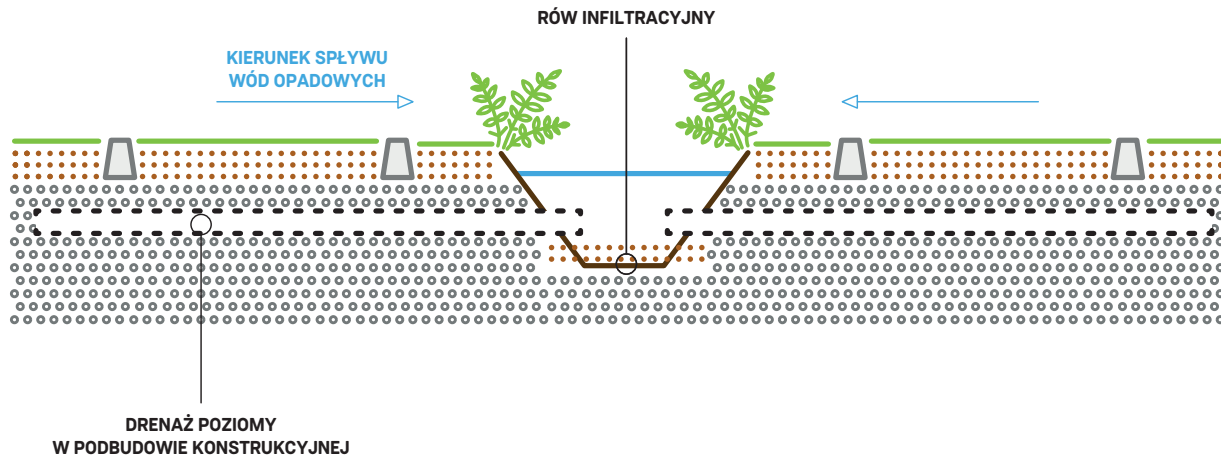
3.17. Droga z miejscami postojowymi bez dostępu do kanalizacji deszczowej



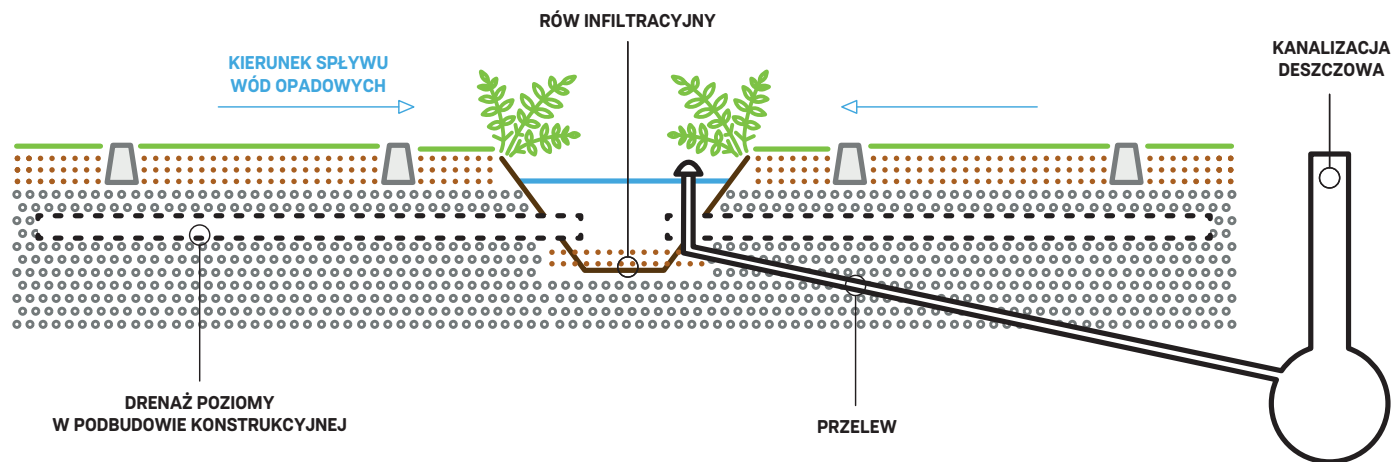
3.18. Rondo bez dostępu do sieci kanalizacji deszczowej



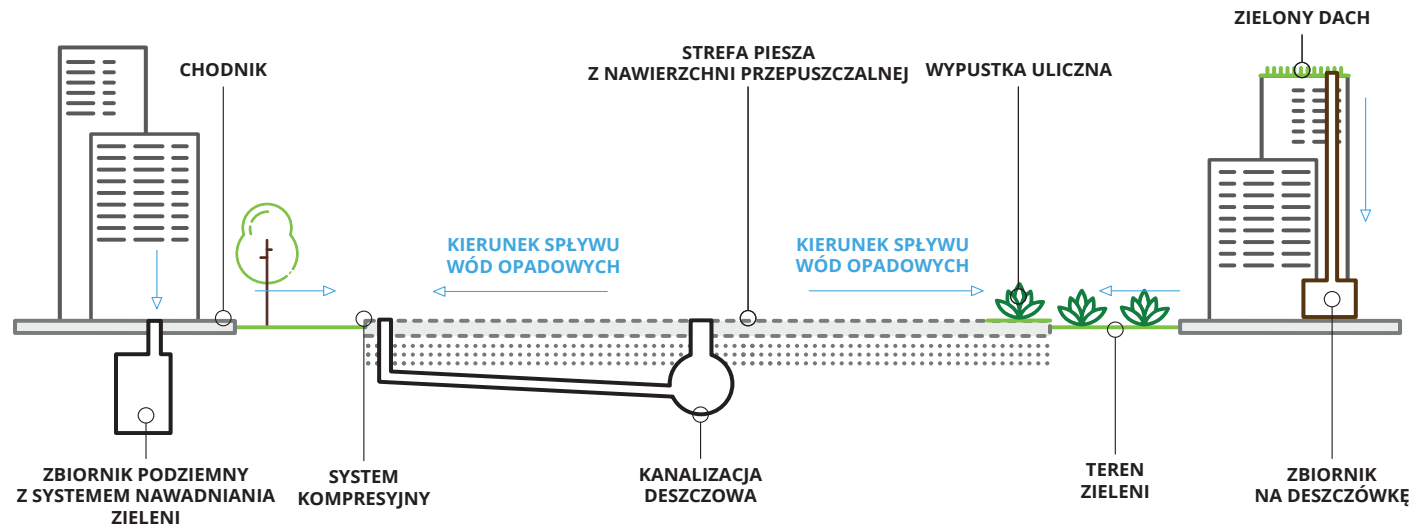
3.19. Rondo z dostępem do sieci kanalizacji deszczowej



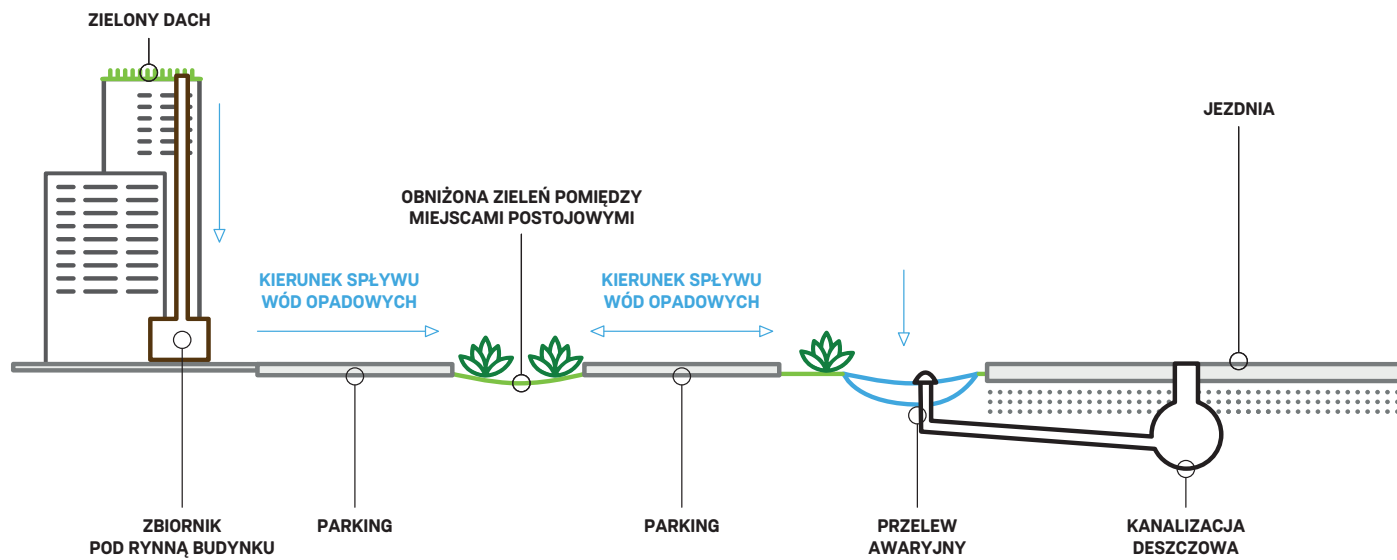
3.20. Torowisko z matą rozchodnikową bez dostępu do kanalizacji deszczowej



3.21. Torowisko z matą rozchodnikową oraz dostępem do kanalizacji deszczowej



3.22. System retencyjny na placu



3.23. System retencyjny na parkingu

1. Abu-Zreig, M., Rudra, R.P., Whiteley, H.R., Lalonde, M.N. and Kaushik N.K. (2003). *Phosphorus removal in vegetated filter strips*. „Journal of Environmental Quality”, Vol. 32, No. 2, s. 613-619.
2. Adamowski, D., Zalewski, J., Paluch, P. Glixelli, T. (2017). *Katalog zielono-niebieskiej infrastruktury. Cz. II: Wytyczne i rozwiązania*. Bydgoszcz: MPWiK.
3. Aryal, R., Vigneswaran, S., Kandasamy, J., Naidu, R. (2010). *Urban stormwater quality and treatment*. „Korean J. Chem. Eng.”, 27(5), s. 1343-1359.
4. Błaszczyk, W., Stamatello, H., Błaszczyk, P. (1983). *Kanalizacja. T. 1: Sieci i pompownie*. Warszawa: Wyd. Arkady.
5. Błażejowski, R. (1996). *Hydrobotaniczne oczyszczalnie ścieków. Przegląd systemów i zasad ich projektowania*. W: *Oczyszczalnie hydrobotaniczne – II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna*. Poznań, s. 25-32.
6. Błażejowski, R. (red.) (2022). *Zagospodarowanie wód opadowych na terenach zurbanizowanych. Poradnik*. Poznań: PZITS Oddz. Wlkp. i WOIB.
7. Burszta-Adamiak, E., Łomotowski, J. (2006). *Odrowadzanie wód opadowych na terenach o rozproszonej zabudowie*. „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich”, 3/1, s. 141-153.
8. Collins, K.A., Hunt, W.F., Hathaway, J.M. (2008). *Hydrologic comparison of four types of permeable pavement and standard asphalt in Eastern NC*. „J. of Hydrol. Eng.”, 13(12), s. 1146-1157.
9. DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall). (2005). *Standard DWA-A 138E. Planning, Construction and Operation of Facilities for the Percolation of Precipitation Water*. Hefen: German Association for Water, Wastewater and Waste.
10. French, H.F. (2007). *Farm Drainage*. Dostęp: 18.10.2022r. <https://www.gutenberg.org/ebooks/23435>
11. Gharabaghi, B., Rudra, R.P., Whiteley, H.R. and Dickinson W.T. (2000). *Sediment-removal efficiency of vegetative filter strips. 2000 Annual Research Report*, prepared by the Guelph Turfgrass Institute, Guelph, ON, Canada.
12. Goel, P.K., Rudra, R.P., Gharabaghi, B. Das, S. and Gupta N. (2004). *Pollutants Removal by Vegetated Filter Strips Planted with Different Grasses. Presentation at the 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting Sponsored by ASAE/CSAE*. Paper Number 042177. Fairmont Chateau Laurier. The Westin, Government Centre, Ottawa, Ontario, Canada. 1-4 August 2004.
13. Gudelis-Taraszkiewicz, K. (2012) *Drenaż francuski szansą na skuteczne odwodnienie drogi?*. „Drogi Gm. i Powiatowe”, 1 (1), s. 47-49.
14. Gudelis-Taraszkiewicz, K., Suligowski Z. (2008). *Alternatywne zagospodarowanie wód opadowych. Vademecum dla przedsiębiorców*. Dostęp: 06.10.2022 r. http://pl.tuzal.pl/upload/pliki/873124_1232143274.pdf
15. Emmons, B.H., Olivier, C. (2006). *Inver Grove Heights Stormwater Manual*. Prepared by Emmons & Olivier Resources, Inc. Oakdale, MN.
16. Iwaszuk, E., Rudik, G., Duin, L., Mederake, L., Davis, McK., Naumann, S., Wagner, I. (2019). *Błękitno-zielona infrastruktura dla łagodzenia zmian klimatu – katalog techniczny*. Kraków: Fundacja Sendzimira.
17. Januchta-Szostak, A. (2020). *Błękitno-zielona infrastruktura jako narzędzie adaptacji miast do zmian klimatu i zagospodarowania wód opadowych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Architektura, Urbanistyka, Architektura Wnętrz”, nr 3, s. 37-74.
18. Karnowski, J.M. (2018). *Uproszczona metoda obliczania pojemności zbiornika retencyjnego w miejskiej kanalizacji ogólnospławnej i deszczowej*. Poznań: PZITS Oddz. Wlkp.
19. *Katalog dobrych praktyk. Cz. II: Zasady zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na obszarze zabudowanym*. (2021). Dostęp: 20.10.2022 r. https://www.wroclaw.pl/zielony-wroclaw/files/dokumenty/41756/zlap-deszcz-katalog-dobrych-praktyk-cz2_compressed.pdf.
20. Królikowski, A., Tuz, P.K. (1999). *Ocena stanu czystości wód małych rzek będących odbiornikami ścieków opadowych z terenu zurbanizowanego*. IV Kongres Kanalizatorów Polskich – POLKAN 99'. Łódź, s. 269-281
21. Królikowska, J., Królikowski, A. (2012). *Wody opadowe. Odrowadzanie, zagospodarowanie, podczyszczanie i wykorzystanie*. Warszawa: Wyd. Seidel-Przywecki.
22. Lejcuś, K., Burszta-Adamiak, E., Dąbrowska, J., Wróblewska, K., Orzeszyna, H., Śpitalniak, M., Misiewicz, J. (2017). *Katalog dobrych praktyk – zasady zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi pochodzącymi z nawierzchni pasów drogowych*. Wrocław.
23. LSS. (2022). *Pervious Pavement*. Lake Superior Streams. Duluth.
24. Mah, D.Y.S., Ho, T.Y. (2017). *Alternative use of roundabout as storm water detention pond*. Journal of Civil Engineering, „Science and Technology”, Vol. 8, Issue 1, s. 15-23 .
25. Mrowiec, M. (2020). *Retencja wód opadowych w obszarach zurbanizowanych*. Częstochowa: Wyd. P. Cz.
26. New Jersey Department of Environmental Protection. (2014). *Chapter 9.10 Standard for Vegetative Filters. New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual*. Prepared by the New Jersey Department of Environmental Protection, Division of Watershed Management, Trenton, NJ.
27. Ociepa, E. (2011). *Ocena zanieczyszczenia ścieków deszczowych trafiających do systemów kanalizacyjnych*, „Inżynieria i Ochrona Środowiska”, t. 14, nr 4, s. 357-364.
28. *Overview for pretreatment vegetated filter strip*. Dostęp: 28.09.2022 r. https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Overview_for_pretreatment_vegetated_filter_strips.

29. Priari, G. (2018). *Promoting the use of public areas for sustainable stormwater management in cities with Mediterranean climate*. „Proceedings”, 2, 632. Dostęp: 04.10.2022 r. <https://doi.org/10.3390/proceedings2110632>.
30. Rewatec Premier Tech Aqua. (2022). *Wykorzystanie wody deszczowej. Katalog produktów*. Dostęp: 14.10.2022. <https://www.rewatec.de/kataloge/>.
31. Roman, M. (red. 1972) *Oczyszczanie ścieków miejskich.*, Warszawa: Wyd. Arkady.
32. Pawlak, M. (2021). *Zbieranie i oczyszczanie wód opadowych*. W: Błażejowski, R. *Zagospodarowanie wód opadowych na terenach zurbanizowanych*. Poradnik. Poznań: PZITS Oddz. Wlkp., WOIB.
33. Sakson, G., Zawilski, M., Badowska, E., Brzezińska, A. (2014). *Zanieczyszczenie ścieków opadowych jako podstawa wyboru sposobu ich zagospodarowania*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, t. XXXI, z. 61 (3/1/14), s. 253-264.
34. Sawicka-Siarkiewicz, H. (2004). *Ograniczanie zanieczyszczeń w spływach powierzchniowych z dróg. Ocena technologii i zasady wyboru*. Warszawa: Wyd. IOŚ.
35. Siedlecka, M., Suchocka, M. (2017). *Wodoprzepuszczalne nawierzchnie a zrównoważony rozwój terenów miejskich*. *Drognictwo*, 2, s. 60-67
36. Sofijanic, A., Hulley, M., Loock, D., Filion, Y. (2021). *Stormwater quality assessment and management for the town of Jasper in Alberta*. „Canada Water Quality Research Journal”, 56.1, s. 45-56.
37. Suchanek, E., Murowaniec, M., (2015). *Zastosowanie metody wymiarowania niecek infiltracyjno-retencyjnych do zagospodarowania wód opadowych*. „Inżynieria Ekologiczna”, Vol. 41, 2015, s. 160-165.
38. Szopińska, E., Rubaszek, J., Gizowska, A. (2019). *Standardy planowania i zagospodarowania ulic z uwzględnieniem zielono-niebieskiej infrastruktury*. Wrocław.
39. Virginia Department of Ecology. (1999). *Virginia Stormwater Management Handbook*, First Edition. Volumes 1 and 2. Prepared by the Virginia Department of Conservation and Recreation, Division of Soil and Water Conservation, Richmond, VA.
40. Wałęga, A., Radecki-Palik, A., Kaczor, G. (2013). *Naturalne sposoby zagospodarowania wód opadowych*. Kraków: Uniwersytet Rolniczy w Krakowie.
41. Wavin. (2022). *Retencja i rozsączanie - Wavin Aquacell skrzynki retencyjno-rozsączające*. Dostęp: dd.10.2022. <https://www.wavin.com/pl-pl/katalogty/woda-deszczowa-i-drenaz/retencja-i-rozsaczanie/retencja-i-rozsaczanie-wavin-aquacell-skrzynki-retencyjno-rozsaczajace>.
42. Wisconsin Department of Natural Resources. (2014). *Bioretention for Infiltration*. Technical Note 1004.
43. WT-2 Wymagania Techniczne. *Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych 2016 - część II*. Wykonanie warstw nawierzchni asfaltowych załącznik do Zarządzenia Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 18.11.2014 r.
44. Aquanet Retencja. (2022). *Wytyczne zagospodarowania wód opadowych dla zabudowy wielorodzinnej oraz śródmiejskiej. Cz. II*. Poznań.
45. <https://www.kws.nl/> (dostęp: 10.10.2022 r.)
46. <http://www.ekobudex.pl/zagospodarowanie-wody-deszczowej/produkty/komory-drenazowe-tunele/> (dostęp: 03.10.2022 r.)
47. <http://www.lakesuperiorstreams.org/stormwater/toolkit/paving.html> (dostęp: 11.10.2022 r.)
48. <https://greenfond.eu/wp-content/uploads/2022/03/MATY-ROZCHODNIKOWE.pdf> (dostęp: 11.10.2022 r.)
49. <https://oksydan.pl/produkty/zagospodarowanie-wod-deszczowych/komory-rozsaczajace/> (dostęp: 13.10.2022 r.)
50. <https://separator.pl/wp-content/uploads/2017/02/CharakterystykaScieko%CC%81wDeszczowych.pdf> (dostęp: 10.10.2022 r.)
51. https://uml.lodz.pl/files/bip/public/KS_2020/deszczowka_przewodnik_dla_mieszkanow.pdf (dostęp: 08.10.2022 r.)
52. <https://urbanwater.melbourne.vic.gov.au/industry/blue-green-infrastructure-design-typologies-for-streetscapes/typology-4-large-outstand-raingarden> (dostęp: 06.10.2022 r.)

STYCZEŃ 2023 R.

ZESPÓŁ AUTORSKI:

prof. UPP dr hab. inż. Tomasz Kałuża

prof. dr hab. inż. Ryszard Błażejowski

prof. UPP dr hab. inż. Marcin Spychała

dr hab. inż. Paweł Zawadzki

dr hab. inż. Jakub Nieć

dr inż. Maciej Pawlak

dr inż. Radosław Matz



dr Anna Nieć
Radca prawny

mgr inż. Marcin Brzostowski
MBM PROJEKT