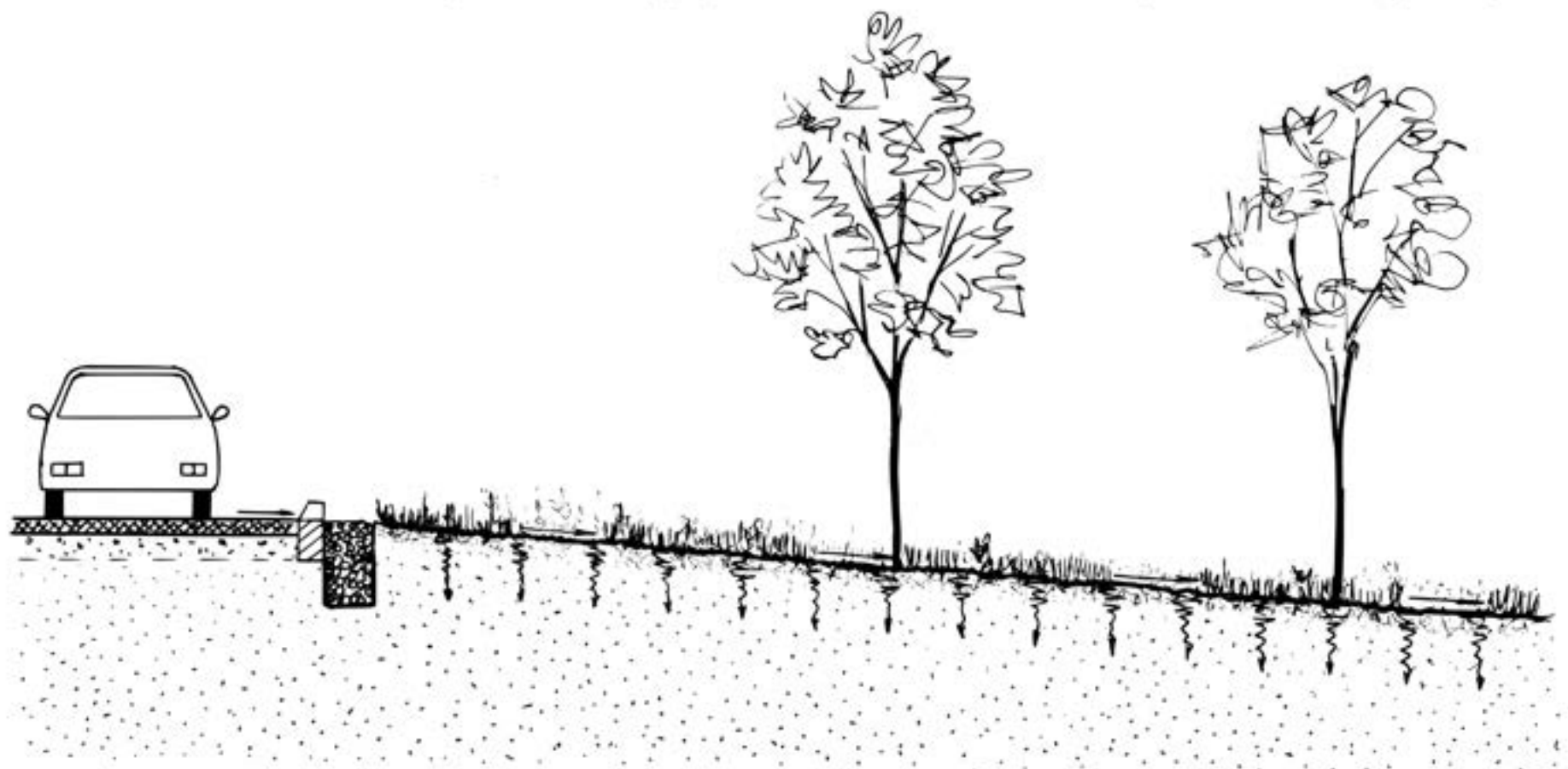


KATALOG DOBRYCH PRAKTYK

ZASADY
ZRÓWNOWAŻONEGO
GOSPODAROWANIA

WODAMI OPADOWYMI

pochodzącymi z nawierzchni pasów drogowych



WROCŁAW 2021

Zlecniodawca:



Opracowanie wykonano na zamówienie Gminy Wrocław.

Pełna nazwa katalogu:

Katalog dobrych praktyk – zasady zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi pochodzącymi z nawierzchni pasów drogowych

Komórka zlecająca:



ul. W. Bogusławskiego 8,10;
50-031 Wrocław
tel. +48 71 777 86 88, faks +48 71 777 86 00
e-mail: wwe@um.wroc.pl

Wydanie drugie, uzupełnione i poprawione.

Redakcja i korekta tekstu:
mgr inż. Andrzej Zyszczyk

WROCLAW 2021

Autorzy opracowania:



**UNIwersytet
PRzyrodniczy
We WROCLAWIU**



**dr hab.
Krzysztof Lejcuś**
kierownik projektu



**dr hab. inż.
Ewa Burszta-Adamiak**
koordynator merytoryczny



**dr inż.
Jolanta Dąbrowska**
opracowanie merytoryczne



**dr inż.
Katarzyna Wróblewska**
opracowanie merytoryczne



**dr inż.
Henryk Orzeszyna**
*opracowanie merytoryczne,
schematy rozwiązań*



**mgr inż.
Michał Śpitalniak**
*opracowanie merytoryczne,
graficzne, skład*



mgr inż. Jakub Misiewicz
rysunki CAD

Spis treści

Przedmowa.....	4
Słowniczek.....	5
1. Charakterystyka warunków naturalnych Wrocławia i istniejącej infrastruktury mającej wpływ na gospodarkę wodami opadowymi.....	5
Budowa geologiczna i hydrogeologiczna Wrocławia.....	5
Klimat.....	6
Infrastruktura.....	7
2. Uwarunkowania formalno-prawne gospodarki wodami opadowymi	8
3. Zasady i korzyści ze stosowania zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi.....	11
Podczyszczanie spływów z dróg	12
4. Rośliny do zrównoważonych systemów zagospodarowania wód opadowych.....	13
Strefa głęboka.....	13
Strefa środkowa.....	13
Strefa brzegowa.....	13
5. Wybór systemu do lokalnego zagospodarowania wód opadowych i roztopowych. 18	
6. Podstawowe zalety i zasady budowy systemów do lokalnego gospodarowania wodami opadowymi	20
7. Macierz stosowania kart katalogowych i wskaźniki ich doboru.....	21
Wykres pojemności retencyjnej rozwiązań	23
Instrukcja czytania kart.....	26
Jak rozumieć wskaźnik zdolności retencyjnej?.....	32

Karty rozwiązań

R/01 – MULDA CHŁONNA.....	33
R/02 – GEOKOMPOZYT SORBUJĄCY WODĘ.....	36
R/03 – OGRÓD DESZCZOWY	41
R/04 – WYPUSTKA ULICZNA.....	45

R/05 – KONSTRUKCJE MAGAZYNUJĄCE WODĘ WOKÓŁ DRZEW	48
R/06 – ZIELONY DACH.....	53
R/07 – POWIERZCHNIA PRZEPUSZCZALNA ZADARNIONA LUB ŻWIROWA.....	58
R/08 – OBIEKT HYDROFITOWY	62
R/09 – POWIERZCHNIOWY ZBIORNIK INFILTRACYJNY	67
R/10 – RÓW INFILTRACYJNY.....	69
R/11 – SUCHY ZBIORNIK RETENCYJNY.....	73
R/12 – ZBIORNIK ODPAROWUJĄCY	75
R/13 – POWIERZCHNIOWY ZBIORNIK RETENCYJNY	78
R/14 – POWIERZCHNIA PRZEPUSZCZALNA AŻUROWA.....	81
R/15 – PODZIEMNY ZBIORNIK RETENCYJNY.....	86
R/16 – KORYTKO FILTRACYJNE	89
R/17 – STUDNIA CHŁONNA.....	91
R/18 – SKRZYNKI RETENCYJNO-ROZSĄCZAJĄCE	94
R/19 – KOMORA DRENAŻOWA	98
R/20 – ZIELONE PRZYSTANKI	101
8. Bibliografia	104

Przedmowa

Żyjemy w dobie zmieniającego się klimatu. Przejawem tych zmian są coraz częściej występujące zjawiska ekstremalne, jak susze czy powodzie. Jednocześnie następuje znaczący rozwój miast i ich zabudowy. Przyczynia się to do rosnącej antropopresji na środowisko. Obecnie zdajemy sobie już sprawę z tego faktu. Czas przystąpić do działań mających na celu zmniejszenie tego wpływu oraz przystosować się do postępujących zmian klimatu.

Integralną częścią rozbudowy miast jest rozwój infrastruktury miejskiej wraz z systemami gospodarowania wodami opadowymi. Zadaniem jest efektywne ujęcie i odprowadzenie wód opadowych i roztopowych z powierzchni pasa drogowego i przyległego do niego terenu. Woda, pozostając dłużej na jezdni, może stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu oraz dla użytkowników drogi. W dobie urbanizacji i związanego z nią stale postępującego uszczelniania powierzchni zlewni (m.in. w wyniku budowy dróg, placów czy parkingów o twardej, praktycznie nieprzepuszczalnej nawierzchni) następuje znaczna ingerencja w naturalny obieg wody. Zwiększenie ilości powierzchni szczelnych powoduje, że tylko niewielka część wód opadowych i roztopowych swobodnie przesiąka do gruntu. Zdecydowana jej większość jest odprowadzana w czasie opadów do systemów kanalizacyjnych lub wód powierzchniowych. Takie podejście skutkuje nadmiernym obciążeniem jakościowym i ilościowym infrastruktury odwodnieniowej miast. Przyczynia się to do występowania lokalnych podtopień terenów lub powodzi.

Współcześnie wykonywane systemy odwodnieniowe dróg nie powinny ograniczać się tylko do rozwiązań tradycyjnych (podziemnych systemów kanalizacyjnych). Nowoczesne systemy projektuje się przy współudziale rozwiązań zrównoważonych. Pozwalają one na lokalne zagospodarowanie wód opadowych i roztopowych. Wykorzystanie odpowiednich gatunków roślin w systemach umożliwia dodatkowo podczyszczanie wód. Zastosowanie nowych, bardziej przyjaznych dla środowiska rozwiązań może przynieść korzyści finansowe, społeczne oraz ekologiczne. Woda deszczowa czy roztopowa, która trafia z powrotem do gruntu, odciąża system kanalizacyjny – tym samym ogranicza lub nawet eliminuje ryzyko lokalnych podtopień, obniża też koszty użytkowania tradycyjnych systemów kanalizacji i oczyszczania ścieków. Zwiększenie ilości roślinności pozytywnie wpływa na samopoczucie mieszkańców i na mikroklimat.

Niniejszy „Katalog dobrych praktyk – zasady zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi pochodzącymi z nawierzchni pasów drogowych” zawiera zbiór przykładowych rozwiązań mających na celu zwiększenie retencji tych wód. Są to systemy, których użytkowanie za granicą ma już długą tradycję. W Polsce wciąż są stosowane w ograniczonym zakresie. Rozwiązania te zalicza się do miejskich zrównoważonych systemów drenażu (ang. *Sustainable Urban Drainage System*) lub systemów minimalizujących negatywny wpływ rozwoju miast na środowisko (ang. *Low Impact Development*). Proponowane w Katalogu rozwiązania pozwalają na zwiększenie retencji wody w zlewni i infiltrację wód do gruntu. W znaczącej większości wprowadzają one na tereny miejskie nową roślinność.

Warto jednak pamiętać, że możliwości zastosowania konkretnego rozwiązania zależą będą od wielkości i ukształtowania dostępnego pod inwestycję terenu, warunków gruntowo-wodnych, a także od charakteru i wielkości odbiornika wód. Z tych względów do każdego projektu należy podejść indywidualnie. Warunkiem uzyskania oczekiwanych efektów zagospodarowania wód opadowych jest prawidłowe zaprojektowanie i wykonanie systemu. Z kolei warunkiem sprawnego funkcjonowania zaprojektowanej instalacji jest jej regularna konserwacja.

Autorzy Katalogu mają nadzieję, że będzie on przydatny nie tylko dla planistów, projektantów czy urzędników. Przede wszystkim liczymy na szeroki odbiór społeczny, tak aby mieszkańcy Wrocławia i innych polskich miast mogli nabrać przekonania, iż realizowane w ich mieście inwestycje przyczynią się do poprawy jakości ich życia.

dr hab. inż. Ewa Burszta-Adamiak
dr hab. Krzysztof Lejcuś

Słowniczek

gleba wzbogacona (ang. *engineered soil*) – odpowiednio dobrana mieszanka piasku lub pospółki (50–60%), kompostu lub torfu (20–40%) oraz gleby urodzajnej (0–30%) wykorzystywana w zrównoważonych systemach zagospodarowania wód opadowych. Ważne jest, aby składniki były prawidłowo przygotowane, równomiernie wymieszane, wolne od zanieczyszczeń i zarodników, spełniały warunek wysokiej wodoprzepuszczalności (10^{-3} – 10^{-5} m/s) i jednocześnie zapewniały możliwość rozwoju dla odpowiednio dobranej roślinności.

kolmatacja – zatykanie porów i szczelin w gruntach, skałach, warstwach filtracyjnych, filtrach geotekstylnych. Zwykle jest to proces mechanicznego osadzania zawieszin i drobnych cząstek gruntu niesionych przez przepływającą wodę. Rzadziej spotyka się zjawisko kolmatacji zachodzące w wyniku procesów chemicznych (wytrącanie nierozpuszczalnych związków) i biologicznych (zatrzymywanie bakterii lub glonów). Efektem kolmatacji jest zmniejszenie wodoprzepuszczalności ośrodka przewodzącego wodę.

mulcz – okrywa ochronna gleby mająca na celu ograniczenie niekorzystnych oddziaływań czynników siedliskowych. Rozprowadza się ją na powierzchni gleby. Jako mulczu zwykle używa się materii organicznej, często odpadowej, np. słomy czy rozdrobnionej kory. Mulcz celulozowy lub drzewny stosowany jest do wprowadzania nasion traw na tereny trudne siedliskowo, np. skarpy w technologii hydrosiewu.

pojemność retencyjna (zdolność retencyjna) – ilość wód opadowych i roztopowych wyrażona w $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ (litry/ m^2), którą może przyjąć dane rozwiązanie, np. mulda chłonna czy wypustka uliczna.

roślinność ekstensywna – rośliny niskie o niewielkich wymaganiach wegetacyjnych, które dobrze znoszą silne nasłonecznienie i suszę. Potrafią samodzielnie się utrzymać i rozwijać podobnie jak roślinność stepowa. Z tych względów chętnie są sadzone na dachach zielonych. Nie wymagają nadmiernej pielęgnacji poza okresowym przeglądem ich stanu i uzupełnianiem braków lub rozsadzaniem w przypadku nadmiernego rozrostu. W początkowej fazie wzrostu mogą potrzebować także nawożenia. Zalicza się do nich rozchodniki, rojniki, zioła, trawy, turzyce oraz byliny, krzewinki i mchy.

żyźna gleba kompostowa (żyźna ziemia urodzajna) – to produkt powstały w procesach kompostowania z resztek roślinnych i zwierzęcych. Można go mieszać z różnymi rodzajami innych podłoży. Wzbogaca glebę w materię organiczną i poprawia strukturę gleby.

1. Charakterystyka warunków naturalnych Wrocławia i istniejącej infrastruktury mającej wpływ na gospodarkę wodami opadowymi

Budowa geologiczna i hydrogeologiczna Wrocławia

Obszar Wrocławia położony jest w prowincji Niżu Środkowoeuropejskiego, podprowincji Niziny Środkowopolskie, w makroregionie Nizina Śląska, w granicach mezoregionów Pradolina Wrocławska, Równina Wrocławska i Równina Oleśnicka. Rzeźba terenu jest charakterystyczna dla nizinnego położenia, a wysokości nie przekraczają 150 m n.p.m. Badany teren leży na granicy dwóch dużych jednostek geologicznych – starsza z nich to blok przedsudecki, młodsza to monoklina przedsudecka. Wrocław znajduje się w dorzeczu górnej Odry. Jej głównymi lewostronnymi dopływami na badanym odcinku są Oława, Ślęza i Bystrzyca, a prawostronnym Widawa. Bogatą sieć rzeczną miasta uzupełniają niewielkie rzeki, potoki i ciek: Dobra (Zakrzów, Kłokoczyce), Zielona (Księża Wielkie, Księża Małe), Kasina (Muchobór Wielki), Ługowina (Maślice Wielkie, Maślice Małe, Strachowice), Oporówka (Oporów), Łękawica (Mokra, Marszowice), Piskorna (Strachocin), Młynówka (Świniary), Trzciana (Osobowice, Rędzin, Lesica), Czarna Woda (Zalesie, Zacisze), Rogożówka (Maślice Wielkie, Pracze Odrzańskie), Olszówka Krzycka (Krzyki), Grabiszynka (Grabiszyn), Brochówka (Brochów), Toczek (Maślice Małe), Mokrzyca (Polanowice, Osobowice), zbiorniki parkowe, starorzecza, zbiorniki powybiskowe, fosy i kanały, rowy i kanały melioracyjne oraz rowy odwadniające ciągi komunikacyjne. Istotnym elementem sieci hydrograficznej Wrocławia są znajdujące się w północnej części miasta pola irygacyjne na Osobowicach. Jest to teren o powierzchni ponad 1100 ha z systemem rowów i odstożników, który pełnił funkcję naturalnej oczyszczalni ścieków [Mądrała 2002, Goldsztejn 2009, Migoń 2010, MPWiK 2017].

Obszar miasta Wrocławia podzielony jest na dwie części o różnych warunkach geologiczno-inżynierskich, tj. dolinę Odry i teren wysoczyzny morenowej. Na terenie wysoczyzny morenowej (południowa część Wrocławia) przeważają gliny morenowe, piaski i żwiry wodnolodowcowe. Pierwsze zwierciadło wód podziemnych występuje zazwyczaj poniżej 2 m p.p.t. W tej części występują korzystne warunki posadowienia. W dolinie Odry dominują piaski i żwiry (o niskim stopniu zagęszczenia) oraz namuły, pierwsze zwierciadło wód podziemnych występuje przeważnie na głębokości 0–2 m p.p.t. Ta część miasta charakteryzuje się niekorzystnymi warunkami posadowienia. W krajobrazie Wrocławia występują liczne formy antropogeniczne – wały przeciwpowodziowe, groble, nasypy, hałdy (w tym zamknięte składowiska odpadów). Przekształcenia związane z działalnością człowieka skutkowały powstawaniem nasypów niebudowlanych, budowlanych

i komunalnych. Nasypy antropogeniczne dominują w przypowierzchniowej warstwie podłoża (ich głębokość dochodzi do 5 m), gleby powstałe w wyniku naturalnych procesów nie występują na terenach zurbanizowanych, a zwłaszcza w centrum miasta [Mądrała 2002, Goldsztejn 2009, Lewicki 2014]. W opracowaniu „Baza danych geologiczno-inżynierskich wraz z Atlasem geologiczno-inżynierskim aglomeracji wrocławskiej” wydzielono 27 serii geologiczno-inżynierskich opisujących i systematyzujących budowę geologiczną i warunki geologiczno-inżynierskie badanego obszaru [Goldsztejn 2009]. W ramach powyższego opracowania została wykonana m.in. mapa zalegania pierwszego zwierciadła wód podziemnych w skali 1:10 000. Powstała ona na podstawie danych z lat 1950–2007. Pierwsze zwierciadło wód podziemnych we Wrocławiu występuje najpłycej (na głębokości 0,5 m p.p.t.) w sąsiedztwie Odry, jej dopływów oraz zbiorników wodnych. Najgłębiej zwierciadło wód podziemnych zostało zlokalizowane w południowo-zachodniej części miasta – na głębokości 3–5 m p.p.t. Miejscami głębokość zalegania zwierciadła wód podziemnych przekracza 5 m p.p.t. – takie obszary znaleźć można w rejonie Starego Miasta, Nadodrza, Szczepina, Psiego Pola, Krzyków, Tarnogaju, Hub, Grabiszyna, Powstańców Śląskich [Goldsztejn 2009, Lewicki 2014].

Utwory powierzchniowe w dolinie Odry, Oławy, Ślęzy, Bystrzycy, Widawy, Ługowiny i Dobrej stanowią czwartorzędowe (holocen) gliny, piaski i żwiry rzeczne tarasu zalewowego wyższego, mady tarasu zalewowego wyższego, mułki piaski i żwiry ze szczątkami organicznymi (Janówek, Pracze Odrzańskie, Maślice Wielkie, Maślice Małe, Stare Miasto, Zacisze, Zalesie, Karłowice, Nadodrza, Plac Grunwaldzki, Rakowiec, Sępolno, Biskupin, Księża Małe, Księża Wielkie, Opatowice, Wojnów, Strachocin, Kowale, Kłokoczycze, część Pilczyc, Kozanowa, Popowic, Sołtysowic, Poświętnych, Partynic). Utwory akumulacji rzecznej zbudowane są z luźnych piasków, pospólek, żwirów i warstw spoistych. Gliny i mułki rzeczne występujące w dolinach rzecznych zawierają domieszki części organicznych, konsystencja tych gruntów jest plastyczna i miękkoplastyczna, należy traktować je jako grunty słabonośne. Poziom wody występuje tu najpłycej 0–2 m p.p.t., a zwierciadło ma charakter swobodny, miejscami lekko napięty. W najstarszej części miasta (Stare Miasto), silnie przekształconej przez człowieka, warstwę powierzchniową stanowią nasypy antropogeniczne. Sztucznie obniżone zwierciadło leży na głębokości > 5 m p.p.t.

W zachodniej i południowo-zachodniej części Wrocławia spotyka się utwory neogenu – ły i mułki (występują w części Oporowa, Muchoboru Wielkiego, Kuźnik, Pilczyc, Maślic, Złotnik, Stąblowic, Leśnicy, Ratynia). Są to grunty spoiste o zmiennej miąższości. ły występują w stanie plastycznym, miękkoplastycznym, rzadziej twardoplastycznym.

W północno-wschodniej i na niewielkim obszarze części wschodniej Wrocławia (Pawłowice, Psie Pole, Zakrzów, Zgorzelisko, część Poświętnego i Swojczyc) dominują utwory czwartorzędu (plejstocen) – gliny zwałowe, na mniejszych obszarach znajdują się piaski i żwiry wodnolodowcowe. W części południowej, południowo-zachodniej i zachodniej miasta – gliny zwałowe (Gądów Mały, Muchobór Mały, Grabiszyn, Gajowice, Borek, Tarnogaj, Ołtaszyn, Jagodno, Klecina, część Oporowa i Muchoboru Wielkiego) oraz piaski i żwiry wodnolodowcowe (Gaj, Krzyki, Wojszyce, Brochów, Żerniki, Złotniki, Ratyń, część Stąblowic, Kozanowa, Popowic). Gliny zwałowe występują w formie nieregularnych płatów. W większości są to osady zlodowacenia środkowopolskiego, a w rejonie Poświętnego i Swojczyc – południowopolskiego. Gliny zwałowe zlodowacenia środkowopolskiego charakteryzuje zmienność składu granulometrycznego, miąższość przeważnie 1–6 m, aż do 17,5 m w rejonie Gądowa i 16,5 m w rejonie Polanowic. Gliny zwałowe zlodowacenia południowopolskiego mają zmienną miąższość 1–60 m. Na ogół są to grunty plastyczne lub twardoplastyczne. Warunki budowlane są tu korzystne. Wody podziemne w glinach zwałowych występują w soczewkach i przewarstwieniach piaszczystych i piaszczysto-żwirowych, zwierciadło ma charakter napięty, stabilizuje się zazwyczaj na głębokości ponad 2 m p.p.t. Plejstoceńskie grunty luźne wodnolodowcowe występują w formie nieregularnych warstw o zmiennym składzie granulometrycznym. W warstwach powierzchniowych są średnio zagęszczone [Goldsztejn 2009, Buksiński i in. 1974].

W ciągu analizowanego pięćdziesięciolecia, na podstawie którego powstała mapa zalegania pierwszego zwierciadła wód podziemnych [Goldsztejn 2009], zwierciadło to ulegało zmianom naturalnym i antropogenicznym. Dokładność map geologicznych i hydrogeologicznych na poszczególnych obszarach Wrocławia uzależniona jest od liczby punktów dokumentacyjnych, a budowa geologiczna miasta jest skomplikowana. Opracowanie pt. „Atlas geologiczno-inżynierski aglomeracji wrocławskiej” może stanowić cenny materiał pomocniczy do projektowania zrównoważonych systemów zagospodarowania wód deszczowych. Dane powinny być jednak każdorazowo zweryfikowane poprzez szczegółowe rozpoznanie warunków geologiczno-inżynierskich dla konkretnej inwestycji.

Klimat

Wrocław leży w strefie klimatu umiarkowanego o charakterze przejściowym. Przenikające się wpływy oceaniczne i kontynentalne wpływają na zmienność stanów pogodowych. Na omawianym obszarze dominują wiatry z sektora zachodniego i południowego. Wrocław zlokalizowany jest w dolinie Odry i na przedpolu Sudetów w uprzywilejowanym termicznie „wrocławsko-opolskim obszarze ciepła”. Nizinne położenie miasta decyduje o dość niskiej

rocznej sumie opadów na tle kraju. Charakterystyczna dla badanego obszaru jest także niska amplituda roczna temperatury. We Wrocławiu intensywne opady występują najczęściej w czerwcu, lipcu oraz w sierpniu. Widoczne jest zróżnicowanie przestrzenne wysokości opadu na terenie miasta oraz wpływ charakteru zabudowy (dla zabudowy zwartej wysokości opadu są zazwyczaj wyższe) [Dubicki i in. 2002, Migoń 2010].

Z analizy danych klimatycznych IMGW-PIB z lat 1981–2010 [IMGW 2017] wynika, że średnia roczna suma opadów wynosi we Wrocławiu 536,9 mm. W roku 2020 zanotowano wartość maksymalną wynoszącą 727 mm, a w 1982 minimalną 380,8 mm. Miesiącami charakteryzującymi się najwyższymi średnimi miesięcznymi sumami opadów są: maj (średnia z wielolecia: 57,9 mm), czerwiec (68,8 mm), lipiec (81,0 mm) oraz sierpień (66,6 mm). Najwyższą sumę opadów miesięcznych (238,1 mm) zarejestrowano w lipcu 1997 r. Średnia roczna temperatura we Wrocławiu wynosi 9,7°C. Najzimniejszym miesiącem jest styczeń ze średnią miesięczną temperaturą powietrza –0,5°C. Najcieplejszym miesiącem jest lipiec (19,9°C). Dotychczas najniższą temperaturę (–32,0°C) zanotowano 11.02.1956 r., a najwyższą – 38,49°C – 08.08.2015 r.

Infrastruktura

Według danych GUS z 2020 r. powierzchnia Wrocławia wynosi ok. 293 km², liczba ludności to 642 874 osób, a gęstość zaludnienia kształtuje się na poziomie 2194 osób na km². Zarząd Dróg i Utrzymania Miasta we Wrocławiu zarządza siecią 1074 km dróg publicznych, ma pod opieką 20 tys. wpustów deszczowych i studzienek w mieście. W 2019 roku nawięcej Wrocławiu znajdowało się 852 km gminnych dróg publicznych o twardej nawierzchni. Na 100 km² powierzchni miasta przypadały 291 km dróg publicznych o twardej nawierzchni (powiatowe i gminne). Całkowita długość tras rowerowych w 2019 roku wynosiła 312,10 km. W mieście jest ok. 28 km buspasów i 26 parkingów w systemie Parkuj i Jedź (na koniec 2020 r.). Z roku na rok przybywa ilość miejsc parkingowych w tym systemie. Port lotniczy we Wrocławiu obsłużył w łącznie przez 2020 rok port ponad 1 mln podróżnych, we wcześniejszych latach (przed pandemią) liczba ta dochodziła nawet do 3,5 mln. Na terenie lotniska znajduje się ponad 2000 miejsc parkingowych oraz terminal towarowy. Wrocław pod względem infrastruktury transportowej jest jednym z najlepiej rozwiniętych miast w Polsce [GUS 2020].

We Wrocławiu dominują tradycyjne metody gospodarowania wodami deszczowymi bazujące na kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej. Według danych Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji S.A. we Wrocławiu w obrębie Starego Miasta funkcjonuje kanalizacja ogólnospławna. Osiedla powojenne posiadają mieszany system kanalizacji, tj. częściowo rozdzielczy lub częściowo ogólnospławny. Nowe osiedla

śródmiejskie mają kanalizację rozdzielczą (osobno sanitarną i deszczową). Nieliczne osiedla na peryferiach miasta nie są podłączone do sieci kanalizacyjnej. Najstarsze odcinki sieci kanalizacyjnej wybudowano w 1850 r., znaczna część systemu została zbudowana w latach 1900–1940. Ścieki z terenu miasta trafiają siecią kanalizacyjną i systemem przepompowni do Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków Janówek. Jest to mechaniczno-biologiczna oczyszczalnia z chemicznym wspomaganie usuwania związków fosforu i pełną gospodarką osadową, o średniej przepustowości projektowej 140 tys. m³ ścieków na dobę. Wrocław należy do czołówki najlepiej skanalizowanych miast Europy [MPWiK 2017].

W przypadku intensywnych opadów do odciążenia hydraulicznego sieci i oczyszczalni ścieków część ścieków jest zrzucana bezpośrednio do wód powierzchniowych poprzez przelewy burzowe. W Polsce, w zależności od rodzaju kanalizacji oraz odbiornika, limitowana jest średnia roczna liczba zrzutów (tzn. włączania się przelewów burzowych i zrzutu bezpośrednio do odbiornika). Oprócz zagrożenia dla jakości wód powierzchniowych szybkie odprowadzenie wód opadowych połączone ze stosowaniem uszczelnionych powierzchni eliminuje możliwość zasilania wód gruntowych i odbudowy zasobów wodnych w obszarze miejskim. Podczas deszczy o dużym natężeniu dochodzi do nagłych powodzi (ang. *flash flood*) oraz powodzi miejskich (ang. *urban flood*).

Niemalże każdego roku, szczególnie w miesiącach maj-lipiec na terenie miasta pojawiają się problemy wynikające z niewydolności sieci kanalizacyjnej w czasie intensywnych opadów deszczu. Z każdego zdarzenia związanego z podtopieniami lub powodzią na terenie zurbanizowanym wynikają straty w infrastrukturze, zniszczenia mienia publicznego i prywatnego, problemy komunikacyjne oraz problemy w świadczeniu innych usług.

Drugim niekorzystnym zjawiskiem obserwowanym we Wrocławiu, a związanym z rozwojem obszarów zurbanizowanych jest miejska wyspa ciepła (MWC). W mieście rejestruje się wyższe temperatury w stosunku do terenów otaczających, głównie podczas pogodnych, bezchmurnych nocy. Na intensywność i zasięg MWC wpływają charakter zabudowy, ilość ciepła emitowanego z instalacji przemysłowych i komunalnych, pojemność ciepła stosowanych w mieście materiałów budowlanych, wielkość ewapotranspiracji, kierunek i prędkości wiatru oraz zanieczyszczenia powietrza. Miejska wyspa ciepła oddziałuje negatywnie na jakość życia i stan zdrowia mieszkańców [Fortuniak 2003, Dubicki i in. 2002, Dubicka i Szymanowski 2003]. Stosowanie rozwiązań związanych z zieloną niebieską infrastrukturą pozwala łagodzić skutki MWC oraz odciążać zbiorcze systemy kanalizacyjne podczas opadów o dużym natężeniu.

2. Uwarunkowania formalno-prawne gospodarki wodami opadowymi

Podstawowym aktem prawnym regulującym gospodarowanie wodami W Polsce jest ustawa Prawo wodne z dnia 20 lipca 2017 r. (Dz. U. 2017, Poz. 1566). W zakresie swojej regulacji wdraża przepisy m.in. dyrektywy 2006/118/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu (Dz. Urz. UE L 372 z 27.12.2006 oraz Dz. Urz. UE L 182 z 21.06.2014) oraz dyrektywy 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim (Dz. Urz. UE L 288 z 06.11.2007). Zgodnie z ich zapisami zarządzanie wodami powinno być prowadzone z zachowaniem racjonalnego i całościowego traktowania zasobów wód powierzchniowych i podziemnych z uwzględnieniem ich ilości i jakości. Gospodarując wodami należy chronić zasoby wodne, a ich ochrona powinna polegać na unikaniu i ograniczaniu zanieczyszczenia wód oraz zapobieganiu niekorzystnym zmianom naturalnych przepływów wody albo naturalnych poziomów zwierciadła wody. W myśl zapisów Ustawy Prawo Wodne przy gospodarowaniu wodami powinno uwzględniać się zasadę wspólnych interesów i wymaga się współdziałania administracji publicznej, użytkowników wód i przedstawicieli lokalnych społeczności w zakresie pozwalającym uzyskać maksymalne korzyści społeczne.

Zgodnie z obowiązującą ustawą Prawo Wodne, wody opadowe i roztopowe nie są rozpatrywane w kategorii ścieku. To wody będące skutkiem opadów atmosferycznych. Z tych względów należy dążyć do lokalnego (na miejscu opadu) ich zagospodarowania np. poprzez systemy retencyjne lub retencyjno-infiltracyjne. W przypadku, gdy uwarunkowania gruntowo-wodne nie pozwalają na taką formę przyjęcia wód opadowych i roztopowych, można je odprowadzać do kanalizacji deszczowej, kanalizacji ogólnospławnej oraz rowów melioracyjnych poprzez opóźnienie spływu po ich czasowym zretencjonowaniu. Możliwość odprowadzania wód opadowych i roztopowych do wyżej wspomnianych odbiorników należy uzgadniać z ich zarządcami lub właścicielami. Często praktykowanym sposobem odwodnienia terenu jest łączenie obu możliwości tzn. odprowadzenie wód opadowych np. do systemów retencyjno-infiltracyjnych i kierowanie nadmiaru wód do podziemnej infrastruktury kanalizacyjnej lub do rowu melioracyjnego. Jednocześnie w myśl art. 9 ust. 1 ustawy o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków z dnia 7 czerwca 2001 roku (tekst jednolity Dz.U. 2019 poz. 1437) zabrania się wprowadzania wód opadowych i roztopowych oraz wód drenażowych do kanalizacji sanitarnej. Art. 234 Ustawy Prawo Wodne, zabrania właścicielowi gruntu zmiany kierunku i natężenia odpływu znajdujących się na jego gruncie wód opadowych lub roztopowych oraz kierunku odpływu wód ze źródeł, ze szkodą dla gruntów sąsiednich.

Zgodnie z zapisami ustawy Prawo Wodne odprowadzanie do wód i do urządzeń wodnych - wód opadowych lub roztopowych, ujętych w otwarte lub zamknięte systemy kanalizacji deszczowej służące do odprowadzania opadów atmosferycznych albo w systemy kanalizacji zbiorczej w granicach administracyjnych miast zaliczane jest do usług wodnych, na które wymagane jest pozwolenie wodnoprawne. Pozwolenie wodnoprawne wydaje się na podstawie operatu wodnoprawnego oraz zgromadzonych w toku postępowania dowodów, dokumentów i informacji. W pozwoleniu wodnoprawnym (art. 403 pkt. 2 PW) ustala się m.in. ilość wód opadowych lub roztopowych, odprowadzanych do wód lub do ziemi, powierzchnię rzeczywistą i zredukowaną zlewni odwadnianej przez każdy wylot, średnią ilość wód opadowych i roztopowych odprowadzanych do urządzeń do retencjonowania wody z terenów uszczelnionych. Z kolei wymogi odnośnie zawartości operatu, na podstawie którego wydaje się pozwolenie wodnoprawne na odprowadzanie do wód lub do urządzeń wodnych – wód opadowych lub roztopowych, ujętych w otwarte lub zamknięte systemy kanalizacji deszczowej służące do odprowadzania opadów atmosferycznych albo w systemy kanalizacji zbiorczej w granicach administracyjnych miast są uregulowane w art. 409 pkt 6 PW.

Problematyka wyposażenia technicznego dróg, w tym kwestie związane z odprowadzaniem wód z drogi i sposobem oczyszczania tych wód, została uregulowana w rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 43, poz. 430 z późn. zm.). Rozporządzenie precyzuje w jakich sytuacjach dopuszcza się zwiększenie szerokości ulicy. Zgodnie z tymi zapisami poszerzenie jest możliwe, poza kilkoma innymi uwarunkowaniami, w przypadku jeżeli przewiduje się umieszczenie w tej ulicy pasów zieleni wysokiej lub urządzeń odwodnienia powierzchniowego. Urządzenia do powierzchniowego odwodnienia pasa drogowego powinny zapewniać sprawne odprowadzenie wody (Dział IV, § 101. 1.). Wymiary urządzeń odwadniających drogę ustala się na podstawie deszczu miarodajnego, określonego przy prawdopodobieństwie pojawienia się opadów (p) wynoszącym odpowiednio 10% dla dróg klasy A (autostrady) lub S (ekspresowe), 20% dla dróg klasy GP (główne ruchu przyspieszonego), 50% dla dróg klasy G (główne) lub Z (zbiorcze), i 100% dla dróg klasy L (lokalne) lub D (dojazdowe). W przypadku, kiedy nie ma możliwości odprowadzenia wody za pomocą urządzeń do powierzchniowego odwodnienia lub gdy wymagają tego przepisy odrębne wykonuje się kanalizację deszczową (§ 106. 1.). Wody opadowe z pasa drogowego ujęte do kanalizacji można odprowadzać do odbiornika wody kolektorem lub rowem odpływowym, przy czym w zależności od potrzeb dla oczyszczenia odprowadzanej wody może być stosowany rów trawiasty, o pochyleniu podłużnym dna nieprzekraczającym 0,5%, w którym mogą być

stosowane przegrody. (§ 108. 2.) Wody z kolektora powinny być odprowadzane do odbiornika poprzez urządzenia oczyszczające. W myśl zapisów § 108. 3 i § 108. 4 rozporządzenia, jeżeli nie ma możliwości odprowadzenia nieoczyszczonej wody z urządzeń odwadniających, powinno się stosować urządzenia zabezpieczające środowisko przed zanieczyszczeniami spływającymi z drogi. Do urządzeń tych należą w szczególności:

- 1) zbiornik retencyjno-infiltracyjny, gdy zachodzi potrzeba zwolnienia odpływu lub zatrzymania wody,
- 2) zbiornik infiltracyjny, gdy grunt do głębokości 1,5 m poniżej dna zbiornika zapewnia szybkość filtracji, co najmniej 1,25 cm/h i znajduje się powyżej poziomu wody gruntowej,
- 3) rów infiltracyjny, gdy grunt do głębokości 1,5 m poniżej dna rowu zapewnia szybkość filtracji, co najmniej 0,7 cm/h i znajduje się powyżej poziomu wody gruntowej,
- 4) rów trawiasty, gdy jest stosowany samodzielnie lub w połączeniu z innymi urządzeniami oczyszczającymi. Powinien być pokryty gęstą trawą wysoko koszoną, na podłożu o szybkości filtracji, co najmniej 1,25 cm/h.

Ponadto, szczegółowe wymagania techniczne w zakresie planowania, projektowania, budowy i właściwego użytkowania urządzeń odwadniających określone są w Polskiej Normie PN-S-02204:1997 "Drogi samochodowe. Odwodnienie dróg". W normie podano podstawowe wymagania ekologiczne w zakresie odwodnienia dróg oraz określono podstawowe zasady wykonywania obliczeń sprawdzających funkcjonowanie urządzeń odwadniających z punktu widzenia technicznego i ekologicznego. Dodatkowo określono w niej warunki wykonywania studni chłonnych, jako elementu odwodnienia dróg. Studnie chłonne stosuje się do bezpośredniego wprowadzania wód powierzchniowych w przepuszczalne warstwy gruntu wtedy, gdy zastosowanie urządzeń odwodnienia powierzchniowego i podziemnego jest zbyt kosztowne. Studnia chłonna nie może jednak służyć do wprowadzania wód opadowych i roztopowych bezpośrednio do wód gruntowych, co oznacza, że jej dno powinno być położone, co najmniej 1,50 m powyżej zwierciadła wód gruntowych. Jeśli nie ma możliwości zapewnienia takich warunków lokalizacyjnych, wody deszczowe i roztopowe powinny być oczyszczone przed wprowadzeniem do studni.

Wymogi jakościowe wód opadowych odprowadzanych do wód lub do gruntu regulują zapisy Rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz.U. 2019 poz. 1311). Zgodnie z § 17. 1. wody opadowe lub roztopowe, ujęte w otwarte lub

zamknięte systemy kanalizacyjne, pochodzące z zanieczyszczonej powierzchni szczelnej z dróg zaliczanych do kategorii dróg krajowych, wojewódzkich lub powiatowych klasy G, a także parkingów o powierzchni powyżej 0,1 ha, w ilości, jaka powstaje z opadów o natężeniu, co najmniej 15 l na sekundę na 1 ha oraz z obiektów magazynowania i dystrybucji paliw, w ilości, jaka powstaje z opadów o częstości występowania jeden raz w roku i czasie trwania 15 minut, lecz w ilości nie mniejszej niż powstająca z opadów o natężeniu 77 l na sekundę na 1 ha, mogą być wprowadzane do wód lub do urządzeń wodnych pod warunkiem, że nie zawierają w swoim składzie nie więcej niż 100 mg/l zawiesiny ogólnej oraz 15 mg/l węglowodorów ropopochodnych (z wyjątkiem przypadków, o których mowa w art. 75a ustawy Prawo wodne).

Konieczność ustalenia wpływu wód opadowych spływających z dróg, na jakość wód powierzchniowych i podziemnych wynika także z Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 10 września 2019 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz.U. 2019 poz. 1839). Według tego rozporządzenia autostrady i drogi ekspresowe, oraz drogi inne, o nie mniej niż czterech pasach ruchu, na łącznym odcinku nie mniejszym niż 10 km są zaliczane do inwestycji mogących zawsze znacząco oddziaływać na środowisko, a więc wymagają sporządzenia ocen oddziaływania na środowisko (§ 2.1.). Z kolei inne drogi o nawierzchni twardej i całkowitej długości przedsięwzięcia powyżej 1 km, zaliczane są do inwestycji mogących potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko (§ 3.1.). W stosunku do tych przedsięwzięć, przed ich realizacją, konieczne jest uzyskanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach.

Szczegółowe zasady odprowadzenia wód opadowych z obiektów drogowych tj. obiekty mostowe, tunele, przepusty, konstrukcje oporowe, określa Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. (Dz.U. nr 63, poz. 735 z późn. zm). W myśl §140.1 tego rozporządzenia wody opadowe z obiektu inżynierskiego, w razie braku możliwości odprowadzenia do urządzeń odwadniających drogi bądź do kanalizacji ogólnospławnej, powinny być odprowadzone do zbiorników na wody opadowe. Zbiorniki te powinny zapewniać retencję i oczyszczanie wód opadowych oraz przechwytywać gwałtowne opady. W przypadku, gdy będzie konieczne usuwanie z nich substancji ropopochodnych zbiorniki powinny być uzupełnione w dodatkowe urządzenia oczyszczające np. separatory. W cytowanym rozporządzeniu jest również mowa o możliwości retencji i oczyszczania wód opadowych w rowach trawiastych i infiltracyjnych oraz powierzchniach trawiastych (§ 141–144). Zgodnie z zapisami § 145 omawianego rozporządzenia zbiorniki do gromadzenia wód opadowych mogą być wykonane, w zależności od rodzaju podłoża, jako

budowie infiltracyjne, retencyjne i odparowujące.

Rozważając możliwość wykonania systemów do lokalnej retencji i infiltracji wód deszczowych i roztopowych w ciągach komunikacyjnych nie powinno zapominać się o eksploatacji dróg i towarzyszących jej rozwiązaniach. Zgodnie z §19.1. ustawy z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych (Dz.U. 1985 nr 14 poz. 60 z późn. zm.) organ administracji rządowej lub jednostki samorządu terytorialnego, do którego należą sprawy z zakresu planowania, budowy, przebudowy, remontu, utrzymania i ochrony dróg, jest zarządcą drogi. Do zarządcy drogi należy w szczególności: utrzymanie nawierzchni drogi, chodników, drogowych obiektów inżynierskich, urządzeń zabezpieczających ruch i innych urządzeń związanych z drogą, z wyjątkiem części pasa drogowego, który został udostępniony nieodpłatnie gminie (na jej wniosek) w celu budowy, przebudowy i remontu wiat przystankowych lub innych urządzeń służących do obsługi podróżnych. Zadaniem zarządcy drogi jest także m.in. koordynacja robót w pasie drogowym, wydawanie zezwoleń na zajęcie pasa drogowego oraz przeciwdziałanie niekorzystnym przeobrażeniom środowiska mogącym powstać lub powstającym w następstwie budowy lub utrzymania dróg (Art.20 i 20a).

Poza ogólnokrajowymi aktami prawnymi, niektóre z miast, w tym Wrocław, zdecydowały się na wprowadzenie lokalnych regulacji, zmierzających do realizowania polityki zrównoważonego zarządzania i planowania miasta. W dniu 17 czerwca 2019 r. weszło w życie Zarządzenie nr 1158/19 Prezydenta Wrocławia w sprawie gospodarowania wodami opadowymi we Wrocławiu (<http://uchwaly.um.wroc.pl/uchwala.aspx?numer=1158/19>). W myśl tego zarządzenia zasada zagospodarowania opadu w miejscu jego wystąpienia oraz stopniowego uwalniania i opóźniania spływu wód, których pełne zagospodarowanie w miejscu opadu nie jest możliwe, powinna być realizowana m.in. poprzez zwiększenie szerokości pasów drogowych dla powierzchniowej infiltracji oraz retencjonowania, podczyszczania i odprowadzania wód opadowych z nawierzchni dróg i z terenów przyległych. Następstwem tego zapisu jest wprowadzenie w życie w dniu 20 marca 2020 r. Zarządzenia nr 2785/20 Prezydenta Wrocławia w sprawie „Standardów planowania i projektowania ulic z uwzględnieniem zielono-niebieskiej infrastruktury”. Dokument ten miał na celu wypracowanie z mieszkańcami Wrocławia standardu ulicy, który pogodzi potrzeby ekologiczne ze społecznymi. Zawiera on wskazówki nt. planowania, projektowania i realizacji ulic w mieście i elementów zagospodarowania pasa drogowego tj. jezdnie, chodniki, ścieżki rowerowe i parkingi oraz sieci infrastruktury technicznej wraz

z ich integralnym połączeniem z systemami zielono-niebieskiej infrastruktury tj. ogrody deszczowe, muldy chłonne itp. Dokument w pełnej wersji jest dostępny online pod adresem: <http://uchwaly.um.wroc.pl/uchwala.aspx?numer=2785/20>.

3. Zasady i korzyści ze stosowania zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi

Obecnie ponad 60% ludności w Polsce żyje w miastach, a liczba ta stale rośnie. Pod zabudowę zajmowanych jest coraz więcej terenów, w tym terenów zielonych na obrzeżach miast. Towarzyszy temu wysoki stopień uszczelnienia powierzchni przepuszczalnych, co sprzyja przesuszaniu gruntów, obniżaniu poziomu wód gruntowych oraz przeciążaniu naturalnych odbiorników powierzchniowych. Prowadzi to do okresowego zwiększania przepływów i ładunków zanieczyszczeń [Burszta-Adamiak 2008, Królikowska i Królikowski 2010].

Sprawne i bezpieczne odprowadzenie wód opadowych jest istotnym elementem prawidłowego funkcjonowania infrastruktury miejskiej. W rozwiązaniach tradycyjnych spływy opadowe kierowane są do systemu kanalizacji. Następnie, po oczyszczeniu w oczyszczalni ścieków lub bezpośrednio, trafiają do wód powierzchniowych. Taki sposób postępowania z wodami opadowymi jest niekorzystny zarówno w odniesieniu do terenów odwadnianych, jak i odbiorników. Kanalizowanie spływu wód opadowych wpływa na występowanie zjawisk powodziowych oraz wzrost zanieczyszczenia rzek na skutek dopływu znacznego ładunku zanieczyszczeń w czasie spływów z deszczów nawalnych [Burszta-Adamiak 2011].

W celu przeciwdziałania odprowadzaniu wód opadowych bezpośrednio do kanalizacji należy stosować systemy umożliwiające zagospodarowywanie wody w miejscu opadu. Tam, gdzie jest to możliwe, należy je retencjonować, czyli magazynować w okresach występowania ich nadmiaru, a następnie wykorzystywać w okresach suchych. Sposoby i możliwości wprowadzania wód opadowych do gruntu są uzależnione od wielu czynników. Są to m.in. rodzaj gruntu zalegającego w podłożu, głębokość występowania wód gruntowych, stopień uszczelnienia powierzchni, wielkość i sposób użytkowania terenu. Istotną rolę odgrywają też koszty wykonania i przyszłej eksploatacji, a także plany dotyczące rozwoju danego terenu.

Infiltracja wód deszczowych jest najprostszym i ekonomicznie uzasadnionym sposobem ich zagospodarowywania na terenach miejskich. Doprowadzenie wód opadowych do miejsca ich retencjonowania lub infiltracji do gruntu powinno odbywać się kanałami otwartymi. W przypadku występowania w podłożu gruntów dobrze przepuszczalnych (piaski, żwiry i pospółki) i odpowiednio głębokim zaleganiu zwierciadła wód opadowych można stosować proste i efektywne powierzchniowe metody oparte na infiltracji. Jeśli w podłożu występują grunty spoiste (gliny, iły), można stosować zbiorniki retencyjne (powierzchniowe i podziemne). Należy też pamiętać o stasowaniu przelewów awaryjnych.

Wprowadzanie wód opadowych do gruntu nie jest wskazane przy płytko zalegających wodach gruntowych.

Jednym z bardziej popularnych rozwiązań w tym zakresie są dachy zielone. Wśród czynników decydujących o coraz większej ich popularności w Polsce są wymogi prawne. Nakładają one na inwestorów obowiązek zazielenienia powierzchni terenu przeznaczonego pod zabudowę, tzn. odtworzenia powierzchni biologicznie czynnej. W wielu częściach świata dachy zielone doceniono także z uwagi na ich pozytywne oddziaływanie na odpływ wód opadowych. Dachy zielone zaliczane są do zrównoważonych systemów odwadniających SUDS (ang. *Sustainable Urban Drainage Systems*), których głównymi zadaniami są odtworzenie w największym możliwym stopniu naturalnej infiltracji i retencji oraz kontrola ilości i jakości odpływu z terenów zabudowanych. Wyniki badań przeprowadzonych m.in. w Stanach Zjednoczonych, Włoszech, Szwajcarii, Niemczech oraz we Wrocławiu pokazują, że dachy zielone mogą redukować szczytowy odpływ podczas większości opadów deszczu, opóźniać spływ wód opadowych oraz zmniejszać całkowity odpływ z powierzchni dachu poprzez zatrzymanie lub odparowanie do atmosfery części opadu.

Przesięganie wód deszczowych może odbywać się bezpośrednio do gruntu. Mogą to być grunty niespoiste, tj. piaski, żwiry, pospółki, nie zawierające więcej niż 2% dodatku frakcji ilowej. W niektórych przypadkach można też wykorzystać kamień łamany. Nie jest to jednak materiał zalecany, ponieważ ma stosunkowo małą powierzchnię właściwą i nie realizuje w wystarczającym stopniu funkcji oczyszczania wód. Należy go stosować raczej jako materiał wykorzystywany w tzw. warstwach dociążających. W literaturze przyjmuje się, iż współczynnik wodoprzepuszczalności (filtracji) gruntów wykorzystywanych w rozwiązaniach infiltracyjnych powinien mieścić się w zakresie 10^{-3} – 10^{-5} m/s [Alfakih i in. 1999, Edel 2010]. W przypadku gruntów o niższym współczynniku wodoprzepuszczalności efektywne odprowadzanie wód do gruntu nie będzie możliwe i należy rozważyć budowę rozwiązań mogących czasowo przetrzymać wody opadowe. Przy odprowadzaniu wód opadowych do gruntu minimalna zalecana odległość pomiędzy dnem warstwy rozsączającej a maksymalnym przewidywanym poziomem zwierciadła wody gruntowej powinna wynosić co najmniej 1,5 m albo wody deszczowe i roztopowe powinny być podczyszczone przed wprowadzeniem do gruntu.

Orientacyjne wartości współczynnika wodoprzepuszczalności wybranych gruntów zamieszczono w tabeli poniżej.

Tabela 1 – Orientacyjne wartości współczynnika wodoprzepuszczalności gruntów [Bocheńska i in. 2012]

Rodzaj skał	Filtracja pozioma		
	Współczynnik filtracji	Współczynnik filtracji	Klasa przepuszczalności
	[m · s ⁻¹]	[m · d ⁻¹]	
Rumosze, żwiry, żwiry piaszczyste, piaski gruboziarniste, skały zwięzłe z bardzo gęstą siecią szczelin i spękań, skrasowiałe	$> 10^{-3}$	> 100	Bardzo wysoka (bardzo dobrze przepuszczalne)
Piaski grubo- i różnoziarniste, słabo spojone piaskowce, skały zwięzłe z gęstą siecią spękań i szczelin nadkapilarnych	10^{-4} – 10^{-3}	10–100	Wysoka (dobrze przepuszczalne)
Piaski drobnoziarniste jednorodne, różnoziarniste niejednorodne, lessy, skały zwięzłe z siecią szczelin nadkapilarnych	10^{-5} – 10^{-4}	1–10	Średnia (średnio przepuszczalne)
Piaski pylaste i gliniaste, pyły piaszczyste, mułki, skały zwięzłe z rzadką siecią szczelin i spękań	10^{-6} – 10^{-5}	0,1–1	Słaba (słabo przepuszczalne)
Gliny piaszczyste, ropy piaszczyste, namuły, mułowce, skały słabo szczelinowe, mikroporowate	10^{-8} – 10^{-6}	0,001–0,1	Niska (półprzepuszczalne)
Gliny pylaste, ropy piaszczyste, ropy ilaste, łupki ilaste, skały zwięzłe niespękanne, mikroporowate	$< 10^{-8}$	$< 0,001$	Bardzo niska (nieprzepuszczalne)
ropy, skały zwięzłe niespękanne, bez szczelin			
ropy zwięzłe, b. grube kompleksy skał zwięzłych niespękannych, bez szczelin			

Najkorzystniejsze jest stosowanie rozwiązań opartych na odprowadzaniu wód deszczowych i roztopowych do gruntu poprzez odpowiednio dobrane warstwy gruntowe oraz porastającą je roślinność. Występowanie roślinności znacząco podnosi możliwości oczyszczania spływów, tworzy dogodne warunki dla rozwoju fauny, wpływa korzystnie na mikroklimat oraz jest pozytywnie odbierane przez mieszkańców. Daje możliwość zagospodarowania większych ilości wód opadowych w wyniku ewapotranspiracji. Dla prawidłowego funkcjonowania rozwiązań z wykorzystaniem roślinności niezbędne jest odpowiednie podłoże. Powinno ono być przepuszczalne i zawierać niezbędne dla rozwoju roślin ilości składników pokarmowych. Stosowane mieszanki, określane jako „gleba wzbogacona”, zawierają zwykle piaski lub pospółki (50–60%), kompost, torf lub inny materiał organiczny (20–40%) oraz glebę urodzajną (0–30%). Ważne jest, aby były one prawidłowo przygotowane, równomiernie wymieszane, wolne od zanieczyszczeń i zarodników oraz spełniały warunek odpowiedniej wodoprzepuszczalności. Tego typu podłoża są już dostępne w Polsce.

Warto podkreślić, iż prezentowane w Katalogu przykłady zrównoważonego zagospodarowania wód opadowych mogą być ze sobą łączone w bardziej rozbudowane układy, np. woda z dachu zielonego może być odprowadzana do muldy chłonnej. Połączenie kilku różnych rozwiązań stwarza możliwość budowy systemu tzw. zielono niebieskich rozwiązań (ang. *blue-green infrastructure*). Budowanie nowoczesnych, przyjaznych środowisku rozwiązań zagospodarowania wód opadowych powinno w konsekwencji doprowadzić do istotnego ograniczenia lub wręcz rezygnacji z użytkowania systemów tradycyjnych.

Podczyszczanie spływów z dróg

Skład ilościowy i jakościowy spływów deszczowych i roztopowych charakteryzuje się dużą zmiennością ze względu na nieregularność zjawiska, jakim jest opad, różny stopień zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego oraz powierzchni spływu. W przypadku ciągów komunikacyjnych, szczególnie tych o dużym natężeniu ruchu, spływy opadowe i roztopowe mogą zawierać znaczne ilości zanieczyszczeń. Jednym z istotnych zanieczyszczeń identyfikowanych w spływach są zawiesiny będące nośnikiem innych zanieczyszczeń, w tym jonów metali ciężkich, substancji biogeny i organicznych. Źródłem ich pochodzenia są przede wszystkim gazy spalinowe, produkty ściernic tarcz hamulcowych i opon, produkty zużywających się nawierzchni drogowych, środki używane do zimowego utrzymania dróg oraz zanieczyszczenia gazowe i pyłowe wypływające w czasie opadu z powietrza atmosferycznego.

Sposobów na oczyszczenie spływów opadowych i roztopowych jest wiele. Można do tego celu użyć standardowych rozwiązań inżynierskich, takich jak osadniki, separatory substancji ropopochodnych, piaskowniki lub układy mieszane z wykorzystaniem tych urządzeń. Można

też podczyszczać spływy za pomocą proponowanych w Katalogu systemów do lokalnego zagospodarowania wód opadowych. Stosując systemy do infiltracji lub retencji i infiltracji spływów z dróg, można zatrzymać znaczną ilość zanieczyszczeń, wykorzystując do tego celu aktywne substraty (np. w korytkach filtracyjnych z substratem), roślinność (np. w ogrodach deszczowych, obiektach hydrofitowych) lub warstwę filtracyjną gruntu albo kruszywa (np. w rowach infiltracyjnych, zbiornikach infiltracyjnych). Najlepsze efekty oczyszczania wód opadowych otrzymuje się w systemach z roślinnością. W przypowierzchniowej warstwie zazielenionego gruntu (o grubości ok. 30 cm) następuje redukcja zanieczyszczeń, w szczególności zawiesin, ale także metali ciężkich, substancji ropopochodnych i substancji organicznych. Efekt oczyszczania jest zależny od pory roku i intensywności spływu wód opadowych i roztopowych oraz przepuszczalności i rodzaju podłoża. Grunty działają jak filtry i zatrzymują lub rozkładają szkodliwe substancje poprzez procesy sedymentacji, filtracji, absorpcji, wymiany jonowej oraz strącania i rozkładu mikrobiologicznego. Wyniki badań prowadzonych przez wiele jednostek naukowo-badawczych zarówno w kraju, jak i za granicą wykazują, że dla większości systemów, w których rozsądzanie jest możliwe, efektywność podczyszczania jest bardzo wysoka. Usunięcie zawiesin odbywa się na poziomie 80–100%, metali ciężkich 50–90%, a substancji ropopochodnych 60–80%. Warunkiem koniecznym dla uzyskania oczekiwanego efektu oczyszczania spływów opadowych poprzez infiltrację jest prawidłowa eksploatacja urządzeń chłonnych. Skuteczność oczyszczania w systemach do infiltracji lub retencji i infiltracji wzrasta w warunkach okresowego osuszenia ożywionej strefy gruntu. Dlatego tak ważne jest, tam, gdzie wymaga tego specyfika działania, opróżnianie systemu z wody w ciągu maksymalnie 48–72 godzin.

Systemy pozbawione roślinności, pomimo dużej skuteczności w opóźnianiu i zatrzymywaniu spływających wód z ciągów pieszo-jezdnych, np. studnie chłonne, skrzynki retencyjno-rozsączające, komory drenażowe, podziemne zbiorniki retencyjne, mają niewielką skuteczność oczyszczania spływów. Z tego względu przed wprowadzeniem za ich pomocą wód opadowych i roztopowych do gruntu lub innego odbiornika systemy te powinny być poprzedzone ww. urządzeniami do podczyszczania wód opadowych, tj. osadnikami, separatorami substancji ropopochodnych, piaskownikami lub układami mieszanymi z tych urządzeń. Ich dobór powinien wynikać z wnikliwej analizy aktualnych przepisów w zakresie ochrony środowiska, wytycznych producentów urządzeń, charakterystyki jakościowej spływów oraz uwarunkowań lokalizacyjnych (rodzaju drogi, natężenia ruchu pojazdów, dostępności terenu pod inwestycję itp.).

4. Rośliny do zrównoważonych systemów zagospodarowania wód opadowych

Prawidłowe funkcjonowanie wielu rozwiązań prezentowanych w Katalogu wymaga odpowiedniego doboru roślin. Nowoczesne rozwiązania zagospodarowania wód opadowych i roztopowych – takich jak mulda chłonna, ogród deszczowy, wypustka uliczna – to założenia roślinne niewymagające wielkich nakładów pielęgnacyjnych. Wykorzystuje się w nich rośliny wieloletnie (trawy, byliny, krzewy oraz drzewa), które są w stanie przetrwać okresowe susze, jak również okresowe zalanie. W większości systemów wykorzystujących rośliny wyróżnia się trzy strefy ich bytowania: głęboką, środkową i brzegową.

Strefa głęboka

Obszar ten jest najgłębszy i utrzymuje najwięcej wody przez większość czasu. Gatunki do tej strefy są odporne na warunki zalania na wysokość powyżej 20 cm, co oznacza, że mogą tolerować stojącą wodę przez pewien czas. Ważne, aby woda mogła infiltrować w ciągu 24–48 godzin.

Strefa środkowa

Obszar ten utrzymuje wodę, ale znacznie krócej niż strefa głęboka. W tej strefie poziom wody może sięgać kilkunastu centymetrów.

Strefa brzegowa

Strefa ta obejmuje obszar przejściowy między rozwiązaniem zagospodarującym spływy a strefą poza nim. Obszar ten rzadko zatrzymuje wodę – tylko podczas bardzo ulewnych deszczy – opada ona tu najszybciej. Niezależnie od wymienionych uwarunkowań w mieście najbardziej pożądane są gatunki roślin rodzimych. Są one najlepiej przystosowane do polskich warunków glebowych i klimatycznych, co zapewnia możliwość niskich nakładów na ich utrzymanie, ale przede wszystkim zapewnia zwiększoną bioróżnorodność. Rośliny te stanowią źródło pożywienia dla zapylaczy oraz innych bezkręgowców i kręgowców (w tym dla ptaków i ssaków), zapewnia im także kryjówkę i zimowe schronienie. Przykładowe gatunki traw, bylin, krzewów, drzew i roślin przeznaczonych do wykorzystania w konstrukcjach systemów bioretencji zamieszczono w tabelach poniżej.

Legenda:

B – do strefy brzegowej; S – do strefy środkowej; G – do strefy głębokiej

Gatunki rodzime – Byliny

Nazwa polska	Nazwa łacińska	Strefa
Dąbrówka rozłogowa	<i>Ajuga reptans</i>	S
Dzwonek okrągłolistny	<i>Campanula rotundifolia</i>	B, S
Jastruń właściwy	<i>Leucanthemum vulgare</i>	B, S
Knieć błotna	<i>Caltha palustris</i>	S, G
Kosaciec syberyjski	<i>Iris sibirica</i>	S
Kosaciec żółty	<i>Iris pseudacorus</i>	S, G
Krwawnica pospolita	<i>Lythrum salicaria</i>	S, G
Krwawnik pospolity	<i>Achillea millefolium</i>	B
Pełnik europejski	<i>Trollius europaeus</i>	S
Sadziec konopiasty	<i>Eupatorium cannabinum</i>	S
Smotrawa okazała	<i>Telekia speciosa</i>	S
Tatarak zwyczajny	<i>Acorus calamus</i>	G
Tojeść kropkowana	<i>Lysimachia punctata</i>	S
Tojeść rozestłana	<i>Lysimachia nummularia</i>	S, G
Wiązówka błotna	<i>Filipendula ulmaria</i>	S, G

Gatunki rodzime – Trawy, turzyce, sity

Pałka szerokolistna	<i>Typha latifolia</i>	G
Pałka wąskolistna	<i>Typha angustifolia</i>	G
Sit rozpięchły	<i>Juncus effusus</i>	S, G
Turzyca nitkowata	<i>Carex lasiocarpa</i>	G
Turzyca sztywna	<i>Carex stricta</i>	G
Turzyca zwisła	<i>Carex pendula</i>	S, G

Gatunki rodzime – Paprocie

Nazwa polska	Nazwa łacińska	Strefa
Długosz królewski	<i>Osmunda regalis</i>	S, G
Narecznica samcza	<i>Dryopteris filix-mas</i>	S
Narecznica szerokolistna	<i>Dryopteris dilatata</i>	S
Pióropusznik strusi	<i>Matteuccia struthiopteris</i>	S
Wietlica samcza	<i>Athyrium filix-femina</i>	S

Gatunki rodzime – Krzewy

Nazwa polska	Nazwa łacińska
Bez czarny	<i>Sambucus nigra</i>
Kalina koralowa	<i>Viburnum opulus</i>
Porzeczka krwista	<i>Ribes sanguineum</i>
Rokitnik pospolity	<i>Hippophae rhamnoides</i>

Gatunki rodzime – Drzewa

Nazwa polska	Nazwa łacińska
Olsza szara	<i>Alnus incana</i>
Wierzba	<i>Salix sp.</i>

Gatunki obce – Byliny

Nazwa polska	Nazwa łacińska	Strefa
Amorfa krzewiasta	<i>Amorpha fruticosa</i>	B, S, G
Stroiczka czerwona	<i>Lobelia cardinalis</i>	S, G
Tojeść orszelinowata	<i>Lysimachia clethroides</i>	S
Babtysia południowa	<i>Baptisia australis</i>	S

Amsonia Hubrichta	<i>Amsonia hubrichtii</i>	S
Amsonia	<i>Amsonia tabernaemontana</i>	S
Trojeść bulwiasta	<i>Asclepias tuberosa</i>	S
Sadziec	<i>Eupatorium dubium</i>	S, G
Sadziec purpurowy	<i>Eupatorium purpureum</i>	S, G
Ciemniak cuchnący	<i>Helleborus foetidus</i>	S
Ciemniak ogrodowy	<i>Helleborus hybridus</i>	S
Liliowiec w odm.	<i>Hemerocallis cv.</i>	B, S,
Funkia w odm.	<i>Hosta cv.</i>	S
Kosaciec mieczolistny	<i>Iris ensata</i>	G
Kosaciec Luizjański	<i>Iris louisiana</i>	G
Odętka wirginijska	<i>Physostegia virginiana</i>	B, S
Ketmia bagienna	<i>Hibiscus moscheutos</i>	S, G

Gatunki obce – Trawy, Turzyce, Sity

Nazwa polska	Nazwa łacińska	Strefa
Proso różgowe	<i>Panicum virgatum</i>	S
Turzyca sp.	<i>Carex sp.</i>	B, S, G

Gatunki obce – Paprocie

Nazwa polska	Nazwa łacińska	Strefa
Onoklea wrażliwa	<i>Onoclea sensibilis</i>	S
Wietlica japońska	<i>Athyrium niponicum</i>	S

Gatunki obce – Krzewy

Nazwa polska	Nazwa łacińska
Śnieguliczka biała	<i>Symphoricarpos albus</i>
Pęcherznica kalinolistna	<i>Physocarpus opulifolius</i>
Tawuła szara	<i>Spiraea cinerea</i>
Ketmia syryjska	<i>Hibiscus syriacus</i>
Jałowiec wirginijski	<i>Juniperus virginiana</i>

Gatunki obce – Drzewa

Nazwa polska	Nazwa łacińska
Klon czerwony	<i>Acer rubrum</i>
Wiązowiec zachodni	<i>Celtis occidentalis</i>
Grujecznik japoński	<i>Cercidiphyllum japonicum</i>
Oczar wirginijski	<i>Hamamelis virginiana</i>
Ambrowiec amerykański	<i>Liquidambar styraciflua</i>
Metasekwoja chińska	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>
Sosna czarna	<i>Pinus nigra</i>
Platan klonolistny	<i>Platanus acerifolia</i>
Cypyśnik błotny	<i>Taxodium distichum</i>
Żywotnik zachodni	<i>Thuja occidentalis</i>
Wiąz drobnolistny	<i>Ulmus parvifolia</i>

Legenda:

B – do strefy brzegowej; S – do strefy środkowej; G – do strefy głębokiej

Rośliny, których można użyć do nasadzeń na zielonych dachach (ekstensywnych)

Nazwa polska	Nazwa łacińska
Rozchodnik biały	<i>Sedum album</i>
Rozchodnik ostry	<i>Sedum acre</i>
Rozchodnik biały w odm. Murale	<i>Sedum albym 'Murale'</i>
Rozchodnik niebieski	<i>Sedum cyaneum</i>
Rozchodnik Ewersa	<i>Sedum ewersii</i>
Rozchodnik siny	<i>Sedum hispanicum</i>
Rozchodnik kamczacki	<i>Sedum kamtschaticum</i>
Rozchodnik oregoński	<i>Sedum oreganum</i>
Rozchodnik ościsty	<i>Sedum reflexum</i>
Rozchodnik sześciorzędowy	<i>Sedum sexangulare</i>
Rozchodnik kaukaski	<i>Sedum spurium album</i>
Rojnik murowy	<i>Sempervivum tectorum</i>
Czosnek szczypiorek	<i>Allium schoenoprasum</i>

Rośliny do wykorzystania w celu wykonania zielonego dachu bioróżnorodnego (gatunki rodzime)

Nazwa polska	Nazwa łacińska
Bodiszek czerwony	<i>Geranium sanguineum</i>
Drżączka średnia	<i>Briza media</i>
Goździk kartuzek	<i>Dianthus carthusianorum</i>
Goździk kropkowany	<i>Dianthus deltoides</i>
Jastrzębiec kosmaczek	<i>Hieracium pilosella</i>
Kostrzewa	<i>Festuca ovina</i>

Kostrzewa sina	<i>Festuca glauca</i>
Lebiodka pospolita	<i>Origanum vulgare</i>
Lepnica lepka	<i>Silene viscosa</i>
Macierzanka cytrynowa	<i>Thymus citriodorus</i>
Macierzanka piaskowa	<i>Thymus serpyllum</i>
Ożota zwyczajna	<i>Galatella linostris</i>
Ostnica włosowata	<i>Stipa capillata</i>
Perłówka orzęsiona	<i>Melica ciliata</i>
Przelot pospolity	<i>Anthyllis vulneraria</i>
Sesleria skalna	<i>Sesleria varia</i>
Skalnica gronkowa	<i>Saxifraga paniculata</i>
Skalnica nakrapiana	<i>Saxifraga aizoides</i>
Smagliczka górską	<i>Alyssum montanum</i>
Szałwia łąkowa	<i>Salvia pratensis</i>
Szałwia okrągowa	<i>Salvia verticillata</i>
Strzępica Schillera	<i>Koeleria glauca</i>
Jastrun właściwy	<i>Leucanthemum vulgare</i>

Rośliny polecane do systemów hydrofitowych (gatunki rodzime)

Nazwa polska	Nazwa łacińska	Zastosowanie
Kotewka orzech wodny	<i>Trapa natans</i>	T
Jeżogłówka gałęzista	<i>Sparganium erectum</i>	P
Kosaciec żółty	<i>Iris pseudacorus</i>	P
Krwawnica pospolita	<i>Lythrum salicaria</i>	B, P

Niezapominajka błotna	<i>Myosotis palustris</i>	B, P
Grąźel żółty	<i>Nuphar lutea</i>	G
Grzybień sp.	<i>Nymphaea sp.</i>	G
Kaczeniec błotny	<i>Caltha palustris</i>	P, B
Jaskier wielki	<i>Ranunculus lingua</i>	P, B
Narecznica błotna	<i>Thelypteris palustris</i>	P, B
Fiołek błotny	<i>Viola palustris</i>	B
Rdestnica kędzierzawa	<i>Potamogeton crispus</i>	T
Rdestnica grzebieniasta	<i>Stuckenia pectinata</i>	T
Strzałka wodna	<i>Sagittaria sagittifolia</i>	P
Mięta wodna	<i>Mentha aquatica</i>	P, B
Przetacznik bobowniczek	<i>Veronica beccabunga</i>	P
Łączęć baldaszkowaty	<i>Butomus umbellatus</i>	P
Tatarak zwyczajny	<i>Acorus calamus</i>	P
Pałka szerokolistna	<i>Typha latifolia</i>	P
Pałka wąskolistna	<i>Typha angustifolia</i>	P
Sit rozpierzchły	<i>Juncus effusus</i>	P, B
Turzyca nitkowata	<i>Carex lasiocarpa</i>	P, B
Turzyca sztywna	<i>Carex stricta</i>	P, B
Turzyca zwisła	<i>Carex pendula</i>	P, B
Ponikło błotne	<i>Eleocharis palustris</i>	P
Oczeret biały	<i>Scirpetum lacustris</i>	P
Grzybieńczyk wodny	<i>Nymphoides peltata</i>	G
Trzcina pospolita	<i>Phragmites australis</i>	P, B

Manna mielec	<i>Glyceria maxima</i>	P, B
Mozga trzcinowata	<i>Phalaris arundinacea</i>	P, B
Rzęsa drobna	<i>Lemna minor</i>	T
Salwinia pływająca	<i>Salvinia natans</i>	T
Osoka aloesowata	<i>Stratiotes aloides</i>	T

Legenda:

G – strefa wody głębokiej; P – strefa wody płytkiej; B – strefa brzegowa; T – toń wodna

Osobnym, niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania alternatywnych systemów odprowadzania wód spływowych do gruntu zagadnieniem jest zapewnienie roślinności odpowiednich warunków do vegetacji. Na terenach zurbanizowanych podstawowy problem stanowi stosowanie soli do zimowego utrzymania dróg. Najczęściej stosowany chlorek sodu (NaCl) działa toksycznie na rośliny zarówno poprzez podłoże, jak i w postaci rozpylonej. Gleba przy drogach zanieczyszczona solą znajduje się w pasach o szerokości 7–10 m. Kontakt z solą rośliny doświadczają w wyniku rozproszenia soli w powietrzu w postaci aerozolu opadającego na części nadziemne roślin, w efekcie czego sól osadza się na ich tkankach. Drugi aspekt negatywnego działania soli na rośliny polega na jej gromadzeniu się w glebie. Powtarzające się stosowanie soli drogowej prowadzi m.in. do wzrostu stężenia roztworu glebowego, co utrudnia – wręcz uniemożliwia – pobieranie wody przez rośliny. Istnieje wiele zamienników NaCl skutecznie stosowanych w miastach europejskich. Do najczęściej wybieranych należą: piasek i inne kruszywa, chlorek magnezu ($MgCl_2$), chlorek wapnia ($CaCl_2$), tuf czy chlorek potasu (KCl). Niestety poza piaskiem i kruszywami żadna z wymienionych substancji, gdy są stosowane w nadmiarze, nie pozostaje bez wpływu na roślinność. Są one jednak zdecydowanie mniej szkodliwe niż najtańszy chlorek sodu [Dąbrowska i in. 2014]. Przykładowe gatunki roślin wykazujące zwiększoną odporność na sól (NaCl) zamieszczono w tabeli.

Rośliny odporne na sól drogową (NaCl)

Byliny

Nazwa polska	Nazwa łacińska	Rodzaj odporności na sól
Bylica Schmidta	<i>Artemisia schmidtiana</i>	bd
Jeżówka purpurowa	<i>Echinacea purpurea</i>	bd
Kostrzewa sp.	<i>Festuca sp.</i>	bd
Liliowiec w odm.	<i>Hemerocallis cv.</i>	bd
Perowskia łobodolistna	<i>Perovskia atriplicifolia</i>	bd
Piórkówka japońska	<i>Pennisetum alopecuroides</i>	bd
Przegorzan tauryski	<i>Echinops bannaticus</i>	bd
Rozchodnik okazały	<i>Sedum spectabile</i>	bd
Trzcinnik ostrokwiatowy	<i>Calamagrostis acutiflora</i>	bd
Ubiorek wiecznie zielony	<i>Iberis sempervirens</i>	bd
Zatrwian szerokolistny	<i>Limonium latifolium</i>	bd
Zawciąg nadmorski	<i>Armeria maritima</i>	bd
Złocień (wrotycz) maruna	<i>Tanacetum parthenium</i>	bd

Krzewy i drzewa

Bluszcz pospolity	<i>Hedera helix</i>	bd
Dąb szypułkowy	<i>Quercus robur</i>	K
Iglicznia trójcierniowa	<i>Gleditsia triacanthos</i>	G, K
Jaśminowiec wonny	<i>Philadelphus coronarius</i>	bd
Jesion wyniosły	<i>Fraxinus excelsior</i>	G, K
Karagana syberyjska	<i>Caragana arborescens</i>	G, K
Klon ginnala	<i>Acer tataricum ssp. ginnala</i>	G, K

Klon polny	<i>Acer campestre</i>	G, K
Młorząd japoński	<i>Ginkgo biloba</i>	K
Oczar sp.	<i>Hamamelis spp.</i>	bd
Oliwnik wąskolistny	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	G, K
Olsza szara	<i>Alnus glutinosa</i>	K
Platan klonolistny	<i>Platanus acerifolia</i>	K
Porzeczka alpejska	<i>Ribes alpinum</i>	G, K
Robinia biała	<i>Robinia pseudoacacia</i>	G, K
Róża pomarszczona	<i>Rosa rugosa</i>	G, K
Szupin japoński	<i>Sophora japonica</i>	G
Tawuła Van Houtte'a	<i>Spiraea x vanhouttei</i>	bd
Winobluszcz pięciolistkowy	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	bd

Legenda:

K – przez kontakt; G – z gleby; bd – brak danych

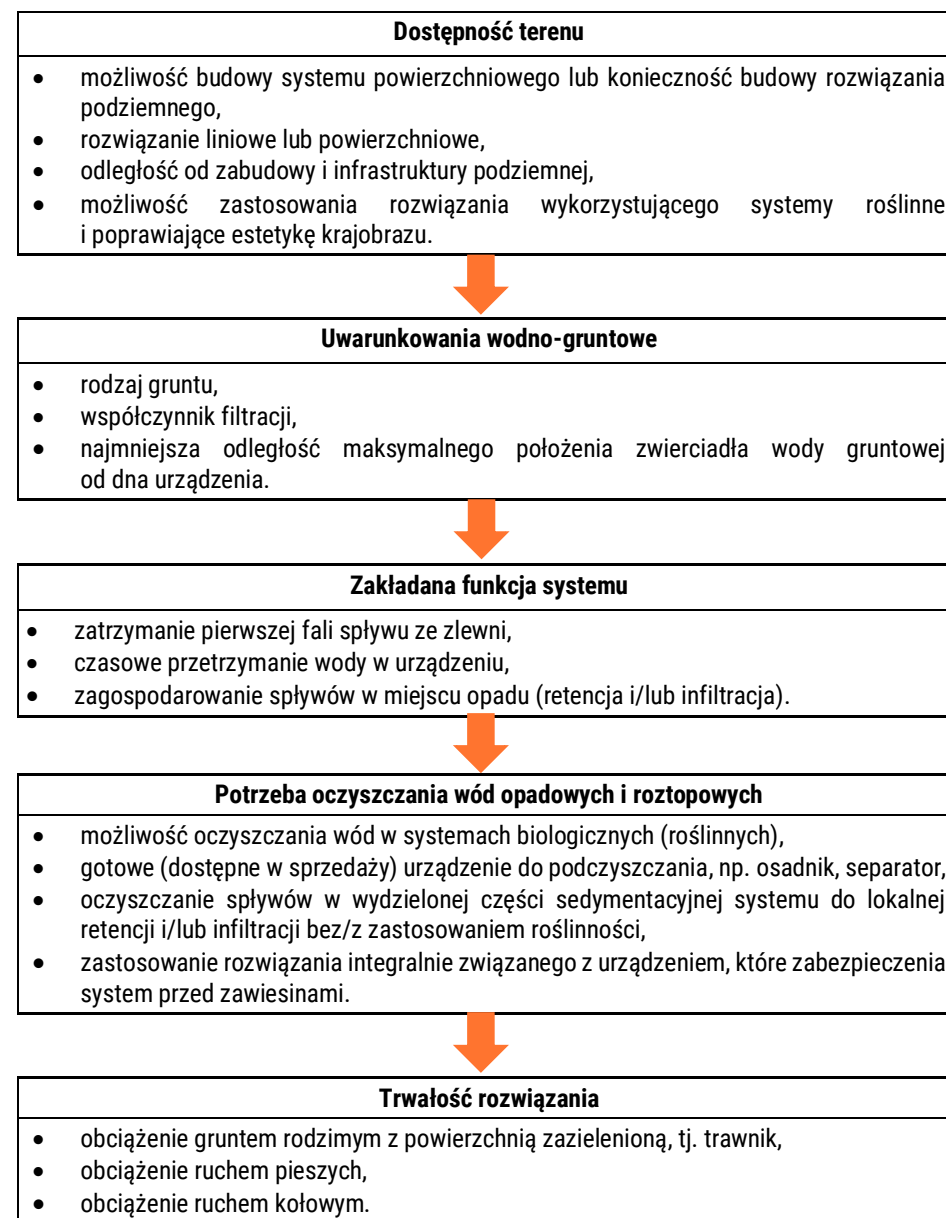
5. Wybór systemu do lokalnego zagospodarowania wód opadowych i roztopowych

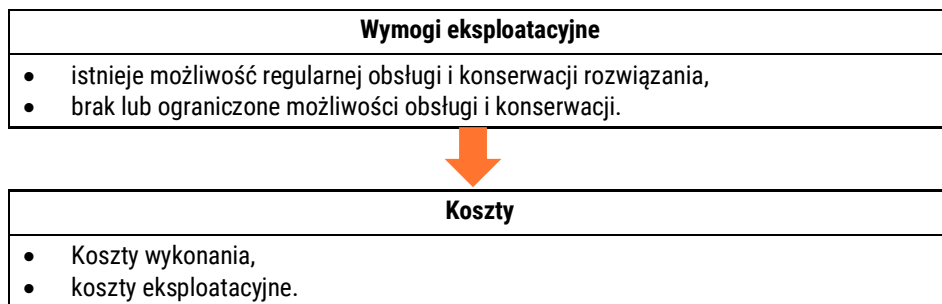
Wybór systemu do zagospodarowania spływów opadowych i roztopowych wymaga podejścia indywidualnego do każdego projektu. Tym samym należy każdorazowo rozpoznać uwarunkowania lokalne istniejące na terenie przyszłej inwestycji oraz w miejscach przylegających. Uwarunkowania te determinują zarówno rodzaj i wielkość urządzenia, jak i skuteczność oczyszczania, walory estetyczne, wysokość kosztów eksploatacji, a w konsekwencji efektywność finansową inwestycji. Zaleca się, aby w pierwszej kolejności rozpatrywać możliwość zastosowania systemów powierzchniowych, gdyż są łatwiejsze w eksploatacji, a w razie stwierdzenia jakichkolwiek nieprawidłowości w ich funkcjonowaniu łatwiej podjąć działania naprawcze. Metody

podziemne znajdują zastosowanie przede wszystkim na obszarach, na których brakuje miejsca do powierzchniowego gromadzenia wody.

Do niezbędnych prac poprzedzających projekt należy zaliczyć przeprowadzenie badań hydrogeologicznych mających na celu określenie warunków gruntowo-wodnych na terenie przyszłej lokalizacji obiektu. W trakcie ww. badań powinny zostać rozpoznane położenie maksymalnego poziomu zwierciadła wody gruntowej oraz rodzaje gruntów i ich współczynniki filtracji. Urządzenia do infiltracji wód opadowych powinny być wykonywane w gruntach o współczynniku filtracji (k) mieszczącym się w przedziale 10^{-3} – $10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (tabela nr 1). Grunty o współczynnikach filtracji mniejszych niż $10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ wymagają długiego czasu wsiąkania lub są w praktyce nieprzepuszczalne. Projektowane w takich warunkach urządzenia muszą mieć większą objętość lub ich funkcja musi się ograniczyć tylko do czasowej retencji z odprowadzeniem nadmiaru wód do odbiornika (sieć kanalizacyjna, rów melioracyjny itd.). W przypadku gruntów o wysokich współczynnikach filtracji (większych niż $10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) ze względu na szybki proces przepływu wody w gruncie sprawność oczyszczania wód w złożach gruntowych oraz przez roślinność może być obniżona. Na możliwość podczyszczenia spływów z powierzchni pasów drogowych w gruncie wpływa także poziom zalegania zwierciadła wody gruntowej. Zalecane jest, aby minimalna odległość pomiędzy dnem warstwy rozsączającej a maksymalnym poziomem wody gruntowej wynosiła minimum 1,5 m (patrz rozdział 2). Jest to najczęściej głębokość wystarczająca, aby umożliwić oczyszczanie wód opadowych i ochronę wód podziemnych przed zanieczyszczeniem. W strefie aeracji zachodzą procesy biochemiczne oraz sorpcja z udziałem zanieczyszczeń zawartych w wodach opadowych. Porośnięte roślinnością systemy o wydłużonym czasie retencji wody wspomagają oczyszczanie spływów odprowadzanych z nawierzchni drogowych (patrz rozdział 3).

Przed montażem gotowych systemów, tj. komór drenażowych czy skrzynek retencyjno-rozsączających, wytyczne dla ich doboru należy uzgodnić z producentem. Przy montażu, szczególnie w przypadku systemów podziemnych, zalecane jest wykonanie dokumentacji fotograficznej. Dla zapewnienia długotrwałego działania systemu niezbędne jest zaplanowanie w fazie projektu właściwej eksploatacji i konserwacji. Zalecane jest sporządzanie harmonogramu powyższych prac. Ideowy schemat decyzyjny przedstawiający czynniki, które należy wziąć pod uwagę na etapie projektu systemu, zamieszczono poniżej. Przy korzystaniu ze schematu pomocne mogą okazać się tabele ze wskaźnikami opisujące poszczególne rozwiązania (patrz rozdział 7) oraz informacje zawarte w rozdziale 3.





6. Podstawowe zalety i zasady budowy systemów do lokalnego gospodarowania wodami opadowymi

Podstawowe zalety wynikające ze stosowania zrównoważonych systemów zagospodarowania wód opadowych można przedstawić w kilku punktach, podobnie jak zasady dotyczące ich budowy. Do najważniejszych z nich należą:

Zalety

1. Wody opadowe i roztopowe trafiają do gruntu zamiast do kanalizacji, tym samym odciążają obiekty podziemnej infrastruktury technicznej.
2. Wody są wykorzystywane przez roślinność, wpływając na poprawę mikroklimatu i oczyszczanie spływów wód opadowych i roztopowych.
3. Dzięki zastosowaniu lokalnej retencji i infiltracji zmniejszają się koszty obsługi tradycyjnego systemu kanalizacji i oczyszczalni ścieków.
4. Zwiększenie ilości roślinności w mieście korzystnie wpływa na samopoczucie mieszkańców, jak i na jakość powietrza i ograniczenie zjawiska miejskiej wyspy ciepła.
5. Zretencjonowane wody można wykorzystać np. do nawodnień zieleni miejskiej.

Zasady

1. Planuj ciągi komunikacyjne powyżej terenu z roślinnością.
2. W podłożu stosuj przepuszczalne gleby i grunty, zachowaj rodzimą roślinność.

3. Pamiętaj o właściwych spadkach i przelewach awaryjnych w projektowanych systemach.
4. Stosuj rośliny do oczyszczania wód deszczowych i roztopowych.
5. Po wprowadzeniu roślin do założenia daj im czas na adaptację do nowego siedliska.
6. Zmień nastawienie swoje, a potem pozostałych mieszkańców – wody opadowe to cenny zasób naturalny.
7. Pamiętaj – karty rozwiązań zawarte w Katalogu to nie projekty!

7. Macierz stosowania kart katalogowych i wskaźniki ich doboru

Macierz rozwiązań projektowych oraz wskaźniki opisujące możliwości i ograniczenia poszczególnych rozwiązań przedstawiono w tabelach 2–5.

Tabela 2 – Macierz stosowania kart katalogowych

Lp.	Rodzaj rozwiązania	Drogi szybkiego ruchu i główne	Ulice zbiorcze i lokalne	Drogi dojazdowe i wewnętrzne	Drogi dla rowerów	Chodniki	Infrastruktura przystankowa	Place i parkingi
1	Muldy chłonne							
2	Geokompozyty sorbujące wodę							
3	Ogrody deszczowe							
4	Wypustki uliczne							
5	Konstrukcje magazynujące wodę wokół drzew							
6	Dachy zielone							
7	Powierzchnie przepuszczalne zadarnione lub żwirowe							
8	Obiekty hydrofitowe							
9	Zbiorniki infiltracyjne							
10	Rowy infiltracyjne							
11	Suche zbiorniki retencyjne							
12	Zbiorniki odparowujące							
13	Powierzchniowe zbiorniki retencyjne							
14	Powierzchnie przepuszczalne ażurowe							
15	Podziemne zbiorniki retencyjne							
16	Korytka filtracyjne							
17	Studnie chłonne							
18	Skrzynki retencyjno-rozsączające							
19	Komory drenażowe							
20	Zielone przystanki							

Legenda:

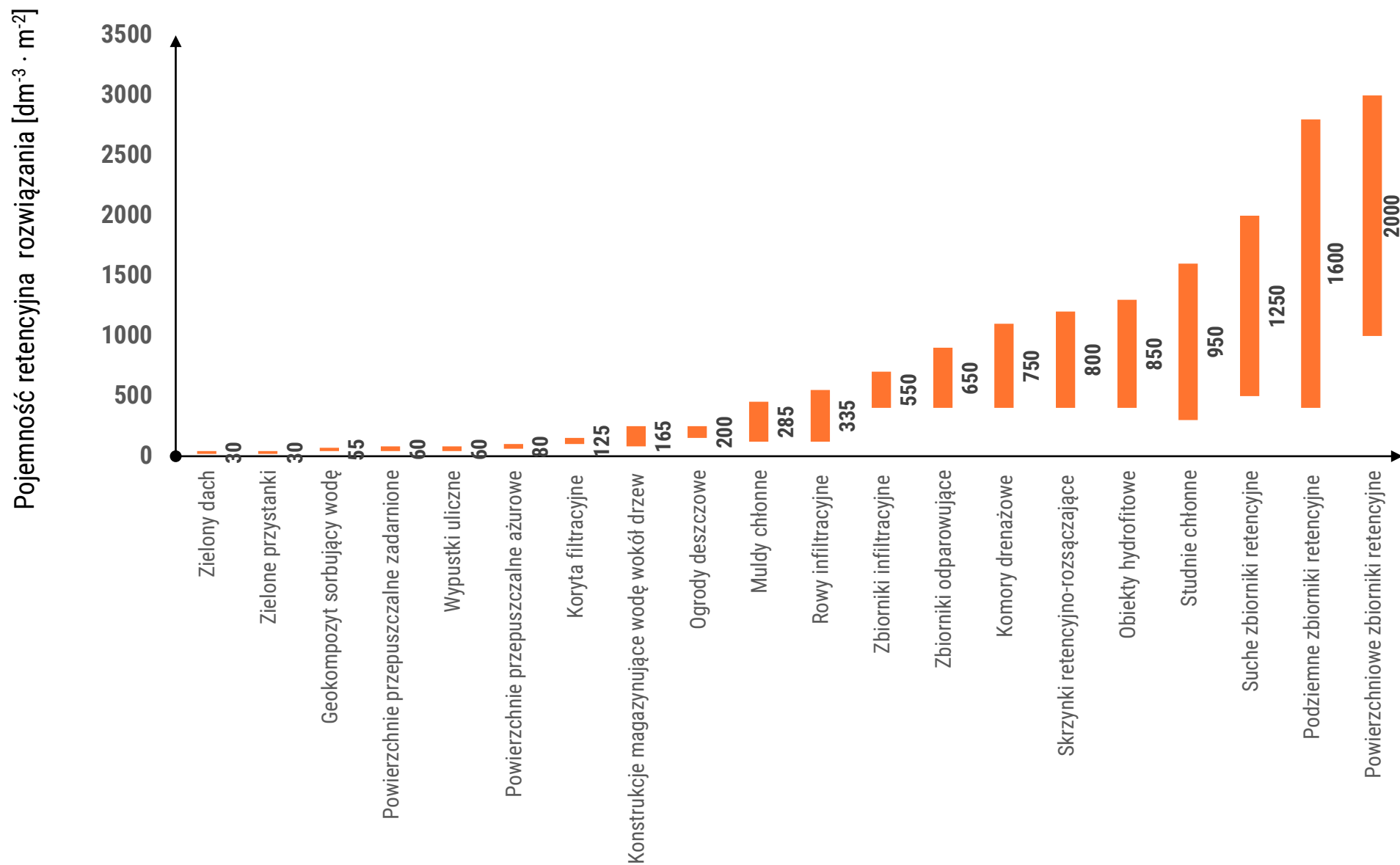


Rozwiązanie nadaje się do zastosowania

Tabela 3 – Oszacowanie zdolności retencyjnych opracowanych rozwiązań

Lp.	Rodzaj rozwiązania	Minimalna poj. retencyjna [dm ³ · m ⁻²]	Maksymalna poj. retencyjna [dm ³ · m ⁻²]	Średnia poj. retencyjna [dm ³ · m ⁻²]
1	Mulda chłonna	120	450	285
2	Geokompozyty sorbuujące wodę	40	70	55
3	Ogród deszczowy	150	250	200
4	Wypustka uliczna	40	80	60
5	Konstrukcje magazynujące wodę wokół drzew	80	250	165
6	Zielone dachy	20	40	30
7	Powierzchnie przepuszczalne zadarnione lub żwirowe	40	80	60
8	Obiekty hydrofitowe	400	1300	850
9	Zbiorniki infiltracyjne	400	700	550
10	Rowy infiltracyjne	120	550	335
11	Suche zbiorniki retencyjne	500	2000	1250
12	Zbiorniki odparowujące	400	900	650
13	Powierzchniowe zbiorniki retencyjne	1000	3000	2000
14	Powierzchnie przepuszczalne ażurowe	60	100	80
14	Korytka filtracyjne	100	150	125
15	Podziemne zbiorniki retencyjne	400	2800	1600
17	Studnia chłonna	300	1600	950
18	Skrzynki retencyjno-rozsączające	400	1200	800
19	Komory drenażowe	400	1100	750
20	Zielone przystanki	20	40	30

Wykres pojemności retencyjnej rozwiązań



Etykiety – opisują średnią wartość pojemności retencyjnej rozwiązania [$\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$]

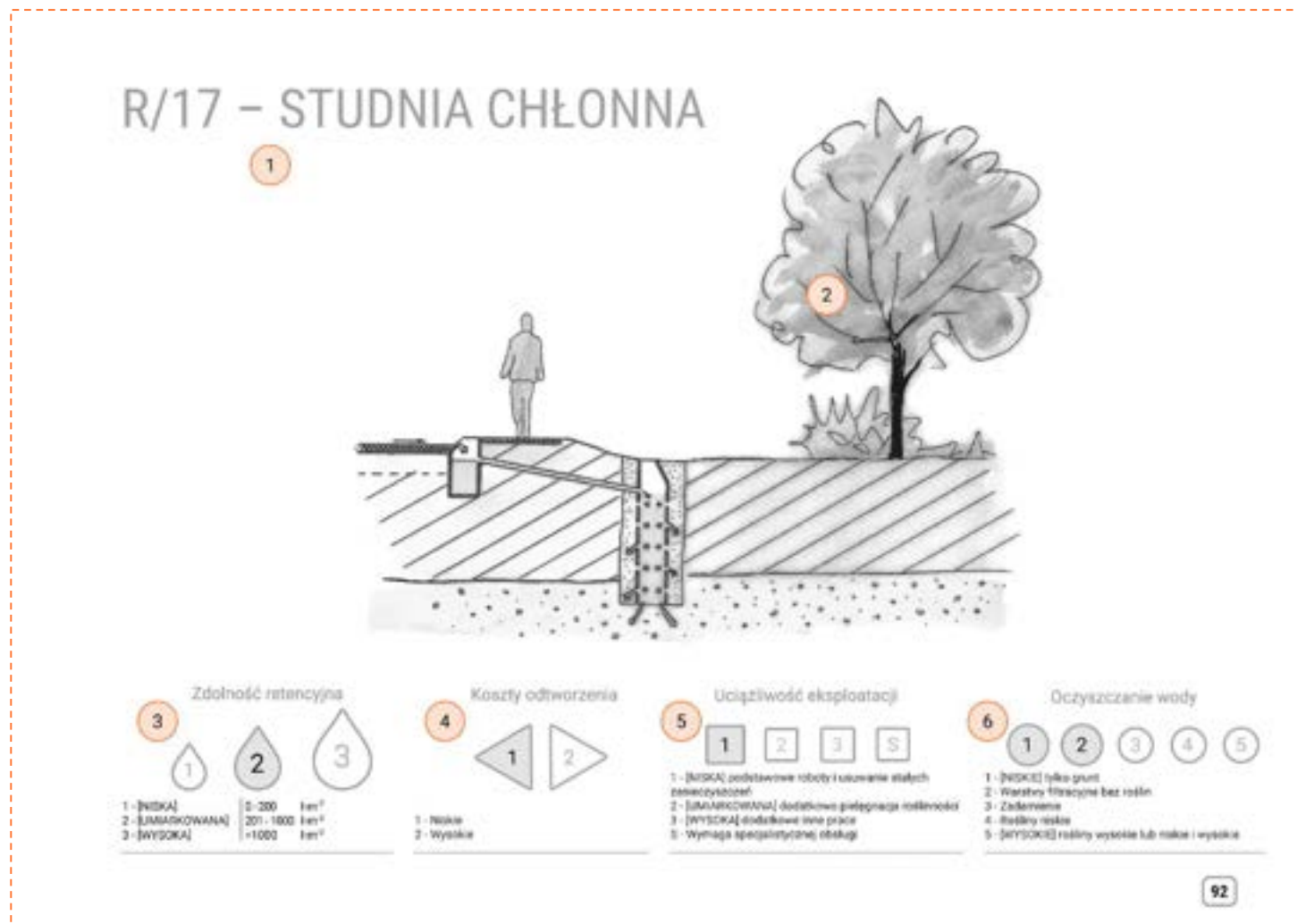
Tabela 4 – Wskaźniki podstawowe

Lp.	Rodzaj rozwiązania	Zdolność retencyjna	Koszty odtworzenia	Uciążliwość eksploatacji	Oczyszczanie wody
1	Muldy chłonne	2	1	2	3–5
2	Geokompozyty sorbujące wodę	1	1	1	2
3	Ogrody deszczowe	2	1	2	4
4	Wypustki uliczne	1	1–2	1–2, S	3–5
5	Konstrukcje magazynujące wodę wokół drzew	1	2	2, S	5
6	Dachy zielone	1	2	2	4
7	Powierzchnie przepuszczalne zadarnione	1	1	1	3
8	Obiekty hydrofitowe	2	2	2	5
9	Zbiorniki infiltracyjne	2	2	1	3–4
10	Rowy infiltracyjne	2	1	1	2
11	Suche zbiorniki retencyjne	3	2	3, S	2–3
12	Zbiorniki odparowujące	2	2	3, S	1–3
13	Powierzchniowe zbiorniki retencyjne	3	2	3, S	2–3
14	Powierzchnie przepuszczalne ażurowe	1	1	1	1
15	Podziemne zbiorniki retencyjne	3	2	3, S	1
16	Koryta filtracyjne	1	1	1	2
17	Studnie chłonne	2	1	1	1–2
18	Skrzynki retencyjno-rozsączające	2	1	1	1
19	Komory drenażowe	2	1	1	2
20	Zielone przystanki	1	2	2	4
Legenda:		1 – niska	1 – niskie	1 – niska	1 – niskie, tylko grunt
		2 – umiarkowana	2 – wysokie	2 – umiarkowana	2 – warstwy filtracyjne bez roślin
		3 – wysoka		3 – wysoka	3 – zadarnienie
				S – wymaga specjalistycznej obsługi	4 – roślinność niska
					5 – roślinność niska i wysoka lub wysoka

Tabela 5 – Wskaźniki dodatkowe

Lp.	Rodzaj rozwiązania	Wymagana obecność roślinności	Obecność w podłożu gruntów niespoistych	Obecność w podłożu gruntów spoistych	Zabudowa zwarta	Zabudowa rozproszona
1	Muldy chłonne	1	1	2	1	1
2	Geokompozyty sorbuujące wodę	1	1	2	1	1
3	Ogrody deszczowe	1	1	2	1	1
4	Wypustki uliczne	1	1	2	1	1
5	Konstrukcje magazynujące wodę wokół drzew	1	1	2	1	1
6	Dachy zielone	1	3	3	1	1
7	Powierzchnie przepuszczalne zadarnione lub ażurowe	1	1	2	2	1
8	Obiekty hydrofitowe	1	2	2	2	1
9	Zbiorniki infiltracyjne	3	1	2	2	1
10	Rowy infiltracyjne	3	1	2	2	1
11	Suche zbiorniki retencyjne	3	2	1	2	1
12	Zbiorniki odparowujące	3	2	1	2	1
13	Powierzchniowe zbiorniki retencyjne	3	2	1	2	1
14	Powierzchnie przepuszczalne ażurowe	3	1	2	1	1
15	Podziemne zbiorniki retencyjne	2	3	3	3	3
16	Koryta filtracyjne	2	3	3	3	3
17	Studnie chłonne	2	1	2	1	1
18	Skrzynki retencyjno-rozsączające	2	1	2	1	1
19	Komory drenażowe	2	1	2	1	1
20	Zielone przystanki	1	3	3	3	3
Legenda:		1 – wymagana	1 – korzystna	1 – korzystna	1 – korzystna	1 – korzystna
		2 – niewymagana	2 – niekorzystna	2 – niekorzystna	2 – niekorzystna	2 – niekorzystna
		3 – możliwa	3 – bez znaczenia	3 – bez znaczenia	3 – bez znaczenia	3 – bez znaczenia

INSTRUKCJA CZYTANIA KART



Pierwsza strona każdej karty zawiera następujące informacje: 1 – numer i nazwa rozwiązania, 2 – szkic rozwiązania, 3 – wskaźnik zdolności retencyjnej, 4 – wskaźnik kosztów odtworzenia, 5 – wskaźnik uciążliwości eksploatacji, 6 – wskaźnik oczyszczania wody.

INSTRUKCJA CZYTANIA KART

11

Charakterystyka

Studnia chłonna (pionowe złożo) zbudowane np. z kłęgów betonowych lub polipropylenu, wypełnione całkowicie lub częściowo materiałem filtracyjnym o dużej porowatości służy do punktowej infiltracji wód opadowych do gruntu. Woda infiltruje głównie przez dno studni, dla zwiększenia jej efektywności można zastosować perforacje na ścianach bocznych. Studnie chłonne mogą być są wykorzystywane do wprowadzania wód do naturalnych lub sztucznie utworzonych warstw gruntu przepuszczalnego, często stosowane są jako elementy układów (np. z komarami drenażowymi, nieckami i rowami chłonnymi). Można je budować z elementów prefabrykowanych (betonu lub tworzyw sztucznych), możliwe jest także konstruowanie prostych studni chłonnych z materiału filtracyjnego i geosyntezy.

12

Opis działania

Do studni poprzez rurę wlotową lub przez otwory dopływowe na powierzchni terenu doprowadzana jest woda opadowa, następnie infiltruje ona do warstwy gruntu przepuszczalnego. Przeciętna głębokość studni to 2 m, dlatego ich konstrukcja jest możliwa przy zwierciadle wód gruntowych znajdującym się na dużej głębokości (1,5 m to minimalna odległość od dolnej krawędzi studni do wód gruntowych). Studnie chłonne stosuje się na płaskich terenach, gdy nie ma miejsca na zastosowanie innych rozwiązań, przy braku odbiorników wód opadowych lub gdy budowa sieci kanalizacyjnej nie jest możliwa/opłacalna. Perforacje ściany bocznej stosuje się na wysokości 1 m od dna studni. To zalecane rozwiązanie do zagospodarowania wód z dachów pokrytych materiałami ceramicznymi, betonowymi lub z tworzyw sztucznych albo innych powierzchni, z których odprowadzana jest woda z małą ilością zawieszin i zanieczyszczeń. Może być elementem układu, poprzedzonym urządzeniami o lepszej efektywności w zakresie oczyszczania wód. Dla zabezpieczenia przed kolmatacją studni chłonnych zaleca się stosowanie worków filtracyjnych z geowłókna. Worki stosuje się w przypadku studni, które nie są całkowicie wypełnione materiałem filtracyjnym. Worki łatwo się instaluje (elastyczne obcęgi) i wyjmują z instalacji. Podczas konserwacji wymienia je na nowe lub płucze strumieniem wody. Wpływa to w znaczący sposób na zatrzymywanie zawieszin i innych zanieczyszczeń stałych oraz chroni przed kolmatacją złoża filtracyjnego. Studnie chłonne mogą być stosowane przy dobrej i bardzo dobrej przepuszczalności podłoża (znacznie przekraczającej $k_0 > 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) przy głębokim zaleganiu zwierciadła wód gruntowych. Nie należy dopuszczać do obciążenia hydraulicznego przekraczającego pojemność i możliwości infiltracyjne.

9

Schemat prostej studni chłonnej

- 1 Długość pionowa
- 2 Horyzont (1-2 m)
- 3 Materiał filtracyjny umożliwiający przepływ wód oraz ich odpływ powierzchniowy
- 4 Warstwa uszczelniająca
- 5 Geowłókna
- 6 Studnia betonowa
- 7 Materiał filtracyjny

7

Przekrój studni chłonnej z elementami prefabrykowanymi

- 1 Lapisz cementowy
- 2 Filtryk i element dopływowy
- 3 Długość pionowa
- 4 Żwir
- 5 Piasek
- 6 Perforacja umożliwiająca przepływ wód
- 7 Żwir 16/20 mm
- 8 Żwir 6/12 mm
- 9 Worki filtracyjne i geowłókna
- 10 Geowłókna
- 11 Warstwa piasku
- 12 Warstwa filtracyjna
- 13 Długość pionowa

8

R/17 – STUDNIA CHŁONNA

7

8

93

Druga strona karty i każda kolejna zawiera następujące informacje: 7 – powtórzony numer i nazwa rozwiązania w pionie, 8 – numer strony, 9 – schemat, 11 – charakterystykę rozwiązania, 12 – opis działania.

INSTRUKCJA CZYTANIA KART

13

Możliwe miejsca aplikacji

Małe ziemie miejskie, takie jak niewielkie place i parkingi, tereny utwardzone, dachy, fragmenty dróg i ulic. Ze względu na niewielkie zapotrzebowanie powierzchni nadają się do ścisłej zabudowy miejskiej. Mogą być stosowane jako elementy układów (np. z korytami drenażowymi, nieckami i rowami chłonnymi). W przypadku konieczności zagospodarowania większej ilości wody tworzy się zespoły połączonych studni.

14

Przykładowe korzyści

Studnie chłonne nie wymagają dużej powierzchni, całość konstrukcji mieści się pod powierzchnią gruntu, na powierzchni znajduje się pokrywa. Mogą być stosowane tam, gdzie brak miejsca wyklucza inne rozwiązania. Rozwiązanie nie utrudnia ruchu pieszych i rowerzystów, może być stosowane na utwardzonych powierzchniach. Studnie chłonne są rozwiązaniem punktowym o niewielkiej zdolności retencyjnej. Obciążenie studni chłonnej o standardowych wymiarach (średnica 1 m, głębokość ~2 m) nie powinno przekraczać 1 m³ na dobę.

15

Kryteria warunkujące zastosowanie

Wody deszczowe z terenów lub obiektów, na których istnieją potencjalne źródła zanieczyszczeń, powinny być podczyszczane przed dostaniem się do studni chłonnej. Najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest osadnik. Wodę ze spływu powierzchniowego należy kierować przez lipacz zanieczyszczeń pod pokrywę studni, wody z dachów i placów przez filtr zatrzymujący większe zanieczyszczenia. Przy lokalizacji studni chłonnych należy zwrócić uwagę na odległości od budynków, granic działki, studni wodociągowych i innych studni chłonnych, także odległość dna studni od zwierciadła wody gruntowej musi być zgodna z obowiązującymi przepisami.

16

Warunki eksploatacji

Inspekcja i oczyszczanie 2-4 razy do roku oraz po opadach o dużym natężeniu (szczególnie należy zwracać uwagę na zagrożenie kolmatacją). Kontrola przepastowości po opadach – woda nie powinna zalegać dłużej niż 72 h. Raz na ok. 10 lat studnia wymaga gruntownego czyszczenia i wymiany złoża. W przypadku zastosowania worków filtracyjnych co 1-2 lata konieczność wymiany/oczyszczania worka.

17

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Ograniczenia stosowania studni chłonnych związane są z niewielkimi zdolnościami do oczyszczania. Na obszarach, na których istnieją potencjalne źródła zanieczyszczeń, należy stosować to rozwiązanie wraz

z poprzedzającymi urządzeniami do podczyszczania. Ze względu na ewentualne zagrożenie dla jakości wód podziemnych nie należy stosować studni chłonnych na terenach wrażliwych przy ujęciach wód. Przy projektowaniu powinno się uwzględnić głębokość przemarzania.

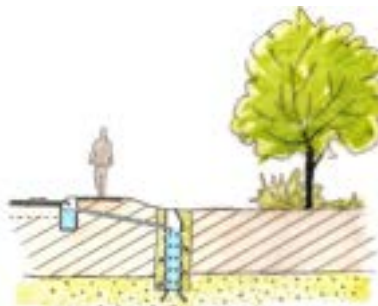
R/17 – STUDNIA CHŁONNA

94

13 – możliwe miejsca aplikacji, 14 – przykładowe korzyści, 15 – kryteria warunkujące zastosowanie, 16 – warunki eksploatacji, 17 – oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem.

INSTRUKCJA CZYTANIA KART

R/17 – STUDNIA CHŁONNA



1. NUMER I NAZWA ROZWIĄZANIA – każda karta jest opatrzona indywidualnym numerem oraz nazwą rozwiązania.

2. SZKIC – karty zostały opatrzone schematycznymi rysunkami. W prosty sposób obrazują ideę danego rozwiązania. Każda karta posiada swój własny szkic przedstawiający rozwiązanie w przekroju.

3. WSKAŹNIK ZDOLNOŚCI RETENCYJNEJ określa zdolność retencji wody w przeliczeniu na metr kwadratowy każdego rozwiązania. Każde rozwiązanie ma indywidualnie policzony wskaźnik zdolności retencyjnej odpowiadający zwykle stosowanym wymiarom.



4. WSKAŹNIK KOSZTÓW ODTWORZENIA przedstawia oszacowane koszty odtworzenia danego rozwiązania po oddaniu inwestycji do użytku.



5. WSKAŹNIK UCIAŹLIWOŚCI EKSPLOATACJI – cyfry 1–3 opisują standardowe czynności w utrzymaniu obiektu, który jest opisany w karcie. Litera S wskazuje natomiast na konieczność obsługi obiektu przez wykwalifikowany personel techniczny lub nadzór.

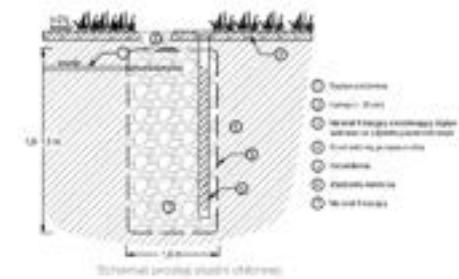


6. WSKAŹNIK OCZYSZCZENIA WODY – rozwiązania charakteryzują się różną zdolnością do oczyszczania bądź tylko podczyszczania wody. Najniższą klasę otrzymały rozwiązania nieprzewidujące użycia roślinności, a najwyższą klasę otrzymały te z roślinami.

INSTRUKCJA CZYTANIA KART

R/17 - STUDNIA CHŁONNA

65



7. NUMER I NAZWA ROZWIĄZANIA – dla wygody czytającego każda kolejna strona karty posiada powtórzone numer karty i nazwę rozwiązania. Tytuły kart umieszczono w pionie po prawej stronie karty za wyjątkiem pierwszej strony.

8. NUMER STRONY.

9. SCHEMAT – wszystkie karty zawierają schematyczne rysunki przedstawiające przykładowe zastosowania omawianego rozwiązania. Na rysunkach oznaczono warstwy konstrukcyjne i zwykle używane materiały.



Charakterystyka

Opis działania

10. FOTOGRAFIA – większość kart zawiera fotografie przykładowych realizacji rozwiązań, które pokazują, jak wygląda omawiana instalacja w rzeczywistości.

11. CHARAKTERYSTYKA to pierwszy punkt we wszystkich zamieszczonych kartach. Fragment ten przedstawia najważniejsze informacje dotyczące danego rozwiązania.

12. OPIS DZIAŁANIA – w punkcie tym przedstawiono podstawowe zasady funkcjonowania danego rozwiązania.

INSTRUKCJA CZYTANIA KART

Możliwe miejsca aplikacji

13. MOŻLIWE MIEJSCA APLIKACJI – opisano tu miejsca, w których przewiduje się stosowanie opisywanego rozwiązania.

Przykładowe korzyści

14. PRZYKŁADOWE KORZYŚCI – wśród nich wymienia się zdolności retencyjne oraz inne charakterystyczne dla danego rozwiązania zalety. Zwraca się uwagę na unikatowe cechy, których nie posiadają inne rozwiązania, o ile takie występują.

Kryteria warunkujące zastosowanie

15. KRYTERIA WARUNKUJĄCE ZASTOSOWANIE – w tym punkcie opisano kryteria takie jak związek z poziomem wód gruntowych, preferowane spadki i odległości od infrastruktury, a także inne wynikające ze specyfiki danego rozwiązania bądź obowiązujących norm i aktów prawnych.

Warunki eksploatacji

16. WARUNKI EKSPLOATACJI – w kartach przewidziano opis warunków eksploatacji. Składają się na nie wszystkie obostrzenia z nimi związane, a także wymogi dotyczące specjalistycznej obsługi.

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

17. OCZYSZCZANIE I OCHRONA PRZED ZANIECZYSZCZENIEM – w tym punkcie opisano, w jaki sposób i w jakim stopniu dane rozwiązanie oczyszcza gromadzoną wodę. Ponadto zaprezentowano, jak należy chronić rozwiązanie przed zanieczyszczeniem.

Adnotacja

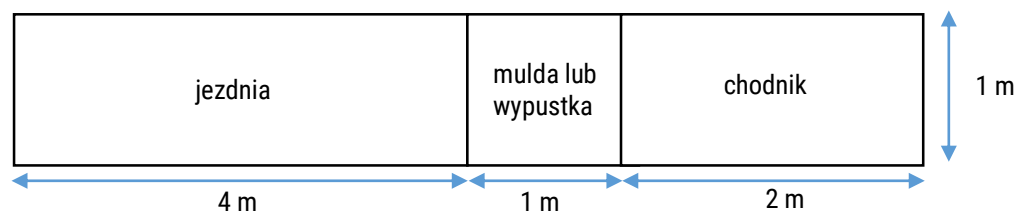
ADNOTACJA DO INSTRUKCJI – należy zwrócić uwagę na fakt, iż przedstawione na kartach niniejszego katalogu systemy, w tym ich rysunki, są przykładami rozwiązań i układów konstrukcyjnych. Przed zastosowaniem danego rozwiązania należy wykonać niezbędne obliczenia i dostosować instalację do konkretnych warunków lokalnych.

INSTRUKCJA CZYTANIA KART

Jak rozumieć wskaźnik zdolności retencyjnej?

Wskaźnik zdolności retencyjnej został opracowany specjalnie na potrzeby „Katalogu dobrych praktyk...”. Jego wprowadzenie było konieczne ze względu na różnorodność prezentowanych rozwiązań. Wskaźnik ten z jednej strony pozwala dokonać porównania możliwości retencyjnych systemu pomiędzy prezentowanymi rozwiązaniami, a z drugiej strony jest na tyle uproszczony, aby był czytelny dla każdego odbiorcy, w tym osób niebędących specjalistami w zakresie zagospodarowania wód opadowych. Został on wyrażony w $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ (litrach na metr kwadratowy). Opisuje, ile litrów wody może zatrzymać 1 m^2 danego rozwiązania. W przypadku tak skonstruowanego wskaźnika czas, w jakim nastąpi dopływ wody z terenu zlewni do systemu, jest traktowany drugoplanowo. Na etapie projektowania rozwiązania możliwe jest takie dostosowanie parametrów systemu (kubatury, wymiarów szerokości, długości, głębokości, grubości warstw filtracyjnych), aby mogło ono przyjąć zadaną ilość wody w zakładanym czasie. Tym samym wskaźnik ten szacuje, ile wód opadowych można zagospodarować na terenie zlewni lub tylko czasowo przetrzymać na metrze kwadratowym powierzchni zajmowanej przez system do lokalnego zagospodarowania wód opadowych i roztopowych. Na tej podstawie może on stanowić wskazówkę, jakie rozwiązanie nadaje się do zastosowania dla danej lokalizacji i występującej tam dostępności terenu pod zabudowę.

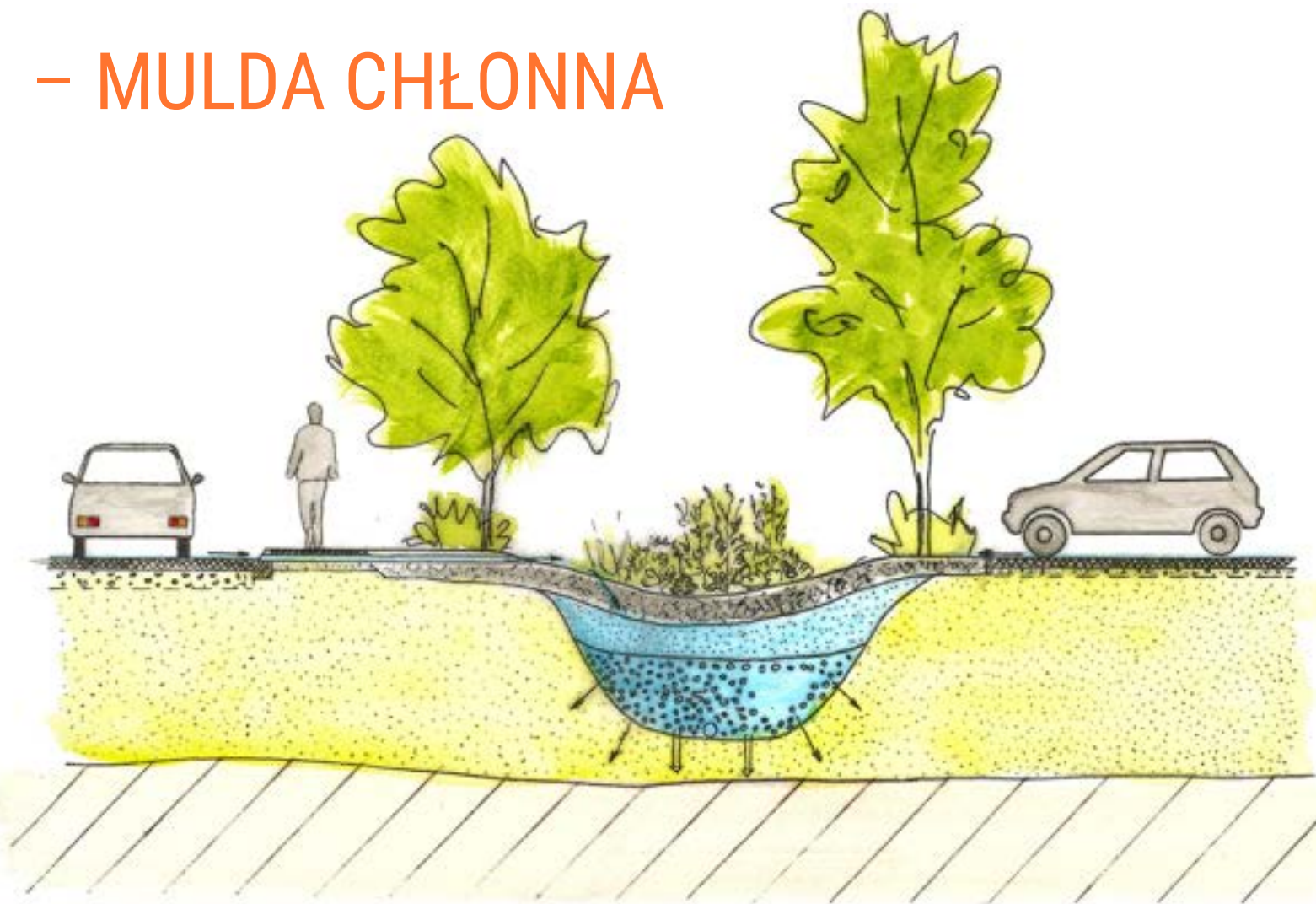
Zakresy zdolności retencyjnej zostały określone na podstawie wymiarów danego rozwiązania, stosowanych najczęściej w praktyce lub prezentowanych w literaturze branżowej. W przypadku rozwiązań, w których wody opadowe gromadzone są w zagłębieniach terenu, np. w przypadku muldy chłonnej czy ogrodu deszczowego, uwzględniono ilość wody, która może zostać efektywnie zatrzymana w danym momencie w porach gruntu układu warstw filtracyjnych oraz w przekroju zagłębienia o danej wysokości lub do wysokości przelewu, jakim nadmiar wody będzie odprowadzany bezpiecznie do odbiornika. W obliczeniach nie uwzględniano infiltracji do wód gruntowych (poniżej konstrukcyjnych warstw filtracyjnych), przyjmując, że głębiej zlokalizowane są grunty nieprzepuszczalne. Dla rozwiązań retencyjno-infiltracyjnych wykonywanych z dostępnych w sprzedaży modułów, tj. skrzynek retencyjno-infiltracyjnych czy komór drenażowych, jako zdolność retencyjną przyjęto ich kubaturę przypadającą na 1 m^2 powierzchni.



Mulda chłonna ma zdolność retencyjną wynoszącą $120\text{--}450 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$. W praktyce oznacza to, że dla wartości minimalnej ($120 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$) 1 m^2 tego rozwiązania może zatrzymać 20 litrów (czyli 20 mm opadu) z powierzchni 6 m^2 , czyli np. 4 m^2 jezdni i 2 m^2 chodnika. Czyli 1 m^2 muldy chłonnej w podstawowym wariacie może zmniejszyć obciążenie systemu kanalizacji o 20 litrów z powierzchni 6 m^2 . Dopiero nadmiar będzie musiał być odprowadzony do odbiornika¹.

Ze względu na uproszczenie przykładu pominięto wartości współczynnika spływu, które w obliczeniach w projekcie powinny zostać uwzględnione. Również wymiary jezdni czy chodnika są przykładowe.

R/01 – MULDA CHŁONNA



Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0 - 200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201 - 1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

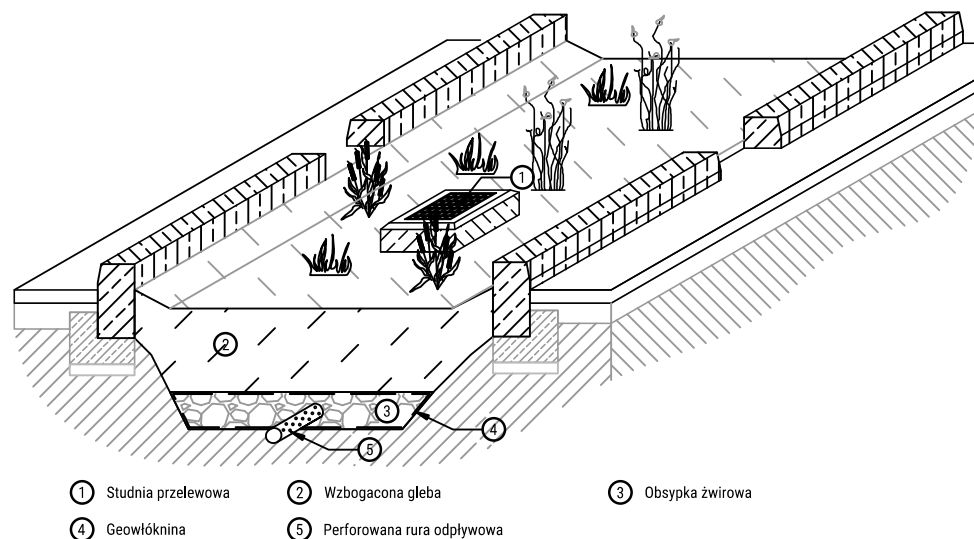
Mulda chłonna to porośnięta roślinnością, w tym trawami, zagłębienie terenu służące retencji wód opadowych. Porośnięta mulda spowalnia przepływ wody, umożliwia infiltrację do wód gruntowych oraz działa jako filtr zanieczyszczeń wód opadowych. Mulda chłonna doskonale sprawdza się wzdłuż dróg, placów i parkingów.

Opis działania

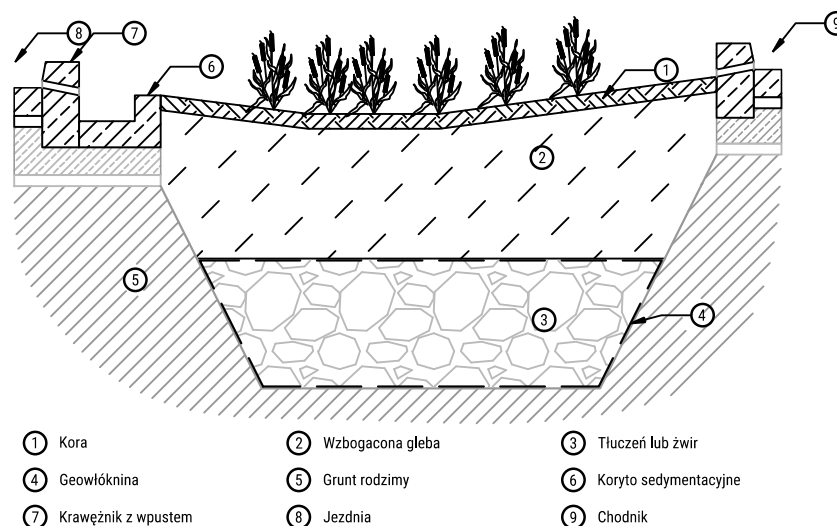
Mulda chłonna zbiera wody opadowe głównie z dróg i chodników. Woda może być doprowadzana przez system wpustów ulicznych lub bezpośrednio z chodników. Zwykle ma szerokość 1,5–5,0 m. Jest obniżona w stosunku do terenu o 0,3–0,5 m. Podłoże ma miąższość 0,3–0,7 m i jest wykonane w kilku warstw. Patrząc od dołu: w wykop jako pierwszą wbudowuje się warstwę przepuszczalną zbudowaną ze żwiru lub kamienia łamanego. Warstwa ta powinna zostać wyseparowana geowłókniną w celu zapobieżenia kolmatacji. Następnie wbudowuje się warstwę zapewniającą bioretencję. Jest to odpowiednio dobrana mieszanka humusu/torfu/kompostu (20–30%), gruntu niespoitego, najczęściej piasku lub pospółki (50–60%), który zapewnia dobrą przepuszczalność warstwy, i ziemi urodzajnej (20–30%). Wszystkie komponenty muszą być jednolicie wymieszane. Nie ma potrzeby wydzielania tej warstwy geotekstylami. W przypadku gdy w podłożu zalegają grunty spoiste, należy zainstalować system drenażowy lub/i przelew awaryjny, który umożliwi odprowadzenie nadmiaru wód opadowych. Należy podkreślić, iż czasowe stagnowanie wody w przekroju muldy (do 48 h) jest zjawiskiem normalnym, które nie powinno być traktowane jako objaw nieprawidłowej pracy rozwiązania. Na powierzchni można rozłożyć warstwę kory lub mulczy miąższości ok. 5 cm. W celu umożliwienia rozwoju roślinności w tak zaprojektowanych warunkach siedliskowych zwykle wyróżnia się trzy strefy: brzegową, środkową i głęboką. W strefie brzegowej mogą okresowo występować niedobory wilgoci w glebie. W takim przypadku roślinność można wspierać poprzez zastosowanie geokompozytów sorbujących wodę.

Przykładowe korzyści

Zdolność retencyjna rozwiązania zależy od miąższości ułożonych warstw oraz ich porowatości. W praktyce miąższość warstw gruntu i gleby użytej do budowy tego rozwiązania waha się w zakresie 30–70 cm. Razem z powierzchnią wolną gromadzącą wodę rozwiązanie to może zwykle przyjąć do $450 \text{ l} \cdot \text{m}^2$.



Przekrój przez muldę chłonną w pasie zieleni rozdzielającym jezdnię



Przekrój przez muldę chłonną usytuowaną między jezdnią a chodnikiem

Możliwe miejsca aplikacji

Wzdłuż dróg lokalnych, chodników, parkingów, placów oraz jako rozwiązania nieliniowe – przy miejscach parkingowych, przy chodnikach, między chodnikiem a jezdnią.

Kryteria warunkujące zastosowanie

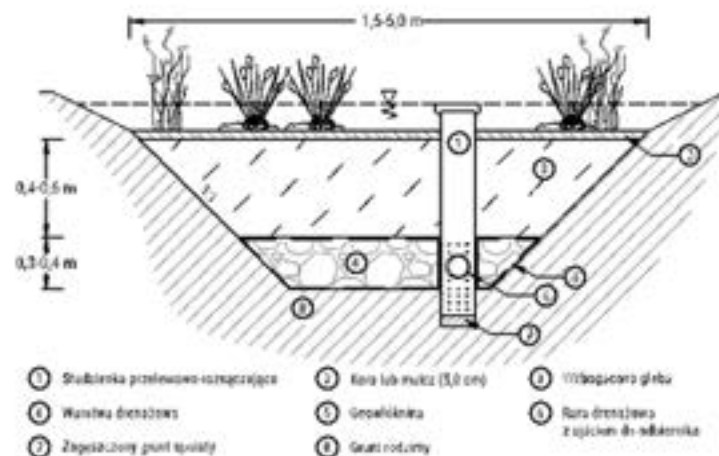
- wzdłuż dróg lokalnych, chodników, parkingów, placów,
- jako rozwiązania nieliniowe – na obrzeżach i wewnątrz powierzchni parkingowych, wzdłuż chodników, między chodnikiem a jezdnią,
- w przypadku braku możliwości połączenia z warstwą przepuszczalną niezbędna jest konieczność odprowadzenia nadmiaru wód do odbiornika (kanalizacji burzowej, zbiornika retencyjnego, cieku),
- grunty przepuszczalne, najwyższy przewidywalny poziom wód gruntowych poniżej dna wykopu,
- w przypadku gruntów spoistych w podłożu niezbędna częściowa wymiana gruntów i zapewnienie możliwości odprowadzenia nadmiaru wód do odbiornika.

Warunki eksploatacji

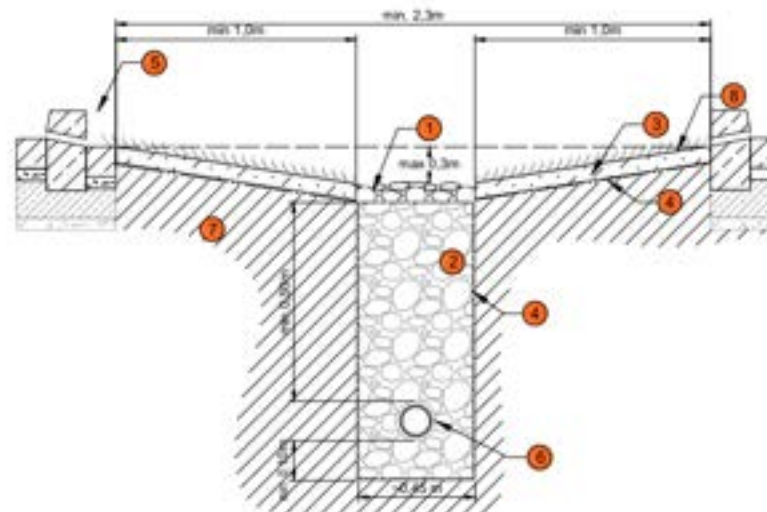
Okresowa pielęgnacja roślinności lub wykaszanie traw, kontrola drożności systemu raz do roku, koszenie trawy minimum 2 razy w roku.

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Istnieje możliwość podczyszczania gromadzonych wód. Proces ten zachodzi zarówno na powierzchni gruntów o uziarnieniu odpowiadającym piaskom, jak i na cząstkach minerałów ilastych czy ogólnie w kompleksie sorpcyjnym gleby.



Mulda chłonna z przelewem



- | | | |
|--------------------|------------------------|--|
| 1. Narzut kamienny | 2. Warstwa drenażowa | 3. Wzbożona gleba |
| 4. Geotekstylia | 5. Krawężnik z wpustem | 6. Rura drenażowa z uściem do odbiornika (opcjonalnie) |
| 7. Grunt rodzimy | 8. Trawa | |

Przekrój przez muldę chłonną usytuowaną między jezdnią a chodnikiem

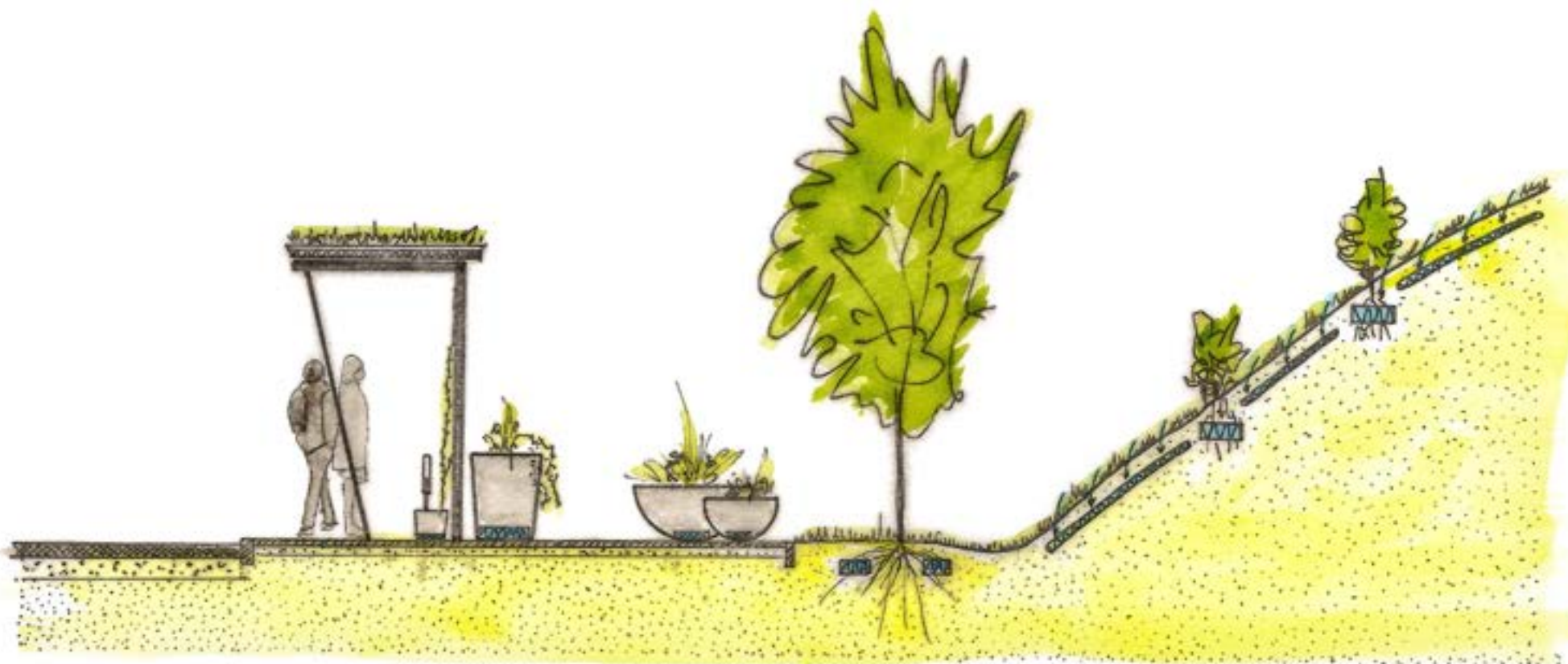


Odprowadzenie wód z parkingu do muldy (fot. UM Wrocław)



Mulda chłonna (fot. UM Wrocław)

R/02 – GEOKOMPOZYT SORBUJĄCY WODĘ



Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0 - 200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201 - 1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Geokompozyt sorbujący wodę (GSW) to przestrzenna konstrukcja służąca retencjonowaniu (zatrzymywaniu) wody w glebie tak, aby była ona następnie dostępna dla roślin. W ten sposób geokompozyty sorbujące wodę pomagają roślinom rozwijać się szybciej, a w przypadku suszy lub niedoborów wody umożliwiają im przetrwanie tego okresu. Geokompozyty składają się z trzech zasadniczych części:

- włókniny, która przechwytyje wodę z gleby,
- wewnętrznego szkieletu, który zapewnia miejsce do swobodnego retencjonowania wody (pęcznienia superabsorbentu),
- superabsorbentu czyli polimeru, który posiada zdolność do absorpcji (zatrzymywania) dużych ilości wody.

Opis działania

Woda infiltrująca w głąb profilu glebowego zostaje przechwycona przez włókninę i zatrzymana w postaci żelu wewnątrz geokompozytu. Korzenie roślin potrafią swobodnie przerosnąć do jego wnętrza i pobrać zgromadzoną tam wodę. Proces ten może być powtarzany wielokrotnie. Wewnątrz magazyn wody, jakim jest geokompozyt, zostaje uzupełniony podczas obfitych opadów deszczu, nawadniania czy po podlaniu przez nas roślin.

Możliwe miejsca aplikacji

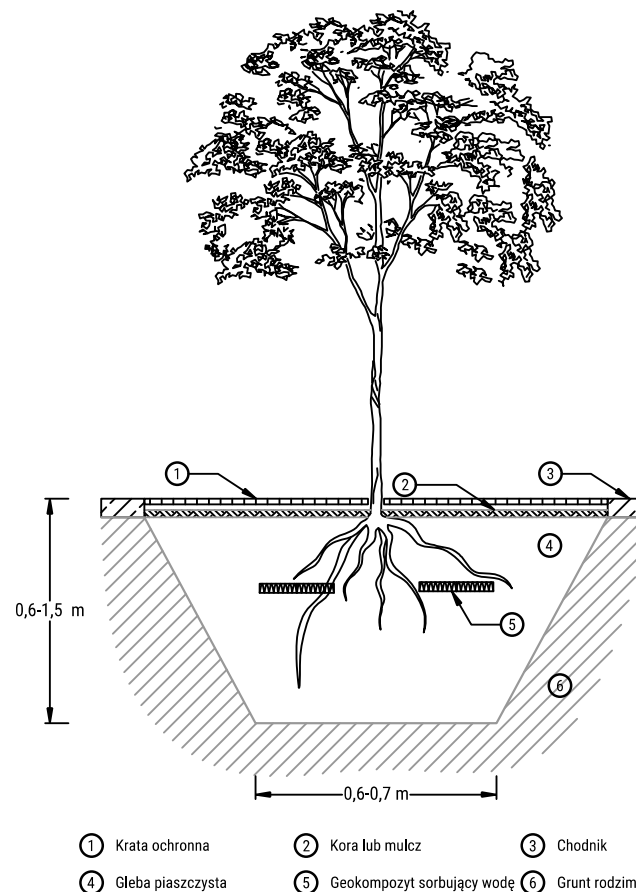
- przy nasadzeniach drzew alejowych, krzewów, kwiatów i bylin,
- jako element zatrzymujący wodę w konstrukcjach dachów zielonych,
- przy nasadzeniach krzewów, bylin czy drzew w donicach ozdobnych i wiszących,
- na skarpach jako element wspomagający rozwój roślinności trawiastej lub krzewów.

Przykładowe korzyści

Standardowo geokompozyty sorbujące wodę posiadają zdolność retencji 20 lub 40 mm · m² wody.

Kryteria warunkujące zastosowanie

- geokompozyty sorbujące wodę instaluje się bezpośrednio pod bryłą korzeniową roślin (krzewów, bylin, kwiatów) lub wokół bryły korzeniowej (drzew, krzewów z rozbudowanym systemem korzeniowym),
- przy doborze GSW obowiązuje zasada, iż jego wielkość powinna być zbliżona do wielkości bryły korzeniowej sadzonej rośliny,



GSW wykorzystane w nasadzeniach drzew

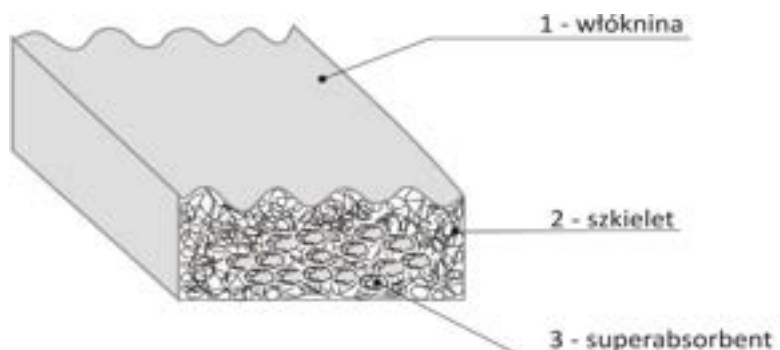
- geokompozyty sorbujące wodę szczególnie dobrze sprawdzają się przy nasadzeniach w glebach lekkich, przepuszczalnych, w miejscach narażonych na wysokie parowanie z powierzchni gleby (donice, dachy itp.) lub miejscach, w których następuje szybki odpływ wody (skarpy, dachy skośne). Stosowane na dnie donic mogą zastępować równocześnie warstwę drenażową,
- należy pamiętać, iż GSW muszą zostać przykryte warstwą gleby. Zalecana miąższość gleby nad GSW wynosi 10–30 cm.

Warunki eksploatacji

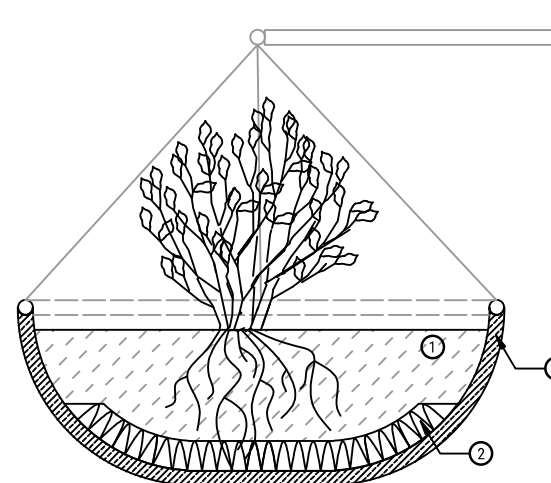
Brak potrzeby okresowej kontroli. Jeśli wraz ze wzrostem rośliny występuje potrzeba dalszego wspomagania jej rozwoju, istnieje możliwość instalacji dodatkowych GSW.

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Geokompozyty sorbujące wodę mogą zatrzymywać część zanieczyszczeń, w tym sól drogową. Zmniejsza to ich zdolność do retencji wody. W przypadku istotnego skażenia gleby istnieje możliwość wyjęcia GSW z gleby wraz z zatrzymanymi zanieczyszczeniami. Standardowo okres działania GSW wynosi ok. 3 lat. W późniejszym okresie geokompozyty przestają zatrzymywać wodę. Wtedy zaczynają działać w sposób zbliżony do „skrzynki rozsączającej”, tzn. mogą gromadzić pewną ilość wody, która następnie będzie rozsączana do gleby.

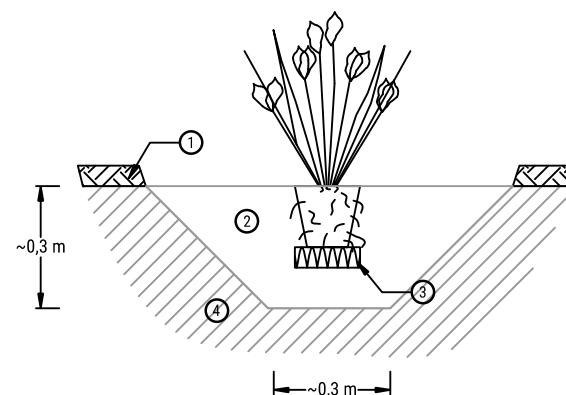


Budowa geokompozytu sorbującego wodę



- ① Wzbogacona gleba
- ② Geokompozyt sorbujący wodę
- ③ Ceramiczna donica wisząca

GSW w wiszącej donicy



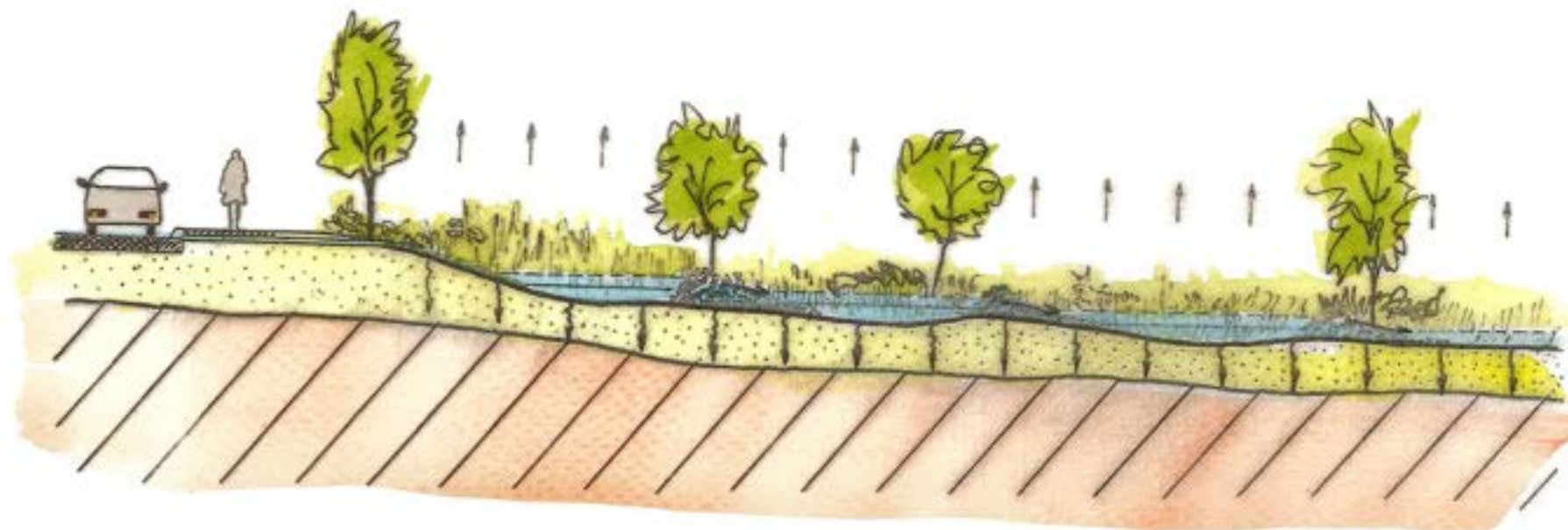
- ① Darrí (5,0-10,0 cm)
- ② Gleba piaszczysta
- ③ Geokompozyt sorbujący wodę
- ④ Grunt rodzimy

GSW pod byliną lub krzewem



Przykłady zastosowania GSW (fot. K. Lejcuś)

R/03 – OGRÓD DESZCZOWY



Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0 - 200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201 - 1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Ogród deszczowy to rozwiązanie, które zaliczane jest do systemów bioretencji. To powierzchnie retencyjne oraz chłonne wykonane jako obniżenie terenu z zastosowaniem drenażu podziemnego, porośnięte roślinnością. Powstało wiele rozwiązań ogrodu deszczowego. Jedną z form jest ogród deszczowy w pojemnikach, inną w gruncie, a jeszcze kolejną – w niecce. Do odwadniania dróg, placów czy ciągów pieszo-jezdnymi ogród deszczowy wykonywany jest najczęściej w formie zagłębienia w gruncie. Wybór wariantu ogrodu deszczowego zależy od wielkości odwadnianego terenu i uwarunkowań lokalnych (gruntowo-wodnych, dostępności terenu itp.).

Opis działania

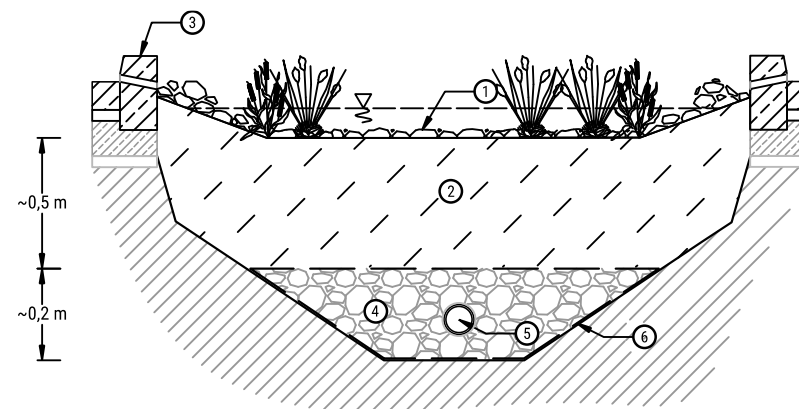
Działanie tego rodzaju systemu polega na zagospodarowywaniu wód opadowych częściowo poprzez proces infiltracji, w trakcie którego woda przedostaje się do gruntu bezpośrednio podczas opadu lub po czasowej retencji, a częściowo poprzez roślinność. Ważną częścią ogrodów deszczowych są rośliny. Przy doborze gatunkowym powinno uwzględniać się warunki nasłonecznienia, w jakich zlokalizowany jest ogród, oraz pory kwitnienia roślin, które powinny być zróżnicowane, jeśli chcemy, aby ogród deszczowy był atrakcyjny przez cały rok. Roślinność najlepiej nadająca się na ogrody deszczowe to gatunki rodzime tolerujące czasowe zalewanie i osuszanie oraz odporne na działanie zanieczyszczeń występujących w wodach opadowych. Gatunki rodzime nie wymagają również zwiększonego nawożenia oraz są bardziej odporne na zmiany klimatyczne, glebowe i wodne. Przykładowe gatunki roślin nadające się do nasadzeń w ogrodach deszczowych zestawiono w tabelach w części wprowadzającej katalogu.

Możliwe miejsca aplikacji

Ogrody deszczowe wykonywane są w pasie drogowym, na placach, przy ciągach pieszo-jezdnymi, drogach dla rowerów, parkingach, podjazdach na posesjach prywatnych.

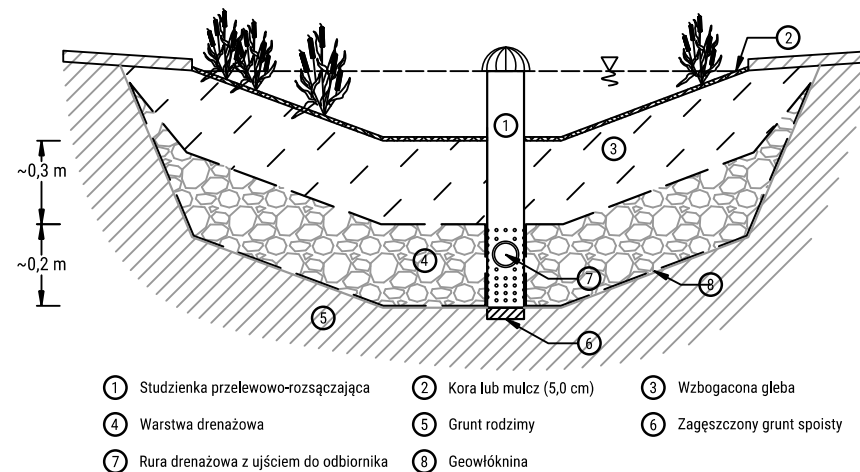
Przykładowe korzyści

Ogrody deszczowe są przykładem stosunkowo prostego w wykonaniu i niewymagającego w eksploatacji systemu, który pozwala na zatrzymanie i podczyszczanie spływów podczas opadów. Dobrze wykonany i utrzymany ogród deszczowy poprawia estetykę miast. Dodatkowo odciąża przepełnione w czasie opadów systemy kanalizacyjne. Dzięki obecności roślinności ma właściwości podczyszczające spływy opadowe.



- | | | |
|---------------------|--|-----------------------|
| ① Narzut kamienny | ② Wzbogacona gleba | ③ Krawężnik z wpustem |
| ④ Warstwa drenażowa | ⑤ Rura drenażowa z ujściem do odbiornika | ⑥ Geowłóknina |

Przekrój ogrodu deszczowego z zastosowaniem warstwy drenażowej do odprowadzania nadmiaru wody



- | | | |
|--|---------------------------|-----------------------------|
| ① Studzienka przelewowo-rozsączająca | ② Kora lub mulcz (5,0 cm) | ③ Wzbogacona gleba |
| ④ Warstwa drenażowa | ⑤ Grunt rodzimy | ⑥ Zagęszczony grunt spoisty |
| ⑦ Rura drenażowa z ujściem do odbiornika | ⑧ Geowłóknina | |

Przekrój ogrodu deszczowego z zastosowaniem studzienki przelewowo-rozsączającej

Kryteria warunkujące zastosowanie

Ogrody deszczowe można zlokalizować zarówno na terenach otwartych z zabudową rozproszoną, jak i na dużym stopniu zabudowy, gdzie jako element architektury krajobrazu będą pełniły funkcje retencyjno-infiltracyjną oraz dekoracyjną. Ogrody deszczowe w formie zagłębień terenu wykonywane są najczęściej przy drogach i ciągach pieszo-jezdnym o małym obciążeniu ruchem. W centrum miast są wykonywane częściej w „misach” sztywno oddzielających szlaki komunikacyjne od miejsc do retencji spływów powierzchniowych. Ogrody deszczowe są wykorzystywane głównie do zagospodarowania wód opadowych pochodzących z niedużych powierzchni o wielkości do 1 ha lub mniejszych. Bezpośrednio pod dnem znajduje się warstwa przepuszczalnego gruntu lub żwiru na głębokości ok. 0,5–0,6 m. Ma ona na celu zwiększenie pojemności retencyjnej oraz umożliwienie infiltracji wód opadowych do gruntu. Na powierzchni ogrodu deszczowego zaleca się położenie warstwy ściółki (mulczu). Pozwala ona na zachowanie ciepła, wilgotności i przewietrzności gleby, działa jako warstwa kumulująca metale ciężkie, substancje ropopochodne, a także zapobiega rozrostowi chwastów. Dodatkowo pełni funkcję ochronną dla gleby przed działaniem deszczu i wiatru, dzięki czemu warstwa próchniczna nie ulega uszkodzeniu. Minimalna zalecana grubość warstwy wyścielającej (ściółki) powinna wynosić 5 cm. Ukształtowanie obniżenia terenu (niecki) powinno zagwarantować równomierny rozdział wody przeznaczonej do wsiąkania, z uwzględnieniem porastającej je roślinności. Przepuszczalność podłoża można zwiększyć poprzez dodanie dodatkowych warstw drenażowych (wykonanych np. ze żwiru, grys, kruszywa łamanego). W przypadku występowania większego opadu nadmiar wody z ogrodu deszczowego usuwany jest poprzez przelew połączony zazwyczaj z rurociągiem odprowadzającym wody do pobliskiej kanalizacji lub innego odbiornika. Odbiór nadmiaru wód z ogrodu może odbywać się także za pomocą systemu perforowanych rur drenarskich, względnie skrzynek retencyjno-rozsączających lub systemem komór drenażowych znajdujących się w pobliżu ogrodu pod powierzchnią terenu. Za najlepszy okres do budowy ogrodów deszczowych uważa się kwiecień i maj, gdyż wtedy zazwyczaj mija już okres największych spływów po roztopach, obniża się poziom wód gruntowych, a rośliny mają sprzyjające warunki do rozwoju. Poziom zwierciadła wody gruntowej od dna ogrodu powinien wynosić min. 1,5 m. Przy projektowaniu lokalizacji ogrodu w pierwszej kolejności należy rozważyć naturalne kierunku spływu. Kiedy warunki terenowe nie pozwalają na to, drogi spływu do ogrodu wykonuje się w sposób sztuczny. Ogrody deszczowe powinny być wykonywane w miejscach słonecznych lub tylko częściowo zacienionych. Daje to możliwość okresowego wysuszenia powierzchni i głębszych warstw konstrukcyjnych, a przez to przyjęcie zwiększonej ilości



*Mały ogród deszczowy, Bydgoszcz
(fot. E. Burszta-Adamiak)*



*Układ ogrodów deszczowych na osiedlu XXV-lecia w Bielawie
(fot. E. Burszta-Adamiak)*

wody przy następnym opadzie. Przy lokalizacji ogrodu deszczowego należy wziąć pod uwagę:

- odległość od nieruchomości (minimalna zalecana odległość wynosi 4 m),
- bliskość do miejsc wypoczynku mieszkańców, np. tarasu (zalecana lokalizacja blisko miejsc przebywania przez mieszkańców),
- nachylenie przyległego terenu (kierunek spływu powinien być w stronę ogrodu deszczowego),
- ukształtowanie terenu (zalecany teren mało zróżnicowany pod względem wysokościowym).

Nie zaleca się lokalizacji ogrodów deszczowych:

- bezpośrednio przy fundamentach budynku,
- blisko osadników na ścieki,
- gdy nachylenie przyległego terenu jest większe niż 12%,
- gdy występują grunty słabo lub nieprzepuszczalne,
- przy wysokim poziomie wód gruntowych (dno ogrodu deszczowego powinno znajdować się co najmniej 1,5 m nad sezonowo występującym najwyższym poziomem wody gruntowej),
- jeśli w niedalekiej odległości posadzone są drzewa, których opadające liście mogą zmniejszać pojemność ogrodów i z czasem zapoczątkować procesy gnicia.

Głębokość ogrodów deszczowych musi być dostosowana bezpośrednio do ilości odprowadzanych wód opadowych, a pośrednio do wielkości powierzchni spływu oraz rodzaju gruntu znajdującego się na danym terenie. Głębokość ogrodów deszczowych zazwyczaj mieści się w granicach 10–20 cm. Nie zaleca się stosowania głębszych ogrodów deszczowych z uwagi na mogące się pojawić problemy z ich opróżnieniem w wymaganym czasie nieprzekraczającym 48 h od zakończenia opadu. Przetrzymanie wody w systemie może negatywnie wpłynąć na porastającą ogrody deszczowe roślinność, która nie jest przystosowana do długo trwających okresów zalegania wody. Z kolei bardzo płytkie systemy będą wymagały znacznej powierzchni, aby przechwycić objętość spływów z danego terenu. Może to być w wielu przypadkach ograniczeniem w ich zastosowaniu. Równie ważnym czynnikiem, który powinien być brany każdorazowo pod uwagę przy określaniu głębokości systemu, jest nachylenie terenu przyległego do ogrodu deszczowego (tabela poniżej). Przy odwadnianiu dróg ogrody deszczowe mają powierzchnię rzędu 90–100 m², ale jeśli wymaga tego sytuacja, powierzchnia może być większa. W projekcie zaleca

się, aby długość ogrodu deszczowego była co najmniej 1,5 raza większa od jego szerokości. Stąd ogrody deszczowe mają najczęściej kształt fasoli lub regularnej elipsy. Ogrody takie są budowane najczęściej podczas modernizacji ulic.

Nachylenie przyległego terenu [%]	Głębokość ogrodu deszczowego [m]
< 5%	0,10
5–7%	0,15
7–12%	0,20

Warunki eksploatacji

Utrzymanie ogrodów deszczowych polega głównie na przeprowadzaniu rutynowych zabiegów utrzymujących tereny zielone, tj. na usuwaniu chwastów, nawadnianiu w długich okresach suszy, przesadzaniu lub rozsadzaniu roślin (o ile istnieje taka potrzeba) oraz okresowym nawożeniu. W ramach kontroli prawidłowości ich funkcjonowania raz na rok należy ocenić stan konstrukcji i dokonać naprawy jej ewentualnych uszkodzeń. Kontrole ograniczają się do sprawdzenia, czy powierzchnia ogrodu jest wolna od odpadów naniesionych przez ludzi oraz wraz z wiatrem (raz na miesiąc, a w przypadku wietrznych dni po ich wystąpieniu). Warto także po większym opadzie sprawdzić szybkość opróżniania ogrodu z wcześniej zretencjonowanej wody.

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Do obsadzania ogrodów stosuje się głęboko korzeniące się rośliny, które ułatwiają infiltrację oraz absorbują zanieczyszczenia. Rośliny pobierają z gleby wodę wraz ze związkami biogennymi, które wbudowują w swoją biomasę. Większość pobranej wody oddają do atmosfery poprzez transpirację, korzystnie wpływając na przeważnie suchy mikroklimat w miastach. Rośliny, zmniejszając prędkość przepływu wody, umożliwiają skuteczniejszą sedymentację zawieszin. W ogrodach deszczowych nie należy sadzić roślin, których pielęgnacja może wymagać częstego stosowania środków chemicznych.

R/04 – WYPUSTKA ULICZNA

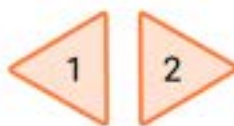


Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0 - 200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201 - 1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarmienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Wypustki uliczne są zazielenioną konstrukcją otoczoną krawężnikiem, wprowadzaną najczęściej pomiędzy chodnik a jezdnię. Następuje w nich retencja lub retencja i infiltracja wód deszczowych i roztopowych. W wypustkach następuje retencja wód, możliwa jest infiltracja do podłoża, część wody jest pobierana przez korzenie roślin, transportowana i odprowadzana do atmosfery w wyniku transpiracji. Do nasadzeń wykorzystuje się zazwyczaj trawy, byliny, krzewy, rzadziej drzewa. Kiedy pojemność systemu zostaje wyczerpana, rozwiązanie powinno zapewniać możliwość odprowadzenia nadmiaru wody (w czasie intensywnych opadów) do tradycyjnego systemu kanalizacji deszczowej.

Opis działania

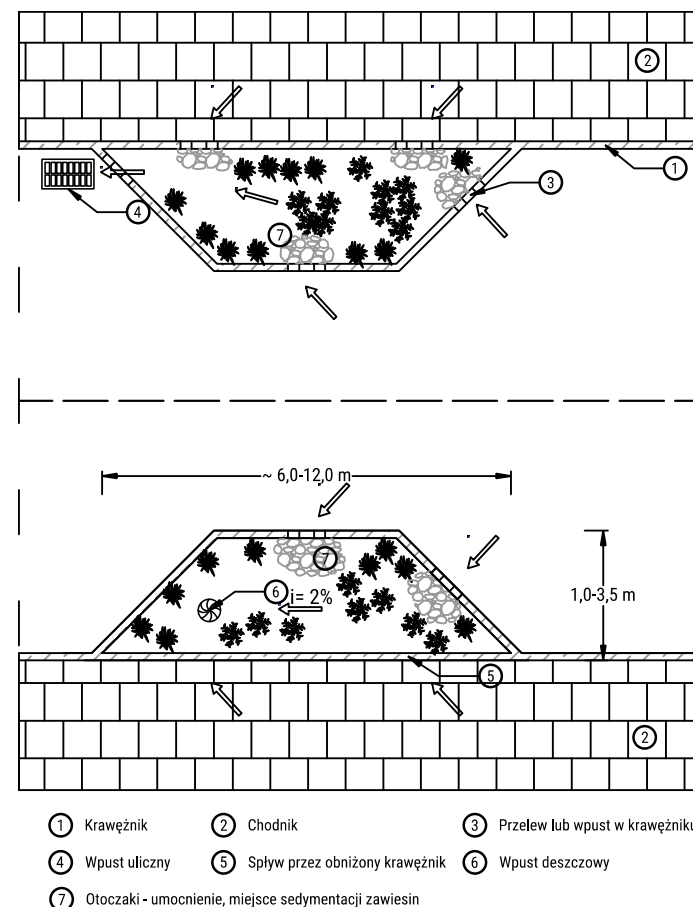
Woda opadowa jest wprowadzana do położonego w depresji w stosunku do ciągów komunikacyjnych wydzielonego obszaru wypełnionego specjalnym podłożem i porośniętego roślinami. Woda z jezdni, chodnika czy drogi rowerowej może spływać zgodnie ze spadkiem bezpośrednio do systemu lub – w przypadku obecności krawężnika – poprzez trapezowe obniżenia, prostokątne wycięcia lub wpusty nieprzerwywające ciągłości krawężnika. W momencie wypełnienia systemu nadmiar wód odprowadzany jest bezpośrednio do tradycyjnego systemu kanalizacji deszczowej poprzez przelew deszczowy lub obniżony krawężnik/wpust w krawężniku do wpustu deszczowego w jezdni. Długość wypustki waha się od 6 do 12 m, szerokość od 1 do 3,5 m, a miąższość warstwy podłoża od 50 cm dla roślin niskich do ponad metra dla drzew. Wypustki stosowane są w kilku odmianach – wzdłuż jezdni, narożne na skrzyżowaniach, a w pobliżu przejść dla pieszych zintegrowane z infrastrukturą przystankową. Powierzchnia wypustki ma najczęściej kształt zbliżony do trapezu równoramiennego, trapezu prostokątnego lub prostokąta.

Możliwe miejsca aplikacji

Ulice zbiorcze i lokalne, drogi dojazdowe i wewnętrzne, place i parkingi. Instalacja może być zintegrowana z przystankiem autobusowym. Wypustki są stosowane zarówno wzdłuż jezdni, jak i na skrzyżowaniach, retencjonując wodę z jezdni, chodników i dróg rowerowych. To rozwiązanie łatwe do wprowadzenia w istniejących ciągach komunikacyjnych (małym nakładem pracy i środków).

Przykładowe korzyści

Oprócz możliwości zagospodarowania wód opadowych wypustki są jednym z fizycznych sposobów zwężania pasów jezdni dla uspokajania ruchu.



Wypustka uliczna

Zastosowane przy przejściach dla pieszych stwarzają dodatkową strefę azylu i bezpieczeństwa, jednocześnie poprzez zwężenie szerokości jezdni skracają dystans potrzebny pieszemu do przejścia. Rośliny wpływają na poprawę jakości powietrza, produkują tlen, ograniczają efekt miejskiej wyspy ciepła, pełnią funkcję estetyczną w krajobrazie miejskim, tłumią hałas i dają szeroko rozumiane korzyści społeczne.

Kryteria warunkujące zastosowanie

System powinien mieć połączenie z siecią kanalizacyjną w celu zapewnienia odpływu nadmiaru wód opadowych. Wypustki mogą stwarzać problemy rowerzystom, przy braku wydzielonej ścieżki/drogi rowerowej ograniczają miejsce do postoju/parkowania. Podczas planowania położenia wypustek należy zwrócić uwagę na lokalizację hydrantów (hydrant może znajdować się wewnątrz wypustki) i brak ograniczeń w dostępie do już istniejących hydrantów.

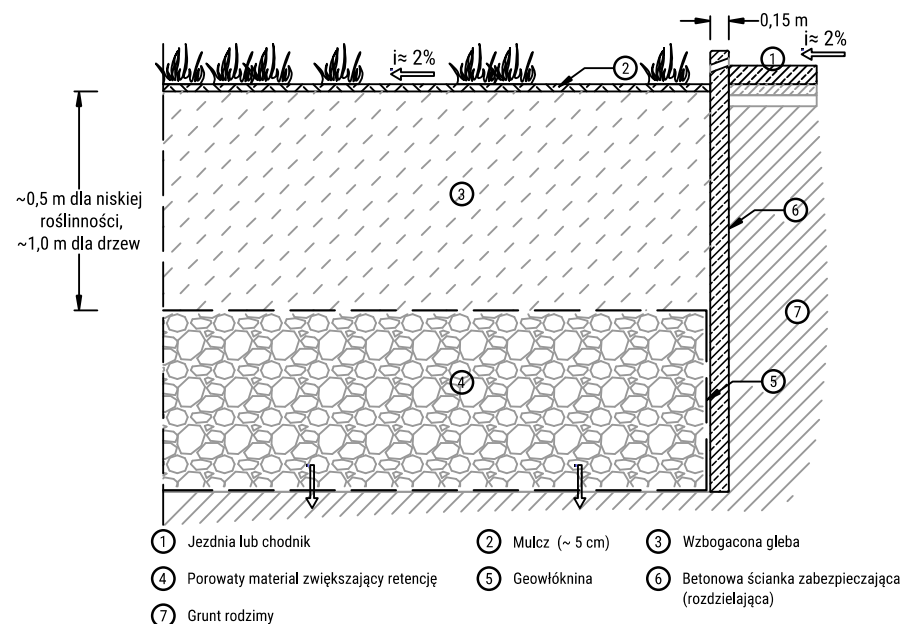
Warunki eksploatacji

W przypadku wykorzystania roślinności niskiej: czyszczenie wlotów, usuwanie zanieczyszczeń stałych, podstawowa pielęgnacja roślin. Należy zwrócić uwagę na odpowiedni dobór środków stosowanych do zimowego utrzymania nawierzchni – możliwy negatywny wpływ na rośliny. Na terenach, na których wykorzystuje się zazielenione konstrukcje do zagospodarowania wód deszczowych i roztopowych, należy zwrócić uwagę na właściwy dobór środków stosowanych do zimowego utrzymania nawierzchni.

W przypadku zastosowania drzew: podlewanie świeżo posadzonych drzew, a następnie rutynowe zabiegi związane z utrzymaniem drzew w mieście. Bieżąca konserwacja – czyszczenie wlotów. Usuwanie zanieczyszczeń stałych, zbędnej roślinności i liści z powierzchni pod drzewami. Wymiana drzew obumarłych. Na terenach, gdzie wykorzystuje się drzewa w konstrukcjach do zagospodarowania wód deszczowych i roztopowych, należy zwrócić uwagę na właściwy dobór środków stosowanych do zimowego utrzymania nawierzchni. Wymagają specjalistycznej obsługi.

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Zanieczyszczenia z wód opadowych są usuwane w drodze procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych związanych z podłożem i roślinami. Duże znaczenie ma także udział mikroorganizmów zasiedlających strefę przykorzeniową drzew.



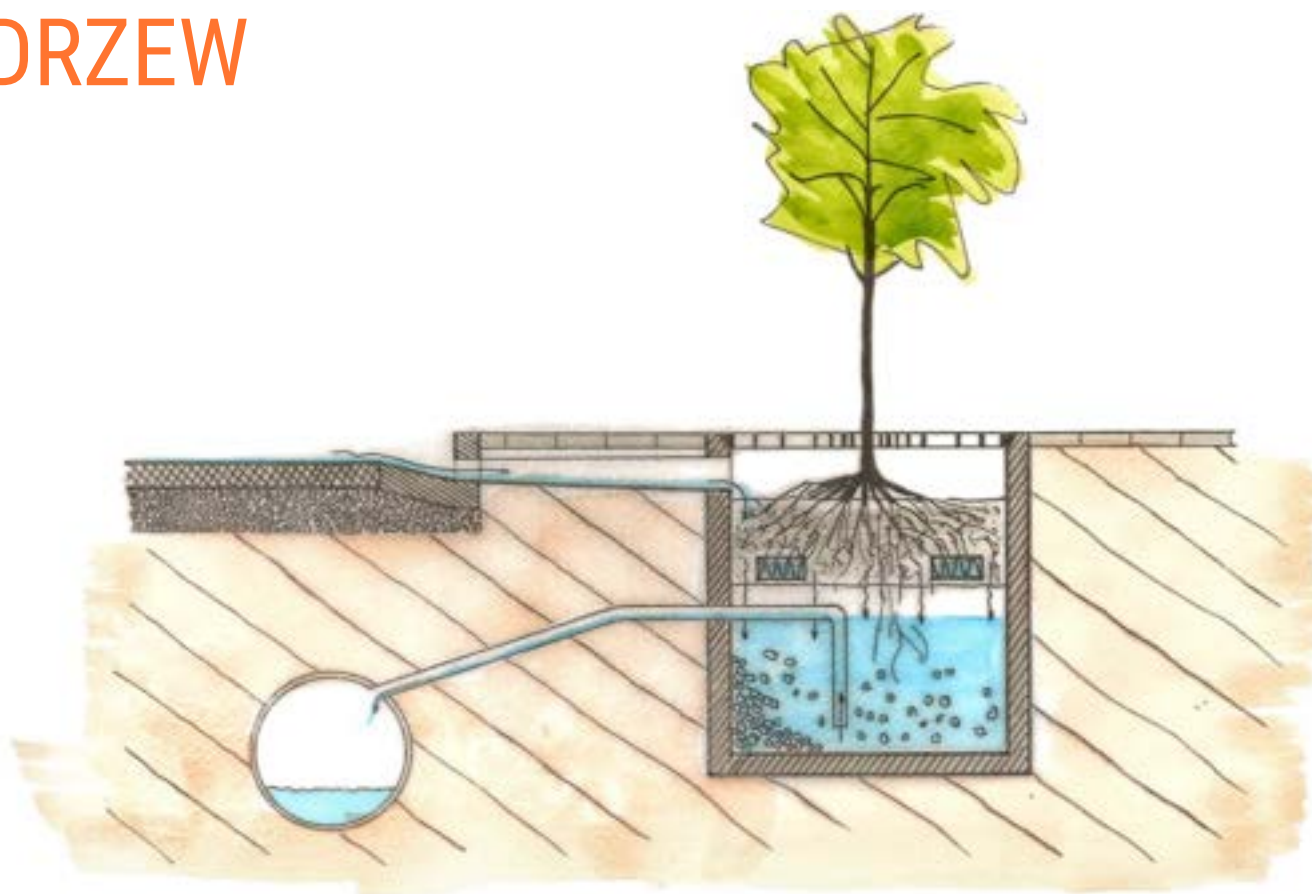
Przekrój warstw w wypustce ulicznej

Ze względu na szereg procesów, jakie zachodzą w tych systemach, wykazują one średnią efektywność oczyszczania wód opadowych dla pokrycia roślinnością niską, wysoką efektywność dla drzew i kombinacji drzew z niskimi roślinami. Następuje usuwanie zawiesiny ogólnej, związków azotu i fosforu, metali ciężkich, węglowodorów i bakterii.



Wypustka uliczna
(fot. UM Wrocław)

R/05 – KONSTRUKCJE MAGAZYNUJĄCE WODĘ WOKÓŁ DRZEW

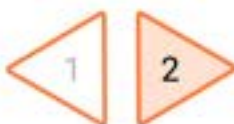


Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0 - 200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201 - 1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



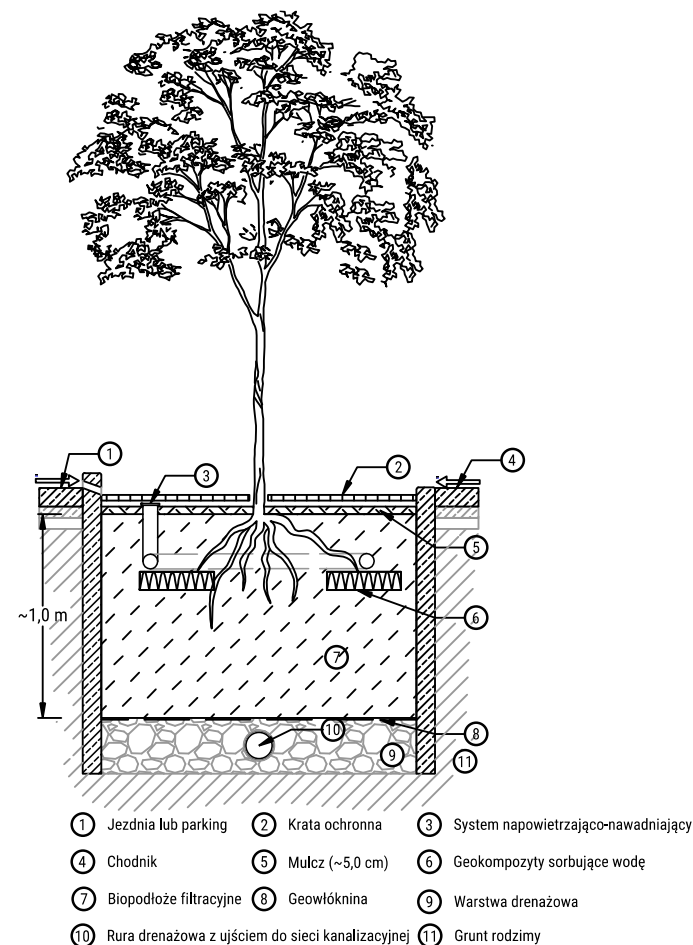
- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Pojedyncze drzewa zasadzone w specjalnie przygotowanych przestrzeniach to zbiorniki retencyjne lub retencyjno-infiltracyjne, do których odprowadzane są wody deszczowe i roztopowe. Połączenie kilku dołków drzew podziemnym systemem drenów zwiększa efektywność rozwiązania. Woda magazynowana w porowatej strukturze podłoża powoli infiltruje do warstwy drenażowej lub warstwy przepuszczalnego gruntu rodzimego. Część wody jest pobierana przez korzenie drzew, transportowana i odprowadzana do atmosfery w wyniku transpiracji. Kiedy pojemność systemu zostaje wyczerpana, rozwiązanie powinno zapewniać możliwość odprowadzenia nadmiaru wody (w czasie intensywnych opadów) do tradycyjnego systemu kanalizacji deszczowej.

Opis działania

Rozwiązanie jest połączeniem wysokiej roślinności z podziemnymi systemami retencyjnymi lub retencyjno-infiltracyjnymi. To jeden z przykładów bioretencji. Do obudowania drzewa można stosować gotowe elementy prefabrykowane lub kompletne systemy do nasadzeń. Na powierzchni pod drzewem stosuje się kraty ochronne zapewniające dopływ wody i powietrza oraz uniemożliwiające kompresję górnej warstwy podłoża. Stosuje się tu ażurowe płyty żeliwne – kwadratowe lub okrągłe – o wymiarach najczęściej 80–180 cm (bok kwadratu/średnica) z otworem wewnętrznym 30–50 cm, prefabrykaty betonowe z elementów fundamentowych i ażurowych pokryw. Do wygradzenia obudowy drzewa stosować można także kształtki betonowe, a powierzchnię pod drzewami – zamiast kratą – pokryć niższą roślinnością lub nawierzchniami przepuszczalnymi. W celu zabezpieczenia świeżo posadzonych drzew lub dodatkowej ochrony przed czynnikami zewnętrznymi wokół pni instaluje się metalowe kraty z giętych płaskowników (tzw. kosze ochronne), drewniane paliki, palisady i płotki. Gotowe systemy modułów antykompresyjnych lub specjalne substraty stosuje się dla przenoszenia dużych obciążeń pionowych i bocznych. Zapobiegają one kompresji podłoża, stwarzając drzewom dogodne warunki rozwoju. Powinny być stosowane w bezpośrednim sąsiedztwie miejsc o dużym natężeniu ruchu i przy nawierzchniach poddawanych znacznym obciążeniom. Przed uszkodzeniami spowodowanymi nadmiernym rozrastaniem się systemu korzeniowego chronią bariery w postaci ekranów i folii, a także systemy kierunkujące korzenie. Objętość podłoża wymaganego do posadzenia drzewa zależy od jego gatunku/wielkości. Dobór właściwego podłoża ma istotne znaczenie z punktu widzenia zagospodarowania wód opadowych, wpływa też na prawidłowy rozwój drzew.



Prosty schemat konstrukcji magazynującej wodę wokół drzewa

Możliwe miejsca aplikacji

Wszystkie rodzaje dróg, parkingi, place. Pojedyncze drzewa są wykorzystywane dla małych zlewni, połączenie w systemy zwiększa efektywność rozwiązania. Ograniczenia stosowania dotyczą ścisłej miejskiej zabudowy i miejsc, gdzie drzewa ograniczają widoczność. Aby zapewnić efektywność systemu i ograniczyć negatywny wpływ na otaczającą infrastrukturę, należy zwrócić szczególną uwagę na właściwy dobór gatunków drzew, systemów kierujących korzenie i właściwej objętości podłoża.

Przykładowe korzyści

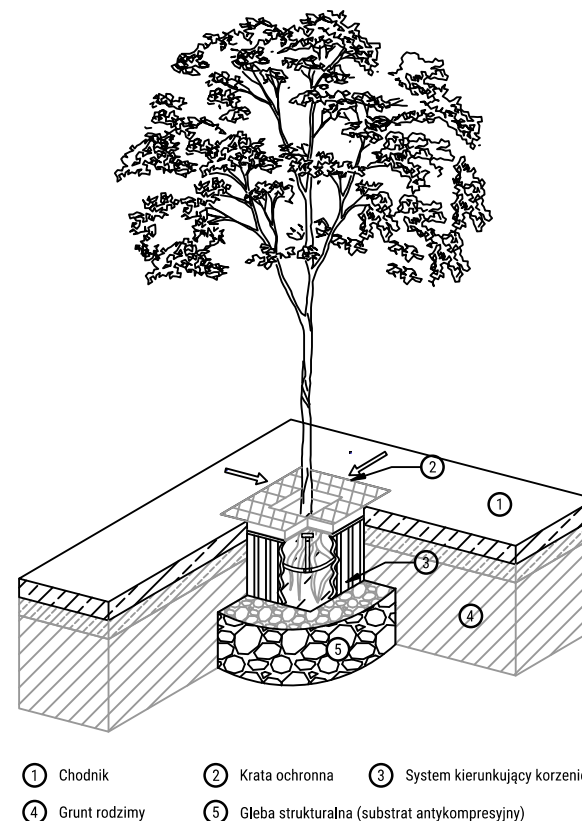
Rozwiązanie nie utrudnia ruchu pieszych i rowerzystów, drzewa są wartościowym elementem krajobrazu miasta nie tylko z punktu widzenia zagospodarowania wód opadowych – wpływają na poprawę jakości powietrza, produkują tlen, ograniczają efekt miejskiej wyspy ciepła, pełnią funkcję estetyczną w krajobrazie miejskim, tłumią hałas, dają szeroko rozumiane korzyści społeczne. Zdolność retencyjna pojedynczej konstrukcji z drzewem jest niewielka (rozwiązanie punktowe dla małych zlewni), drzewa połączone w system stanowią konstrukcję liniową o średniej zdolności retencji. Konstrukcje magazynujące wodę wokół drzew sprawdzają się w przypadku dość częstych opadów o małym nasileniu, rozbudowane systemy mogą zatrzymywać wodę z większych lub długotrwałych opadów.

Kryteria warunkujące zastosowanie

Teren wokół konstrukcji powinien opadać pod kątem 1–3%, kierując wody opadowe pod drzewo. System musi mieć połączenie z siecią kanalizacyjną w celu zapewnienia odpływu nadmiaru wód opadowych. Rozwiązanie wymaga przestrzeni ponad poziomem gruntu (ograniczonej przez budynki, elementy oświetlenia i oznakowania) oraz miejsca dla korzeni pod poziomem gruntu (ograniczanego przez sieci i infrastrukturę podziemną).

Warunki eksploatacji

Podlewanie świeżo posadzonych drzew, a następnie rutynowe zabiegi związane z ich utrzymaniem w mieście. Bieżąca konserwacja – czyszczenie wlotów. Usuwanie zanieczyszczeń stałych, zbędnej roślinności i liści z powierzchni pod drzewami. Wymiana drzew obumarłych. Na terenach, na których wykorzystuje się drzewa w konstrukcjach do zagospodarowania wód deszczowych i roztopowych, należy zwrócić uwagę na odpowiedni dobór środków stosowanych do zimowego utrzymania nawierzchni. Konstrukcje wymagają specjalistycznej obsługi.



Przykład rozwiązania z systemem kierującym korzenie i substratem antykompresyjnym

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Zanieczyszczenia z wód opadowych są usuwane w drodze procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych związanych z podłożem i roślinami. Duże znaczenie ma także udział mikroorganizmów zasiedlających strefę przykorzeniową. Ze względu na szereg procesów, jakie zachodzą w tych systemach, wykazują one wysoką efektywność oczyszczania wód opadowych. Następuje usuwanie zawiesiny ogólnej, związków azotu i fosforu, metali ciężkich, węglowodorów i bakterii.

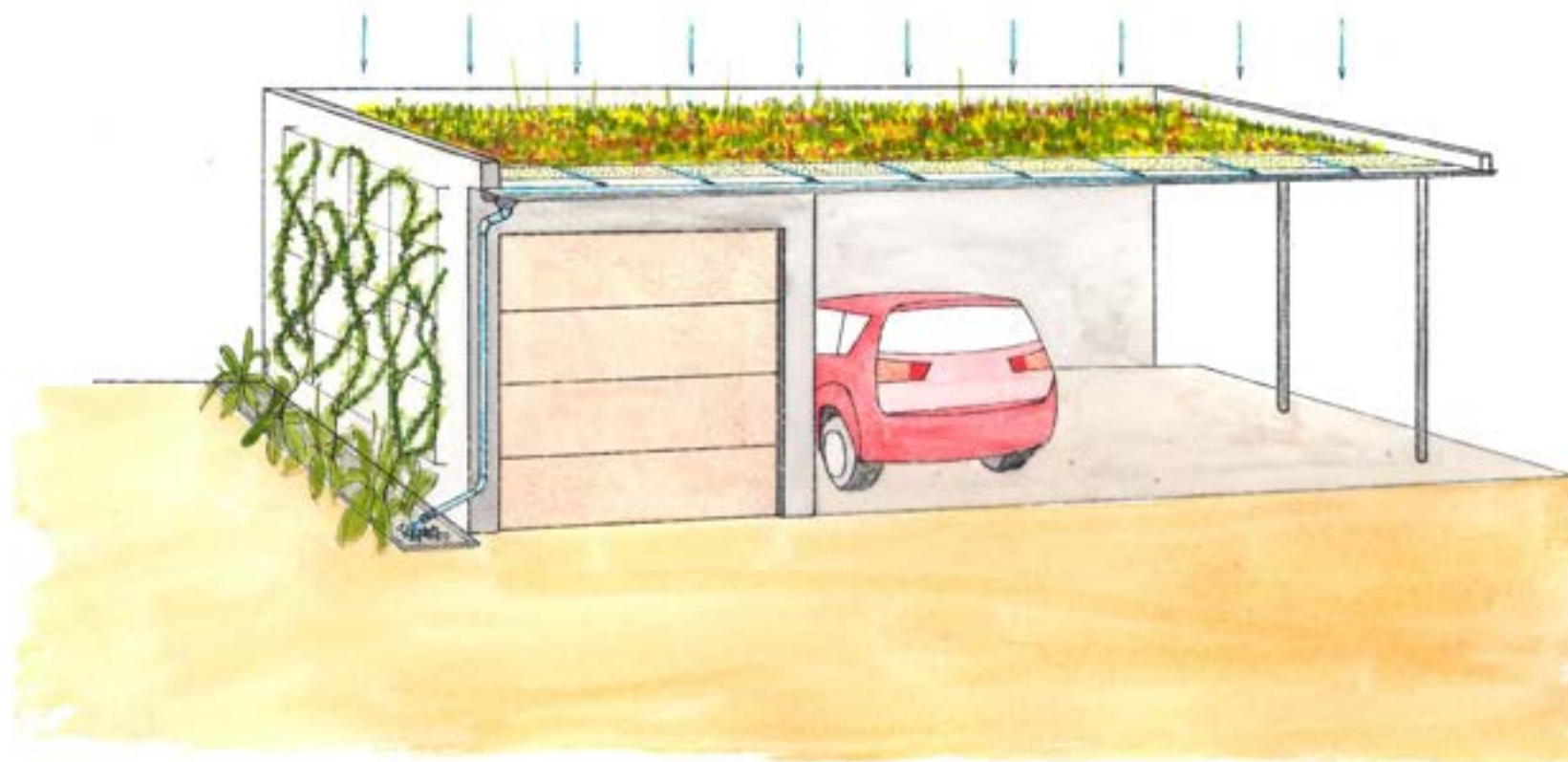


*Przykład okrągłej kraty ochronnej na powierzchni pod drzewem
(fot. J. Dąbrowska)*



*Kwadratowa krata ochronna na powierzchni pod drzewem oraz osłona pnia
(fot. J. Dąbrowska)*

R/06 – ZIELONY DACH



Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0 - 200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201 - 1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Zielone dachy (tradycyjne lub odwrócone) to najczęściej systemy o wielowarstwowej konstrukcji, choć mogą być stosowane także jako rozwiązania jednowarstwowe, w których substrat¹ pełni funkcję zarówno podłoża dla roślin, jak i magazynu oraz drenażu dla wody opadowej. W odniesieniu do zielonego dachu używa się także określeń ekodach, dach żywy lub naturalny oraz dach z roślinnością. Dziś rozwój technologii umożliwia wykonanie w systemie dachu zielonego nie tylko dachów budynków czy zazielenionych tarasów, ale także nawierzchni pieszej, jezdnej, których warstwę wierzchnią stanowić może kostka brukowa lub trawa. Wśród dachów zielonych wyróżnia się kilka rodzajów. Dachy intensywne wykonywane są głównie w celach użytkowych oraz rekreacyjnych. Można wykonać w tej technologii ciągi piesze, drogi dojazdowe, parkingi, place zabaw lub zagospodarować teren będący w bezpośrednim sąsiedztwie ciągów komunikacyjnych. Dachy ekstensywne są wykonywane najczęściej w celu odtworzenia powierzchni biologicznie czynnej. Na miejsca do budowy dachów ekstensywnych nadają się np. wiaty przystanków komunikacji miejskiej. Dachy tego typu posiadają małe wymagania eksploatacyjne, a roślinność je porastająca jest bardziej odporna na wiatry, wysoką temperaturę oraz dłuższe okresy bezopadowe. W terminologii zielonych dachów można spotkać także dachy semiekstensywne nadające dachom ekstensywnym funkcje użytkowe oraz semiintensywne o niższych kosztach.

Budowa dachów

Firmy zajmujące się projektowaniem i wykonywaniem dachów zielonych w zależności od uwarunkowań lokalnych proponują rozwiązania techniczne różniące się rodzajem, układem i grubością poszczególnych warstw¹. Można wyróżnić podstawowe warstwy funkcjonalne, którymi charakteryzuje się większość proponowanych układów, tj. roślinność i substrat dachowy² (warstwa wegetacyjna), warstwa filtracyjna, drenażowa oraz ochronna, często połączona z funkcją przeciwdziałającą przerastaniu korzeni. Wybór roślin, które pokryją powierzchnię zielonego dachu, jest bardzo istotny. Przykłady gatunków mających zastosowanie na zielonych dachach znajdują się w tabelach zamieszczonych w opracowaniu. Warstwa podłoża dla roślin wykonana jest z substratów² zapewniających właściwe przepuszczalność i zawartość składników odżywczych oraz prawidłowe gromadzenie wody. Pozwala na zakorzenienie się roślin i ich prawidłowy rozwój. Warstwa filtracyjna pełni funkcję ochronną dla drenażu przed spływającymi częściami substratu, które mogłyby go zatkać i pogorszyć odpływ z wyżej położonych warstw.



Dach zielony typu intensywnego przy ciągu pieszo-jezdnym, osiedle Arkadia II, Warszawa (fot. E. Burszta-Adamiak)

Warstwa drenażowa sprzyja retencjonowaniu wody i jej sprawnemu odprowadzeniu do systemu odwodnieniowego dachu. Może ona być wykonana z sypkich materiałów gromadzących wodę, np. z lawy wulkanicznej, żwiru o uziarnieniu 8/16 mm, granulatu z pumeksu, keramzytu lub z mat drenażowych. Zadaniem kolejnej warstwy w układzie, tj. warstwy ochronnej, jest zabezpieczenie warstw znajdujących się pod spodem przed uszkodzeniami mechanicznymi, które mogą nastąpić podczas wykonywania dachu lub w trakcie jego późniejszej pielęgnacji. Warstwy ochronne na dachach zielonych wykonuje się z geowłóknin chłonna-ochronnych o różnych grubościach. Ich zadaniem jest ochrona hydroizolacji lub warstwy przeciwwkorzennej przed ich mechanicznym uszkodzeniem. Dodatkowo ich właściwości pozwalają na oddzielenie od siebie warstw nietolerujących się pod względem chemicznym i w zależności od produktu mogą magazynować pewne ilości wody. Warstwa hydroizolacji (izolacji wodochronnej) jest jedną z najważniejszych warstw dachu zielonego, gdyż jej poprawne wykonanie zapewnia szczelność dla stropów. Najczęściej stosowanymi obecnie materiałami wykorzystywanymi przy wykonywaniu hydroizolacji dachów są EPDM tworzony z kauczuku i papa termozgrzewalna. W systemie dachu zielonego odwróconego izolację termiczną układa się nad warstwą izolacji przeciwwodnej.

1. Przy projektowaniu dachów zielonych należy brać pod uwagę zasady projektowania, wymagania oraz parametry dla materiałów wykorzystywanych przy budowie i utrzymaniu dachów zielonych, które można znaleźć w wytycznych pt. *Wytyczne do projektowania, wykonywania i pielęgnacji dachów zielonych – Wytyczne dla dachów zielonych* wydanych przez Stowarzyszenie DAFA na podstawie niemieckich Wytycznych FLL: *Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen*.

2. Substraty to mieszanki ziemi z humusem oraz rozdrobnionym materiałem pochodzenia mineralnego, tj. grysem kamiennym, pumeksem, dolomit, tufem wulkanicznym, grysem ceglanym. Niekiedy w mieszankach stosuje się także włókna palmy kokosowej zwiększające zdolność substratu do gromadzenia wody. W handlu funkcjonują pod nazwą substrat lub podłoże dachowe. Sprzedawane są w workach 10 l, w big bagach lub luzem.

Opis działania

Zielone dachy w czasie opadów retencjonują wodę, z której część jest wykorzystywana przez rośliny, a część oddawana do atmosfery w wyniku procesów parowania i transpiracji. Odpływ wody następuje po osiągnięciu pełnego nasycenia substratu i warstw drenażowych. Odpływ może być odprowadzany na pobliski teren zazieleniony, do ogrodu deszczowego lub systemu kanalizacyjnego.



*Dachy zielone na stropie garażu podziemnego, ul. Krzycka, Wrocław
(fot. E. Burszta-Adamiak)*

Możliwe miejsca aplikacji

W technologii dachu zielonego można wykonywać ciągi piesze, drogi dojazdowe o małej intensywności ruchu, drogi pożarowe oraz wiaty przystankowe. W ten sposób może być zagospodarowywany także teren w pobliżu ciągów komunikacyjnych (przeznaczonych głównie do ruchu pieszego).

Przykładowe korzyści

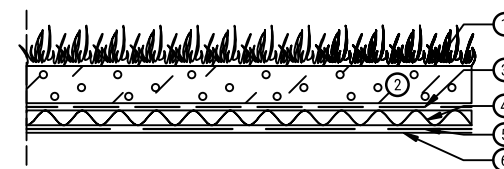
Zielone dachy niosą za sobą wiele korzyści ekologicznych i technicznych, spełniając na obszarach zabudowanych funkcje terenu biologicznie czynnego (gdy ich powierzchnia wynosi min. 10 m²). Spośród zalet zielonych dachów bardzo duże znaczenie mają m.in.:

- retencjonowanie wody deszczowej. Występująca na dachach roślinność, substrat oraz warstwy drenażowe posiadają zdolność do zatrzymania wody. Średnio w skali roku w uwarunkowaniach klimatycznych Polski ok. 60% objętości opadów atmosferycznych jest magazynowanych w konstrukcji dachu zielonego i wykorzystywanych przez porastające dach rośliny,
- redukcja objętości spływających do kanalizacji wód opadowych i spowolnienie spływów poprawiają efektywność działania systemów odwodnieniowych i oczyszczalni ścieków w okresach pogody deszczowej,
- redukcja miejskich wysp ciepła,
- wpływ na miejską bioróżnorodność. Zielone dachy zwiększają powierzchnię zieleni miejskiej stanowiącej cenne siedlisko flory i fauny,
- poprawa estetyki miasta i walorów krajobrazowych i niwelowanie poczucia przytłoczenia powodowanego przez wysoką zabudowę.

Warto także wspomnieć, że np. przystanki wykonane w technologii dachu zielonego mogłyby stać się dobrym nośnikiem informacji w zakresie ekologii (aspekt edukacyjny). Można doposażyć przystanki np. w tablice informacyjno-edukacyjne na temat ochrony środowiska.

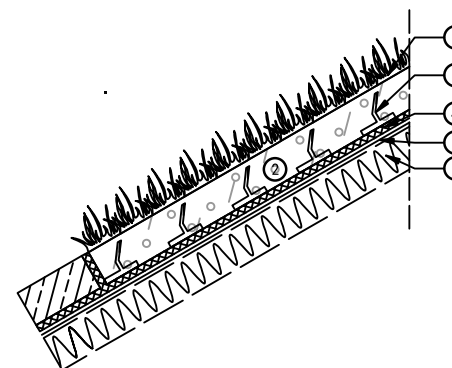
Kryteria warunkujące zastosowanie

Dachy zielone są stosowane przy drogach o małym obciążeniu ruchem, głównie przy ciągach pieszych lub ciągach jezdnych przy nieregularnym ruchu pojazdów mechanicznych, np. drogach pożarowych. Przy sadzeniu roślin należy pamiętać o zachowaniu odpowiedniej odległości od krawędzi dachu. Niezazielenioną powierzchnię należy pozostawić wokół wpustów dachowych, na połączeniach ze ścianami, przy szczelinach dylatacyjnych.



- | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| ① Roślinność ekstensywna | ② Substrat dla dachów ekstensywnych | ③ Geowłóknina filtracyjna |
| ④ Mata drenażowa | ⑤ Włóknina chłonno-ochronna | ⑥ Membrana hydroizolacyjna |

Przykład układu warstw dachu zielonego ekstensywnego dla powierzchni płaskich



- | | | |
|------------------------------|-------------------------------------|---|
| ① Roślinność ekstensywna | ② Substrat dla dachów ekstensywnych | ③ System zabezpieczający przed osunięciem |
| ④ Włóknina chłonno-drenażowa | ⑤ Hydroizolacja | ⑥ Termoizolacja |

Przykład układu warstw dachu zielonego ekstensywnego dla powierzchni nachylonych (15–45°)

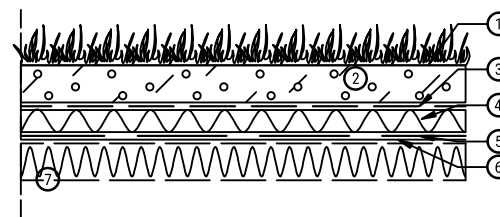
Te miejsca można przeznaczyć pod ścieżki, np. żwirowe, lub drewniane pomosty. W przypadku drzew i krzewów sadzonych na dachach zielonych obowiązuje zasada, że grubość warstwy substratu dla zazielenienia intensywnego nie może wynosić mniej niż 10% wysokości rośliny. W przypadku wykonywania dachów zielonych na powierzchni terenu należy zachować minimalną odległość wód gruntowych od dna konstrukcji 1,0–1,2 m. Warunki gruntowe na terenie przyszłej lokalizacji dachu nie są istotne, gdyż konstrukcja dachu zielonego i tak wymaga doboru odpowiednich warstw pośrednich oraz specjalistycznego podłoża dachowego (substratu²). Jako podłoża nie należy wykorzystywać gruntu rodzimego z terenu budowy ze względu na większy ciężar, słabszą wodoprzepuszczalność, dostępność substancji organicznych czy porowatość niż substraty dachowe. Dodatkowo grunty rodzime zawierają najczęściej dużą liczbę nasion chwastów, co może wpłynąć na zagłuszenie innych roślin, które zostały zaplanowane na dachach zielonych. Planując zbudowanie zielonego dachu na stropie garażu podziemnego lub wiacie przystanku, należy wziąć pod uwagę ciężar konkretnego podłoża, grubość warstw podłoża, głębokość ukorzenienia roślin oraz uwarunkowania architektoniczne (wytrzymałość konstrukcji nośnej). Dostępne materiały i technologie pozwalają prawidłowo wykonać dach zielony na powierzchniach o spadku 0–45°.

Warunki eksploatacji

Roślinność na dachu powinna być okresowo doglądana i poddawana zabiegom pielęgnacyjnym (1–2 razy w roku) w postaci usuwania chwastów, uzupełniania roślin oraz koszenia (w przypadku dachów z trawami). Dachy intensywne ze względu na zróżnicowany dobór gatunkowy mają większe potrzeby wodne i powinny być okresowo nawadniane. Dla dachów z trawnikami jest to najczęściej instalacja z tryskaczami, dla drzew i krzewów – instalacja z liniami kroplującymi. By zoptymalizować zużycie wody, przy nawadnianiu dachów intensywnych używa się dodatkowych sterowników, np. czujników wilgotności substratu. Dachy intensywne wymagają pielęgnacji, zwłaszcza w okresie wiosenno-letnim (koszenie, nawożenie). Pielęgnacja dachów ekstensywnych jest mało wymagająca i ogranicza się do sporadycznego nawadniania w okresach bezdeszczowych i pielenia.

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Dachy zielone wychwytyują zanieczyszczenia gazowe i pyłowe zawarte w miejskim powietrzu, głównie dwutlenek węgla, ozon, tlenki siarki, azotu oraz pył.



- | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| ① Roślinność ekstensywna | ② Substrat dla dachów ekstensywnych | ③ Geowłókna filtracyjna |
| ④ Mata drenażowa | ⑤ Włókna chłonna-ochronna | ⑥ Membrana hydroizolacyjna |
| ⑦ Termoizolacja | | |

Przykład dachu ekstensywnego o zwiększonych właściwościach retencyjnych

R/07 – POWIERZCHNIA PRZEPUSZCZALNA ZADARNIONA LUB ŻWIROWA



Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0 - 200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201 - 1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



1 - Niskie
2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



1 - [NISKIE] tylko grunt
2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
3 - Zadarnienie
4 - Rośliny niskie
5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Nawierzchnia przepuszczalna jest to nawierzchnia umożliwiająca swobodne odprowadzanie wód opadowych i roztopowych do gruntu. Nawierzchnie nieumocnione są najprostszym i z tego względu najczęściej stosowanym alternatywnym sposobem zagospodarowania wód opadowych. Karta odnosi się do nawierzchni wykonanych jako zadarnione lub z kruszyw mineralnych.

Opis działania

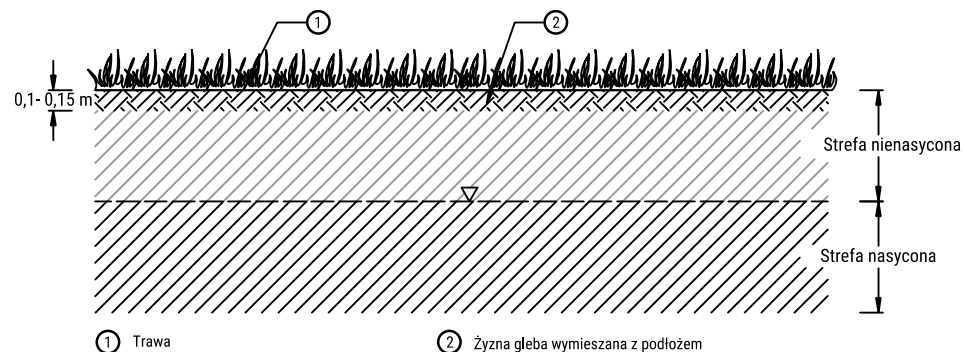
Idea ich działania polega na infiltracji opadów i spływów przez zadarnioną lub wykonaną z kruszyw powierzchnię w głąb gruntu. Nawierzchnie nieumocnione nie służą retencjonowaniu wód. Mogą one być wykonane z materiałów sypkich – żwiru, pospółki, kamienia łamanego – oraz jako powierzchnie zazielenione (najczęściej trawniki). Dobór odpowiedniego materiału wpływa na szybkość wsiąkania. To bardzo ważne, ponieważ w tym rozwiązaniu nie można dopuścić do stagnacji wody na powierzchni z uwagi na fakt, że wykonywane są one głównie na placach zabaw, boiskach, pasach dzielących drogi o różnym przeznaczeniu – tam, gdzie musi być zapewniony jak najszybszy odpływ wody opadowej i jednocześnie komfort komunikacyjny.

Przykładowe korzyści

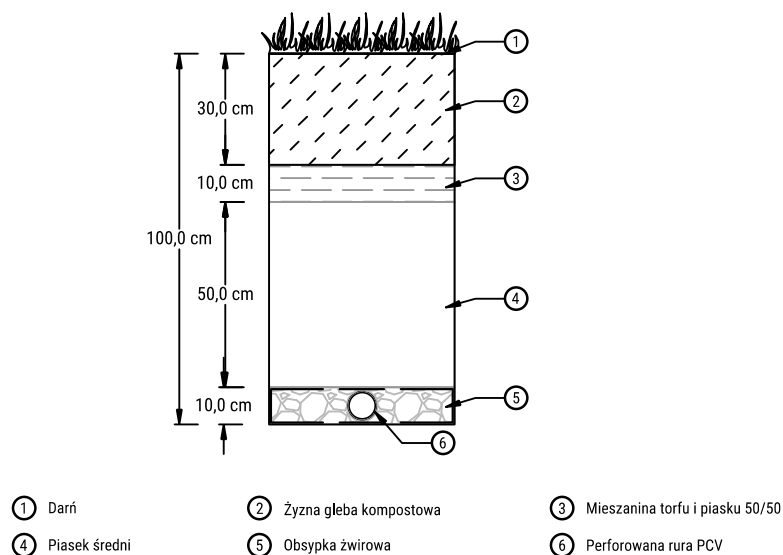
Zaletami tego systemu są dobre właściwości oczyszczające przy porośniętej nawierzchni, niskie nakłady techniczne oraz łatwość konserwacji (w zupełności wystarczają regularne koszenie trawy i uzupełnianie ponownym obsiewem uszkodzonych fragmentów darni). Skuteczność oczyszczania wsiąkających wód opadowych zależy od zadarnienia powierzchni gruntu, rodzaju szaty roślinnej, obciążenia hydraulicznego i warunków eksploatacji obiektu. Wsiąkanie wód opadowych na miejscu opadu oddziałuje zawsze zmniejszająco na odpływ wód, wpływając korzystnie na bilans wody w danym terenie. Zaletą trawników jest również korzystny wpływ na fizyczne i psychiczne samopoczucie mieszkańców oraz bycie atrakcyjnym tłem dla otaczającej infrastruktury miast.

Możliwe miejsca aplikacji

Zadarnione nawierzchnie są zalecane do stosowania na placach zabaw, boiskach, prywatnych posesjach, parkingach, zatoczkach przy drogach, pasach dzielących na drogach i ulicach dwujezdniowych. Nawierzchnie o podłożu mineralnym (np. żwirowe) są chętnie stosowane także na ścieżkach edukacyjnych i leśnych, alejach parkowych, placach zabaw oraz na siłowniach plenerowych. Optimalny termin wykonania trawników to marzec–kwiecień oraz wrzesień.



Przekrój przez powierzchnię zadarnioną



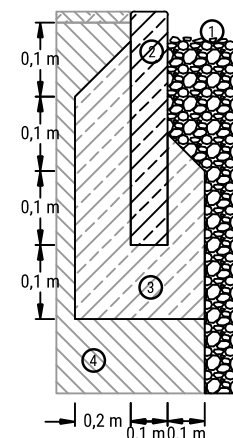
Profil glebowy powierzchni zadarnionej

Kryteria warunkujące zastosowanie

Podczas planowania odprowadzenia wody deszczowej na powierzchnię zazielenioną należy uwzględnić cechy podłoża gruntowego, a także natężenie i czas trwania opadu. Tereny trawiaste powinny być ukształtowane z odpowiednim spadkiem, aby obciążyć równomiernie całą powierzchnię zieloną. Pochylenie podłużne powierzchni powinno mieścić się w granicach 0,2–0,3%, powierzchnia powinna być zadarniona gęstą trawą, wysoko koszoną i odporną na zasoloną wodę (aspekt ważny w zimie). Grunt, na którym wykonywana jest zadarniona powierzchnia, powinien być przepuszczalny, o współczynniku filtracji większym niż 1,25 cm/h. Taki rodzaj nawierzchni należy stosować w miejscach, w których nie zachodzi niebezpieczeństwo zanieczyszczenia wód gruntowych, czyli przy gruntach nienawodnionych i o głębokim poziomie zalegania wód gruntowych. Przy przyjmowaniu spływów z okolicznych terenów należy zapewniać równomierne rozprzestrzenianie wód opadowych. Można to uzyskać w szczególności za pomocą sztucznych przegród z otworami lub kanałów wypełnionych kamieniami usytuowanych poprzecznie do pochylenia terenu trawiastego. Wielkość powierzchni trawiastej powinna wynikać z warunku przyjęcia pełnej objętości wód opadowych z obiektu przy czasie eksfiltracji 72 h. Aby zapewnić trwałość nawierzchni o podłożu mineralnym, należy zwrócić uwagę na prawidłowo wykonaną podbudowę, a także zastosować krawężniki, względnie obrzeża.

Warunki eksploatacji

Systemy te działają najsprawniej, na powierzchniach przepuszczalnych obsianych systematycznie pielęgnowaną trawą. Kontrole nawierzchni nieumocnionych ograniczają się do sprawdzenia, czy są one wolne od odpadów naniesionych przez ludzi lub wraz z wiatrem (raz na miesiąc, a w przypadku wietrznych dni po ich wystąpieniu). Warto także po większych opadach sprawdzić, czy nawierzchnia odwadnia się w ciągu maksymalnie 72 h. W przypadku zadarnionych powierzchni zaleca się regularne ich koszenie (w miarę potrzeb; częstotliwość wykonywania tego zabiegu będzie uzależniona od sezonu oraz warunków pogodowych). W trakcie użytkowania powinno się dosiewać nasiona traw w miejsca, gdzie powstały uszkodzenia darni. Nawierzchnia żwirowa po oddaniu do eksploatacji powinna być pielęgnowana. W pierwszych dniach po wykonaniu nawierzchni należy dbać, aby była ona stale wilgotna, i zraszać ją wodą ze zbiorników przewoźnych. Nawierzchnia powinna być równomiernie zajeżdżana (dogęszczana) przez samochody lub pieszych na całej jej szerokości w okresie pierwszego miesiąca.



- | | |
|---------------------------------|--------------------|
| ① Kruzywo o ostrych krawędziach | ② Obrzeże betonowe |
| ③ Fundament z betonu klasy C10 | ④ Grunt rodzimy |

Usytuowanie nawierzchni żwirowej przy krawężniku

Pojawiające się wklęsnięcia po okresie pielęgnacji wyrównuje się kruszywem po uprzednim wzruszeniu nawierzchni za pomocą oskardów. Wczesne wyrównanie wklęsnięć zapobiega powstawaniu wybojów. Jeżeli mimo tych zabiegów tworzą się wyboje, uszkodzone miejsca należy usunąć, dosypać świeżej mieszanki żwirowej, wyprofilować i zagęścić wibratorem płytowym lub ręcznym ubijakiem.

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

W przypadku zazielenionych powierzchni przepuszczalnych istnieje możliwość podczyszczenia spływów. Deszczówka w czasie filtracji w głąb gruntu ulega oczyszczeniu. Zatrzymywane są głównie zanieczyszczenia ropopochodne, biogenne oraz zawiesiny. W warstwie humusu, gdzie zaopatrzenie w substancje biogenne oraz gospodarka wodna i powietrzna są najlepsze dla mikroorganizmów, występuje największa zdolność do przechwytywania substancji szkodliwych dla środowiska wodnego. W takich przypadkach, wskutek dobrych właściwości filtracyjnych oraz procesów biochemicznych, zawartość szkodliwych substancji ulega redukcji w pierwszych 30 cm od powierzchni terenu, o ile ożywiona strefa gruntu podlega regularnemu osuszaniu. Przy powierzchniach porośniętych trawą darń dodatkowo zapobiega wymywaniu gruntu. Należy jednak pamiętać, że odbiornikiem spływów są w tym przypadku wody gruntowe, które mogą ulec zanieczyszczeniu, dlatego rozwiązania te mogą być stosowane tylko w przypadku niedużego zanieczyszczenia. W innych sytuacjach (przy większym obciążeniu ładunkiem zanieczyszczeń) należy zastosować dodatkowe, skuteczniejsze rozwiązania do podczyszczania spływów wód opadowych.



*Zazieleniony pas rozdzielający ciągi komunikacyjne o różnym przeznaczeniu, Wrocław
(fot. E. Burszta-Adamiak)*

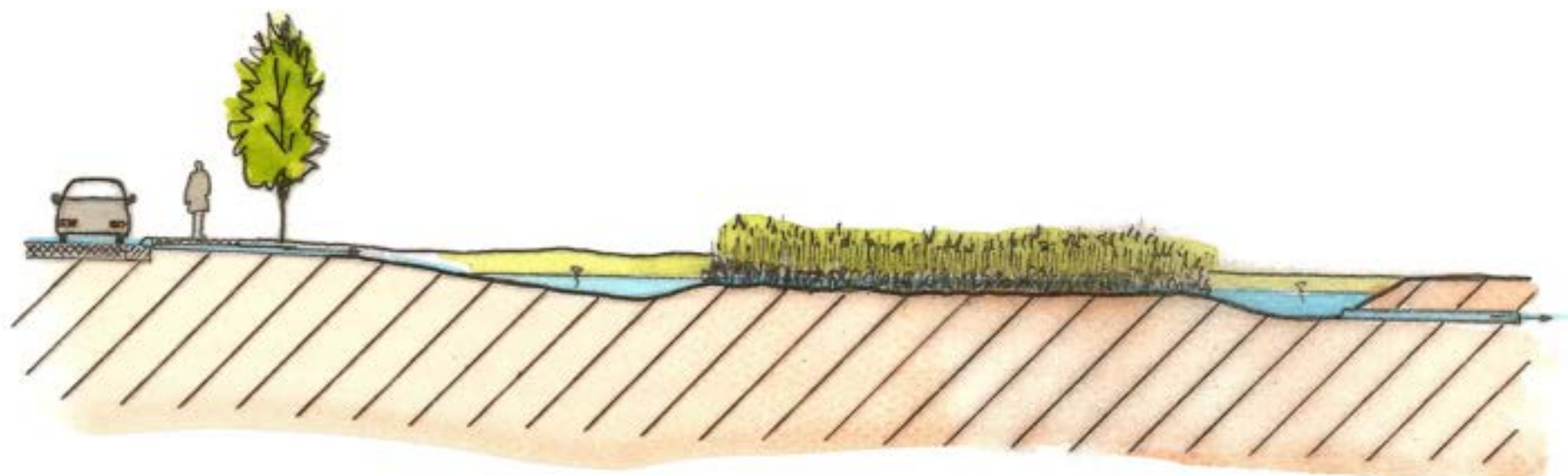


*Zastosowanie geokompozytu komórkowego, zdjęcie wykonane wczesną wiosną, Warszawa
(fot. E. Burszta-Adamiak)*



*Powierzchnia przepuszczalna na drodze publicznej
(fot. UM Wrocław)*

R/08 – OBIEKT HYDROFITOWY

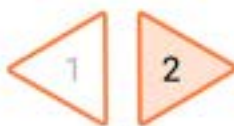


Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0 - 200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201 - 1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Systemy hydrofitowe to sztucznie utworzone obszary podmokłe, których praca naśladuje warunki hydrauliczne i siedliskowe naturalnych ekosystemów bagiennych. Obiekty hydrofitowe można podzielić na obiekty o swobodnym zwierciadle wody (przepływ powyżej poziomu złoża) i o przepływie podpowierzchniowym zasiedlone roślinnością hydrofitową (listę roślin polecanych do systemów hydrofitowych można znaleźć w części wprowadzającej do tego opracowania). Dzięki swoim zaletom oraz naturalnemu wyglądowi obiekty hydrofitowe znajdują coraz powszechniejsze zastosowanie w retencji wód opadowych i ich podczyszczaniu.

Opis działania

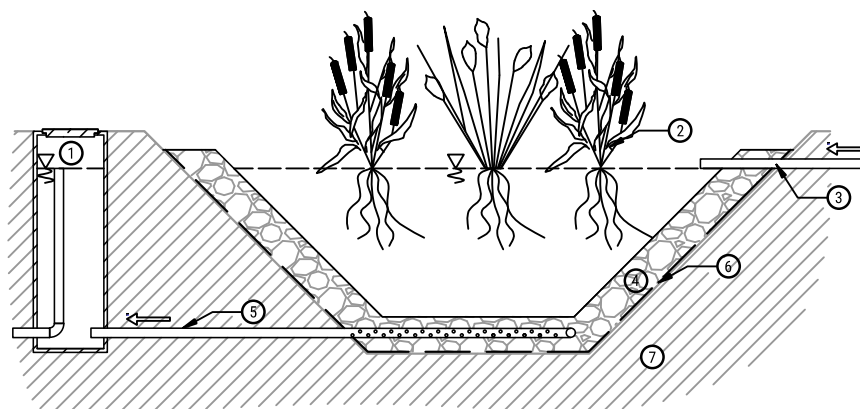
Systemy hydrofitowe w formie stawów lub filtrów gruntowych zapewniają retencionowanie i oczyszczanie spływów opadowych i roztopowych dzięki procesom biologicznym z udziałem mikroorganizmów oraz roślin wodnych i wodolubnych (hydrofitów). Korzenie roślin przerastają wypełnienie złoża. Za ich pośrednictwem roślina pobiera wodę i substancje odżywcze z dopływających wód, zaś do strefy korzeniowej doprowadzane jest powietrze, co sprzyja tlenowym procesom biochemicznego rozkładu zanieczyszczeń w złożu. Niezależnie od typu konstrukcja systemu hydrofitowego jest podobna. Pierwszym stopniem jest osadnik lub wydzielona część sedimentacyjna (w formie zbiornika chłonnego). Zatrzymywane są w nich zanieczyszczenia ulegające sedimentacji (zawiesina mineralna oraz zawiesina organiczna). Konstrukcja części centralnej, tj. złoża, opiera się na zasadzie ziemnego zbiornika uszczelnionego folią lub innym materiałem hydroizolacyjnym (np. matą bentonitową, gliną). W złożu znajdują się system rur dystrybucyjnych oraz zbierających spływy, a wypełnienie najczęściej składa się ze żwiru lub piasku o grubości warstwy 0,6–1,2 m. W złożu nasadzone są rośliny hydrofitowe.

Możliwe miejsca aplikacji

Obiekty hydrofitowe znalazły zastosowanie m.in. przy oczyszczaniu wód przelewowych z kanalizacji ogólnospławnej oraz zagospodarowaniu wód opadowych z autostrad i dróg szybkiego ruchu, ulic, miejsc parkingowych, lotnisk.

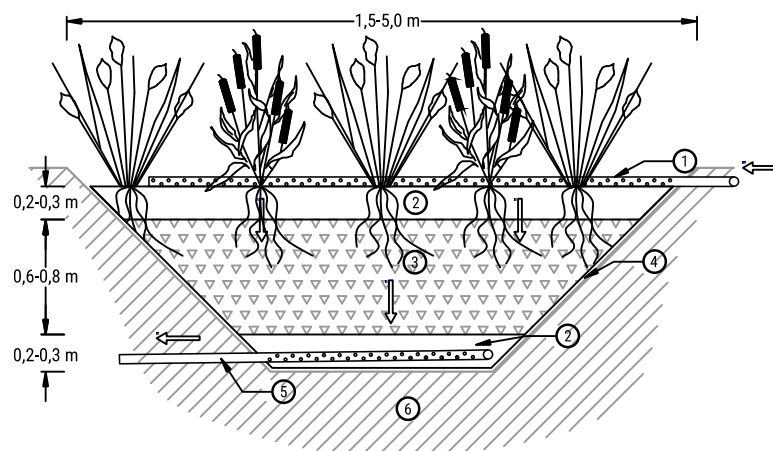
Przykładowe korzyści

Wykorzystanie systemów hydrofitowych do zagospodarowania wód opadowych pozwala nie tylko na udostępnienie pojemności retencyjnej, ale także zapewnia wysoką skuteczność usuwania zanieczyszczeń.



- | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| ① Studzienka kontrolna | ② Roślinność hydrofitowa | ③ Rura doprowadzająca |
| ④ Warstwa żwiru | ⑤ Perforowana rura odprowadzająca | ⑥ Geowłókna |
| ⑦ Nieprzepuszczalny grunt rodzimy | | |

Przykład obiektu hydrofitowego z przepływem poziomym



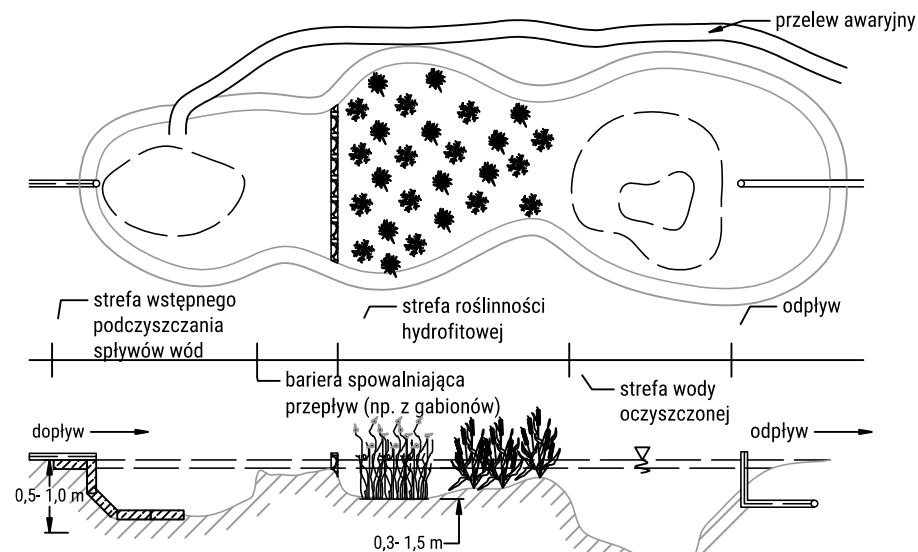
- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| ① Perforowana rura rozprowadzająca | ② Warstwa piasku grubego | ③ Warstwa żwiru |
| ④ Geomembrana | ⑤ Perforowana rura odprowadzająca | ⑥ Grunt rodzimy |

Przykład obiektu hydrofitowego z przepływem pionowym w formie złoża

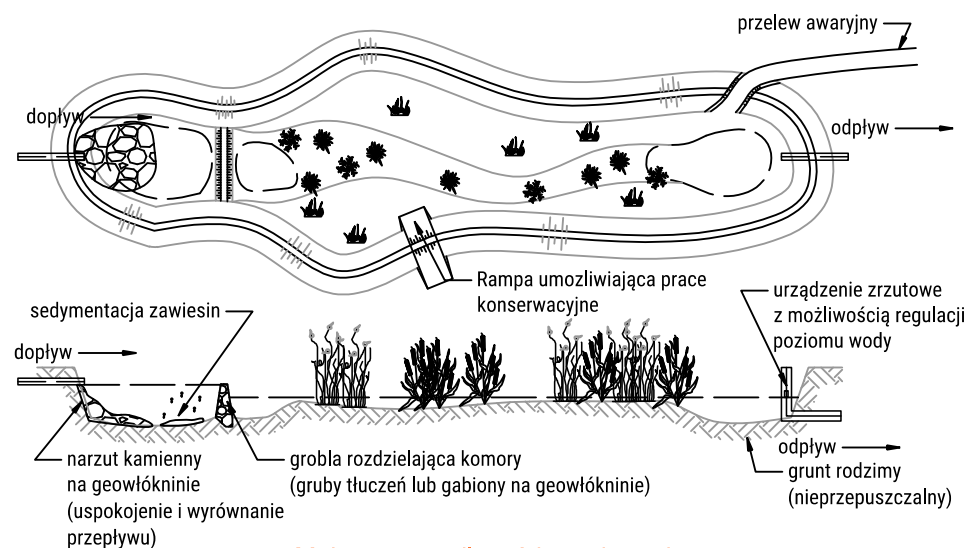
W ten sposób uzyskuje się spłaszczenie i obniżenie fali odpływowej oraz ograniczenie zrztu zanieczyszczeń do wód powierzchniowych. Zaletą tego typu rozwiązań są także walory estetyczne. Oczyszczalnia hydrofitowa prawie w ogóle nie różni się od występujących w naturze stawów i szuwarów. W dodatku systemy te wykazują się dużą odpornością na zmiany obciążeń hydraulicznych, nie zanieczyszczają środowiska wtórnymi osadami ściekowymi, są stosunkowo proste w obsłudze i eksploatacji oraz mają dużą wydajność hydrauliczną (w okresie letnim transpiracja wody może dochodzić nawet do $4-8 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$).

Kryteria warunkujące zastosowanie

Systemy hydrofitowe powinny być projektowane tak, aby były w stanie poradzić sobie z dynamiką hydrologiczną, a zwłaszcza z wahaniami poziomu wody w systemie. To istotny czynnik, który powinien być brany pod uwagę przy doborze roślinności. W przypadku wód opadowych kluczowym jest zastosowanie różnych stref roślinności przystosowanych do specyficznych wymagań hydrologicznych. Złoża hydrofitowe charakteryzują się bardziej złożonymi warunkami wodno-gruntowo-roślinnymi niż stawy hydrofitowe. W materiale wypełniającym złożę, który najczęściej stanowi żwir drobny (o granulacji $2-8 \text{ mm}$), rozwija się tzw. matryca korzeniowa roślin przystosowanych do zasiedlania gruntów, których pory są wypełnione wodami opadowymi. Aby zapewnić odpowiedni stopień retencji i oczyszczania, obiekty hydrofitowe wymagają odpowiednio dużej powierzchni. W przypadku oczyszczania wód opadowych przyjmuje się, że powierzchnia obiektu hydrofitowego z powierzchniowym przepływem powinna być nie mniejsza niż 1,5% powierzchni zlewni, z której odprowadzane są spływy. Wynika z tego istotne ograniczenie wykorzystania stawów hydrofitowych na terenach zabudowanych, dla których w planach zagospodarowania nie przewidziano odpowiedniego miejsca na taką inwestycję. Z tych względów w terenach zurbanizowanych, np. przy parkingach, można wykorzystywać obiekty z podpowierzchniowym przepływem wód (złoża hydrofitowe), natomiast na terenach niezurbanizowanych, np. na drogach szybkiego ruchu czy autostradach, częściej stosowane są stawy hydrofitowe składające się z części tzw. mokrej, stale zalanej wodą, oraz suchej, stanowiącej pojemność retencyjną do przyjęcia spływów deszczowych lub roztopowych. Obiekty te są najczęściej lokalizowane w pobliżu pasów drogowych, np. przy wielopoziomowych skrzyżowaniach (węzłach drogowych).



Obiekt hydrofitowy seminaturalny



Mokre tereny dla wód opadowych

Warunki eksploatacji

Zabiegi eksploatacji takiego systemu najczęściej ograniczają się do wywozu raz na rok osadów wstępnych oraz do okresowej pielęgnacji roślinności (np. koszenia skarp czy regulacji poziomów wypełnienia złożeń), którą można wykonywać przy okazji zabiegów utrzymaniowych roślinności przydrożnej.

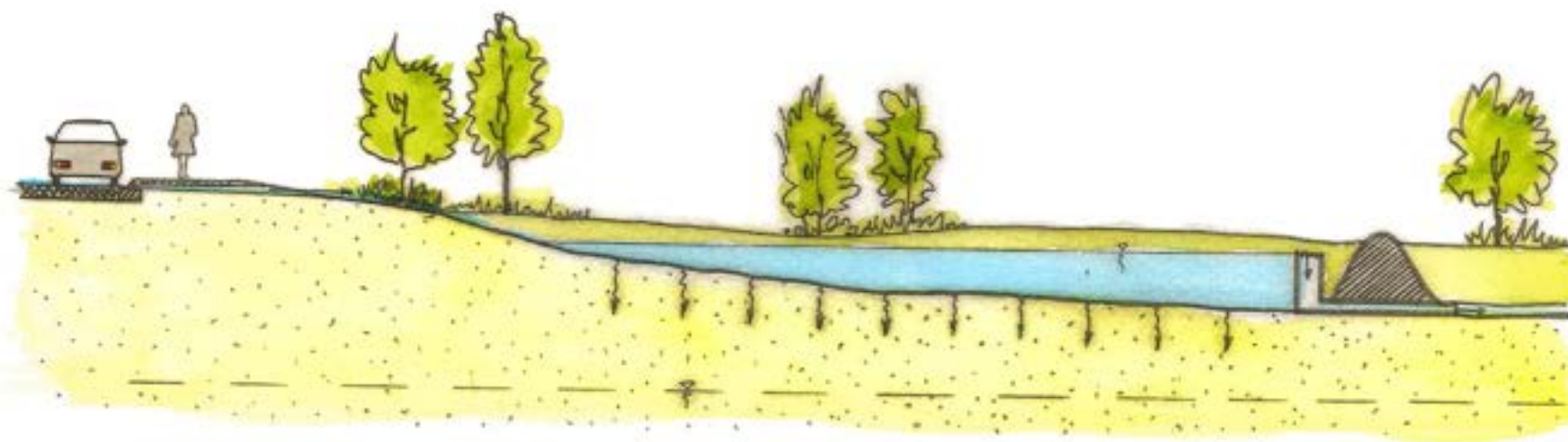
Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Najwyższą skuteczność usuwania doprowadzanych zanieczyszczeń zapewniają obiekty, w których wymuszono zmienne kierunki lub prędkości przepływu poprzez zastosowanie grobli, podziału na kwatery lub przepływu serpentynowego. Przykładowy zestaw systemu hydrofitowego podczyszczającego spływy z autostrady: separator + staw sedimentacyjny + staw hydrofitowy. Liczne badania wykazują, że obiekty hydrofitowe skutecznie usuwają zarówno zanieczyszczenia organiczne (materię organiczną, związki biogenne, węglowodory), jak i nieorganiczne (metale) oraz zanieczyszczenia mikrobiologiczne. Rodzaj roślinności zasiedlającej obiekty hydrofitowe powinien być jedną z podstawowych decyzji podejmowanych na etapie projektowania. Korzenie i kłącza roślin są bowiem ważnym źródłem tlenu, niezbędnym dla procesów mikrobiologicznych, dlatego też powinny one charakteryzować się rozbudowanym systemem.



*Stanowiska pilotowe stawów hydrofitowych w Centrum Wodnym SGGW, Warszawa
(fot. E. Burszta-Adamiak)*

R/09 – POWIERZCHNIOWY ZBIORNIK INFILTRACYJNY



Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0-200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201-1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Powierzchniowy zbiornik infiltracyjny to budowla wodna charakteryzująca się zdolnością do czasowego gromadzenia wody opadowej i rozsączania jej w gruncie. Warunkiem budowy takiego rozwiązania jest obecność w podłożu gruntów przepuszczalnych. Każdorazowo należy rozpatrzyć wpływ takiego zbiornika na warunki gruntowo-wodne terenów przyległych. Rozsączanie może być prowadzone również znacznie poniżej dna zbiornika. Odprowadzanie wody odbywa się wtedy poprzez system otworów filtracyjnych, którymi woda będzie przekazywana do głębszych warstw. Czaszę zbiornika należy zadarnić, aby obiekt wkomponował się w krajobraz.

Opis działania

Powierzchniowy zbiornik infiltracyjny jest odbiornikiem systemów odwadniających pas drogowy. Woda, która trafia do zbiornika infiltracyjnego, jest rozsączana w grunt podłoża. Zbiornik ma ograniczoną kubaturę, a rozsączanie wody jest ograniczone prędkością infiltracji wody w głąb gruntu poniżej zbiornika. W związku z tym zbiornik powinien być wyposażony w przelew awaryjny. W przypadku przepełnienia nadmiar wód jest odprowadzany do odbiornika.

Możliwe miejsca aplikacji

Drogi szybkiego ruchu i główne, ulice zbiorcze i lokalne, tereny zielone, nieużytki, wyznaczone parcele miejskie.

Przykładowe korzyści

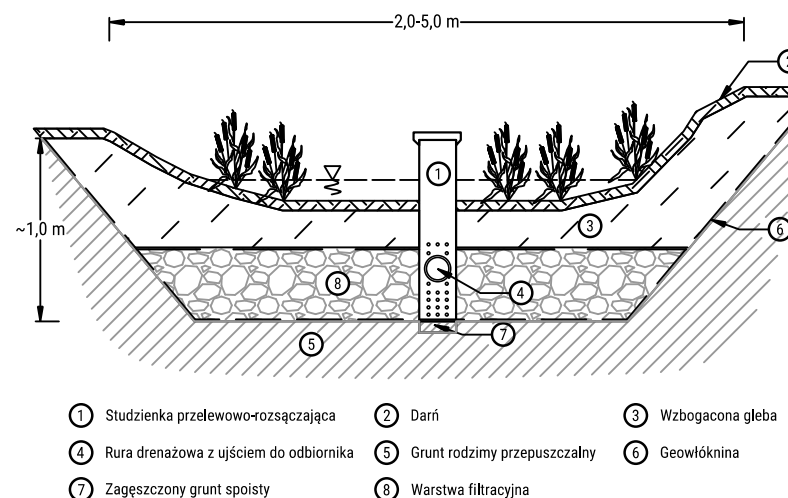
Rozwiązanie pozwala znacząco odciążyć kanalizację burzową.

Kryteria warunkujące zastosowanie

Odpowiednia ilość miejsca uzależniona od dostępności terenu i uwarunkowań formalno-prawnych. Zalecana obecność w podłożu gruntów dobrze przepuszczalnych.

Warunki eksploatacji

Zbiornik należy w trakcie odbioru napęlić maksymalnie, następnie poddać obserwacji w celu weryfikacji, czy wody infiltracyjne nie oddziałują na otoczenie. Dalsza kontrola powinna skupiać się na obserwacji uszkodzeń wykonanych przez zwierzęta lub uzupełnianiu braków zadarnienia. Należy przeciwdziałać kolmatacji podłoża poprzez regularną pielęgnację roślinności, usuwanie osadów oraz stosowanie w konstrukcji zbiornika geosyntetyków separujących warstwę przepuszczalną. Koszenie trawy 2 razy w roku, regularne usuwanie odpadów stałych.

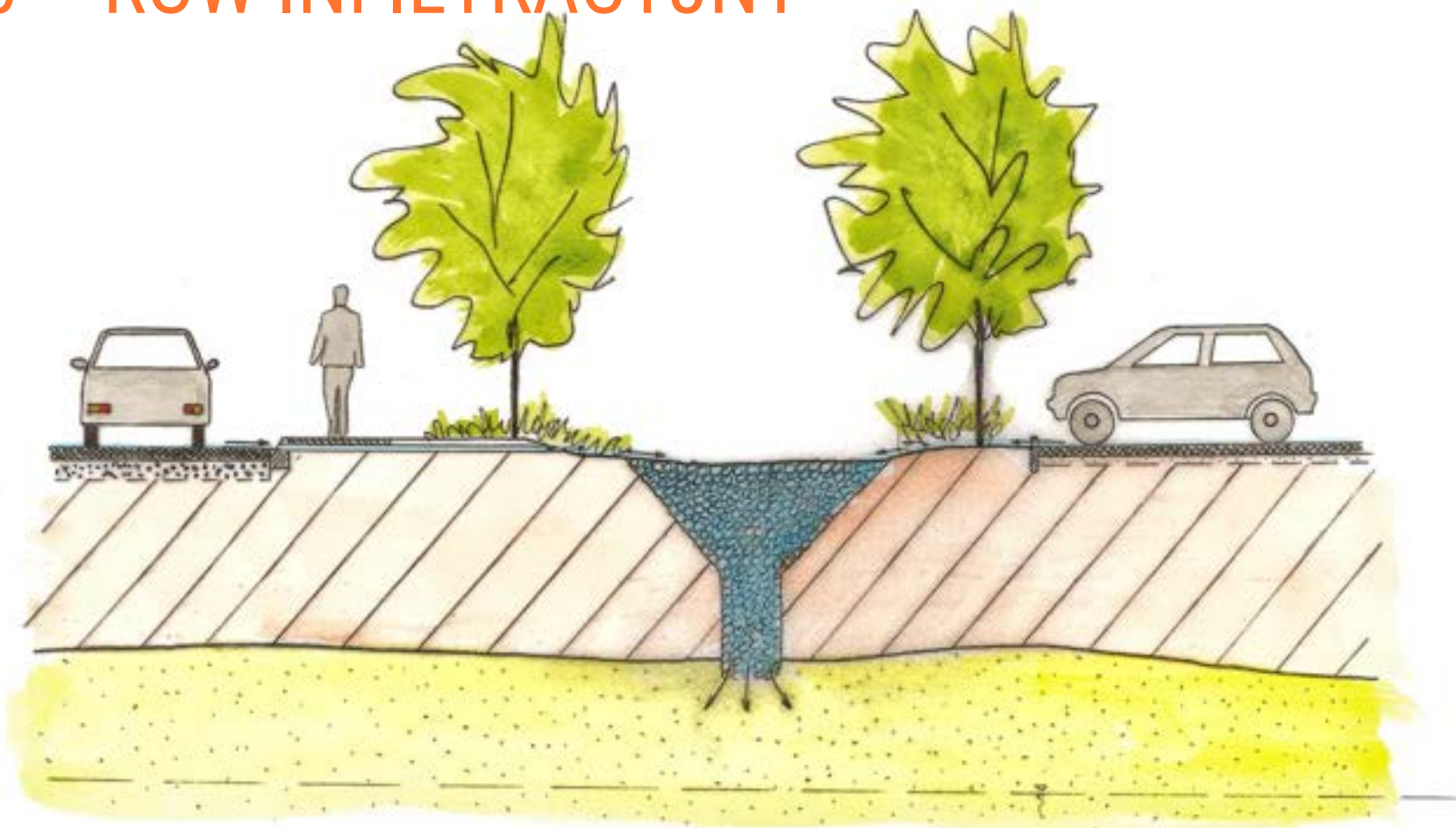


Przekrój przez przykładowy zbiornik infiltracyjny

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Zbiornik zapewnia stosunkowo wysoką skuteczność oczyszczania. W przypadku występowania wód zanieczyszczonych należy rozważyć obsadzenie zbiornika dodatkową roślinnością posiadającą zdolność oczyszczania wód.

R/10 – RÓW INFILTRACYJNY



Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0 - 200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201 - 1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Rów chłonny, inaczej zwany rowem infiltracyjnym, to liniowe urządzenie odwadniające towarzyszące trasom komunikacyjnym, zaprojektowane w celu zatrzymania wody i spowolnienia jej spływu. Infiltracja wód opadowych następuje przez wsad żwirowy o dobrej przepuszczalności i dużej zdolności retencyjnej. Warstwy żwiru należy układać o stopniowo zmieniającym się uziarnieniu, można też zastosować otulinę (geowłókninę filtracyjną). Takie działanie wyklucza przenoszenie cząstek z otaczającego gruntu do warstwy żwirowej. Odpowiednio zaprojektowany rów chłonny, spowalniając i oczyszczając wodę, znacznie przewyższa w działaniu tradycyjne rowy melioracyjne.

Opis działania

Przyjęty w rowie spływ przesącza się przez warstwy filtracyjne i zasila wody gruntowe, a także zmniejsza objętość wody dopływającej do pobliskich odbiorników. Konstrukcyjnie jest to zagłębienie terenu o przekroju prostokątnym lub trapezowym wypełnione materiałem infiltracyjnym. Rowy chłonne mogą retencionować wodę na powierzchni bądź wewnątrz wsadu żwirowego. W warstwie infiltracyjnej – jeśli istnieje taka potrzeba – umieszcza się rurę perforowaną, przez którą nadmiar wody kierowany jest do kolejnych elementów systemu. W celu uzyskania lepszego efektu oczyszczania skarpy rowów należy obsiać mieszkanką traw.

Możliwe miejsca aplikacji

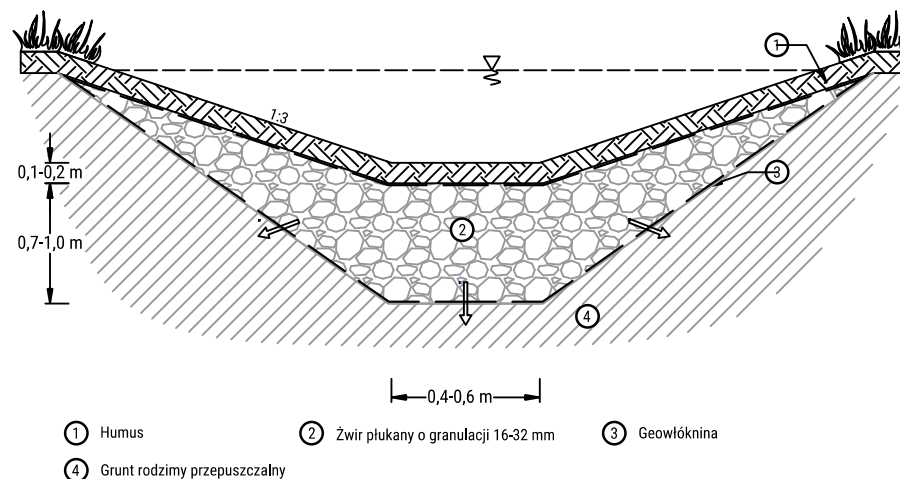
Rowy chłonne stosowane są głównie do odwadniania małych powierzchni, ciągów komunikacyjnych o małym natężeniu ruchu, parkingów, ciągów pieszych, ulic zbiorczych i lokalnych, dróg dojazdowych i wewnętrznych, dróg rowerowych.

Przykładowe korzyści

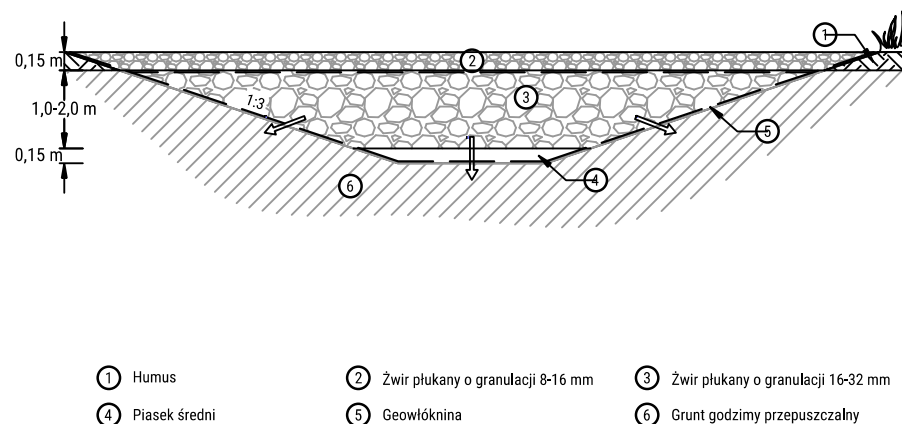
Wkład żwirowy rowów infiltracyjnych sprawia, że urządzenia te przy stosunkowo małych powierzchniach posiadają duże zdolności retencyjne i mogą być stosowane na gęsto zabudowanych terenach.

Kryteria warunkujące zastosowanie

Warto w instalacji zaplanować urządzenie służące do wstępnego oczyszczenia dopływających wód, a także wyposażyć układ w studnię lub kilka studni rewizyjnych (kontrolnych), by móc sprawdzić, jak szybko rów się odwadnia oraz czy doszło do zakolmatowania urządzenia w trakcie eksploatacji. Projekt powinien zawierać ocenę geotechniczną określającą możliwość zastosowania rowu infiltracyjnego w danym miejscu. Pod ten rodzaj urządzeń odpowiednie są grunty z niską zawartością mułu i gliny, zawierające piasek.



Przekrój rowu infiltracyjnego z retencją powierzchniową

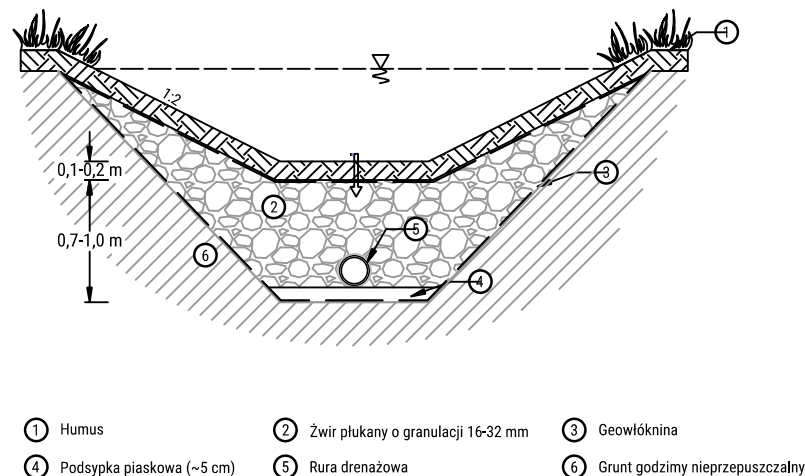


Przekrój rowu infiltracyjnego bez retencji powierzchniowej

Grunty na obszarze dopływu do rowu infiltracyjnego powinny mieć zawartość gliny mniejszą niż 20% i mułu/gliny mniejszą niż 40%, by zapobiec zatykaniu rowu i jego uszkodzeniu. Rowy infiltracyjne powinny być przewidziane w miejscach występowania gruntu zapewniającego szybkość filtracji nie mniejszą niż 0,7 cm/h oraz głębokiego zalegania wód gruntowych, tj. 1,5 m poniżej projektowanego dna rowu. Głębokość rowu powinna mieścić się w granicach 1–2,5 m. Wsad żwirowy może być wykonany poprzez zastąpienie gruntu rodzimego płukanymi rozdrobnionymi kamieniami lub grubym żwirem o średnicy ziaren 3,15–6,3 cm. Ściany boczne powinny być odizolowane od gruntu materiałem zabezpieczającym przed zamuleniem. W górnej części zasypki kamiennej powinna być umieszczona przekładka z geowłókniny filtrującej zabezpieczająca przed zanieczyszczeniem materiał wypełniający zagłębienie. Użyte w rowie kamienne kruszywo powinno mieć średnicę 2,5–7,6 cm i porowatość 40%. Dno rowu infiltracyjnego powinno być wypełnione filtrem piaskowym o grubości 15–30 cm. Jeśli pozwalają na to warunki terenowe, należałoby od strony napływu wody przewidzieć pasmo trawiastego terenu, a po przeciwnej stronie próg przelewowy. Cały układ powinien posiadać studnie kontrolne w celu dokonywania okresowych przeglądów. Wymiary rowu infiltracyjnego powinny zapewnić eksfiltrację pełnej objętości wód opadowych do gruntu w czasie 72 h. Przekrój poprzeczny rowu chłonnego ma najczęściej kształt trójkątny lub trapezowy. Nachylenie skarp wynosi od 1:2 do 1:3, spadek podłużny dna jest taki sam jak odwadnianej drogi. Skarpy rowu pokryte są warstwą humusu obsianego mieszką traw.

Na przyległym obszarze do rowu zaleca się zaprojektowanie roślinnego pasa (szerokości 6–8 m) pełniącego funkcję buforu do przechwytywania dużych części zanieczyszczeń ze spływu. Rów infiltracyjny nadaje się najlepiej do przechwytywania spływów z powierzchni o wielkości do 2 ha, jednak kiedy obszar dopływowy przekracza 2 ha, powinno się zainstalować urządzenia do zagospodarowania wód opadowych wspomagające rowy infiltracyjne. W zaleceniach projektowych używanych w praktyce przyjmuje się, aby rowy infiltracyjne były oddalone co najmniej o 30 m od studni zaopatrujących wodę do spożycia oraz o 8 m od fundamentów budynków. Inne minimalne zalecane odległości dla tego rodzaju urządzeń wynoszą:

- od granicy działki – 3 m,
- od osadnika gnilnego, pól filtracyjnych – 30 m,
- od wód powierzchniowych – 30 m,
- od powierzchniowych źródeł wody do picia – 120 m (30 m dla pomocniczych lub zasilających).



Przekrój rowu infiltracyjnego z retencją powierzchniową i z zastosowaniem rury drenażowej

Warunki eksploatacji

Główny cel utrzymania ma zapobiec kolmatacji, która może doprowadzić do uszkodzenia rowu. Zalecane jest wykonanie w okolicy rowu zadarniowanego pasa buforowego posiadającego zwarte zadarnienie, które należałoby regularnie kosić. Należy też systematycznie usuwać wszystkie odpady naniesione przez ludzi lub przez wiatr z terenu otaczającego rów. Drzewa i inna większa roślinność przyległa do rowu powinny zostać usunięte, aby zapobiegać jego uszkodzeniom. Zaleca się przeprowadzać kontrolę rowu co najmniej raz w roku. Powinna ona obejmować monitorowanie punktu kontrolnego (studzienki kontrolnej), aby potwierdzić, że rów osusza się w wymaganym czasie.

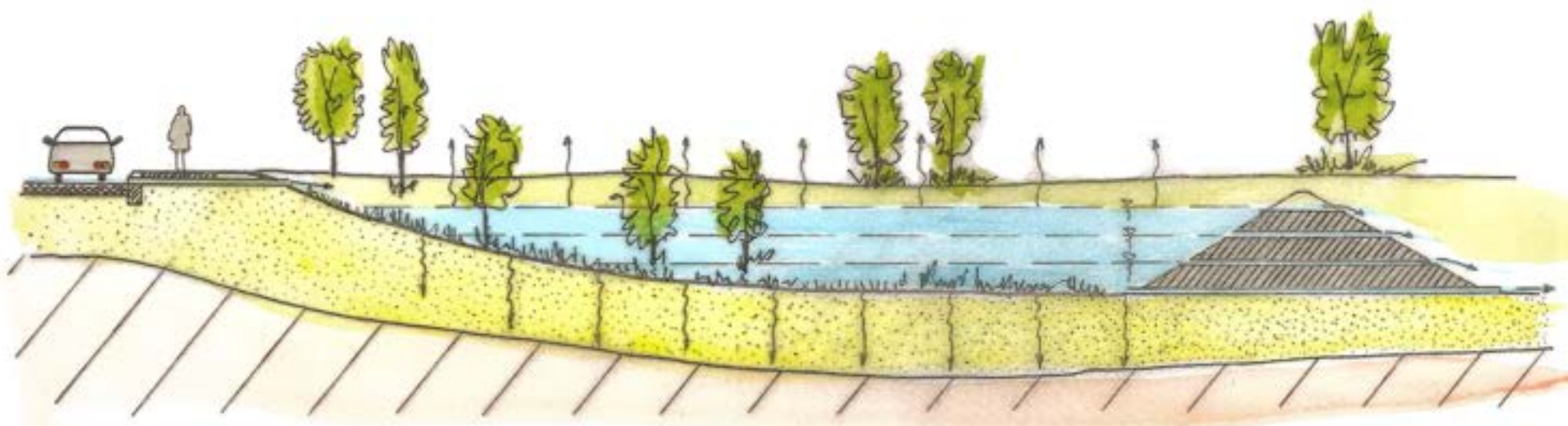
Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Rowy infiltracyjne przechwytyują i oczyszczają małe ilości spływu, ale nie regulują szczytowych hydraulicznych dopływów. Mogą one zostać użyte w połączeniu z innymi urządzeniami, takimi jak staw retencyjny lub sedymencyjny, aby zapewnić zarówno kontrolę jakości wody, jak i sterowanie szczytową falą. Cechach takie jak nadmierne nachylenie obszaru odpływowego, lite typy gruntu (gliny, namuły) i bezpośrednie położenie zwierciadła wód przy dnie rowu powinny wykluczyć użycie tego rodzaju urządzeń w danym terenie. Obszar odpływowy nie powinien przenosić do rowu dużych ilości osadów albo węglowodorów. Z tego powodu rowy zaprojektowane przy lub pod parkingami muszą zostać poprzedzone urządzeniami służącymi do wstępnego oczyszczania. Taki sposób przyczyni się do ich efektywniejszego utrzymania. Rowy, które są zbudowane na terenie parkingów, muszą mieć zapewniony dostęp do przeprowadzenia wszelkich zabiegów konserwacyjnych mających na celu utrzymanie instalacji w dobrym stanie podczas całego okresu eksploatacji. Na terenach, na których powstaje większa liczba zanieczyszczeń, należy zamontować również urządzenia podczyszczające spływy, czyli osadniki lub separatory. Rowy chłonne mogą być używane wspólnie z roślinami bioretencyjnymi, mokradłem trawiastym czy też innymi urządzeniami służącymi do obniżenia poziomu zanieczyszczeń odprowadzanych z nieprzepuszczalnych powierzchni miejskich.



*Rów infiltracyjny wykorzystany do odwodnienia parkingu, Wrocław
(fot. E. Burszta-Adamiak)*

R/11 – SUCHY ZBIORNIK RETENCYJNY



Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0-200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201-1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Suchy zbiornik służy do okresowego przetrzymywania wód opadowych lub powodziowych. Może posiadać zaporę z upustem dennym i przelewem awaryjnym lub być wykonany w zagłębieniu terenu. W takim przypadku musi również posiadać upust denny oraz przelew awaryjny. Czasza zbiornika, napełniając się tylko okresowo w czasie wezbrań, tworzy dogodne warunki bytowania dla fauny i flory. Odpływ wód odbywa się przez upust denny. W razie potrzeby nadmiar wód odprowadzany jest przelewem awaryjnym. Zbiornik suchy może być częściowo zbiornikiem infiltracyjnym. W warunkach miejskich powierzchnia takich zbiorników wynosi od kilkuset metrów kwadratowych do kilku tysięcy metrów kwadratowych.

Opis działania

Zasada działania suchych zbiorników retencyjnych polega na przechwyceniu w czaszy zapory znaczących objętości wód spływowych. Odpływ wód odbywa się przez upusty denny oraz awaryjny. Przez większość czasu czasza zbiornika tworzy dogodne warunki bytowania dla fauny i flory, napełniając się jedynie okresowo w czasie wezbrań.

Możliwe miejsca aplikacji

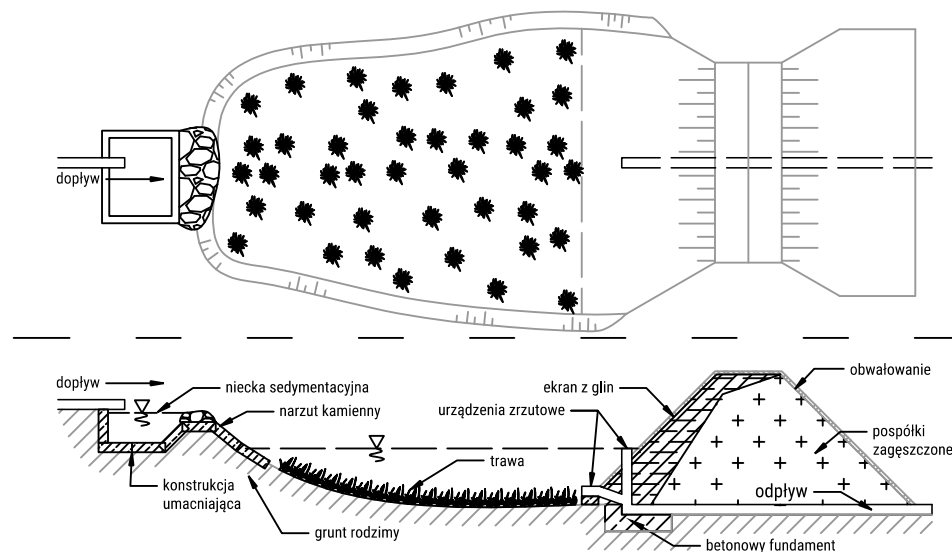
Drogi szybkiego ruchu i główne, ulice zbiorcze i lokalne, place i parkingi. Na naturalnych ciekach, strumieniach i rzekach. W naturalnych lub sztucznych zagłębieniach terenu.

Przykładowe korzyści

Zbiorniki suche dają możliwość czasowego przetrzymania dużych ilości wód opadowych. Tym samym ułatwiają odprowadzenie do odbiorników na terenie miasta nadmiaru wód opadowych. Na co dzień pozostają suche, dając możliwość rozwoju fauny i flory.

Kryteria warunkujące zastosowanie

- wielkość musi być każdorazowo dostosowana do panujących warunków hydrologicznych i gruntowych,
- wody opadowe mogą być doprowadzane do zbiornika korytem otwartym lub zamkniętym,
- obecność w podłożu zbiornika gruntów przepuszczalnych ułatwia odprowadzenie wód opadowych. W takim przypadku należy każdorazowo sprawdzić wpływ inwestycji na stosunki gruntowo-wodne terenów przyległych,
- niezbędne jest zapewnienie możliwości odprowadzenia nadmiaru wód do odbiornika. Odprowadzenie wód może następować grawitacyjnie (sposób preferowany) lub mechanicznie.



Przykład suchego zbiornika retencyjnego w rzucie z góry i przekroju podłużnym

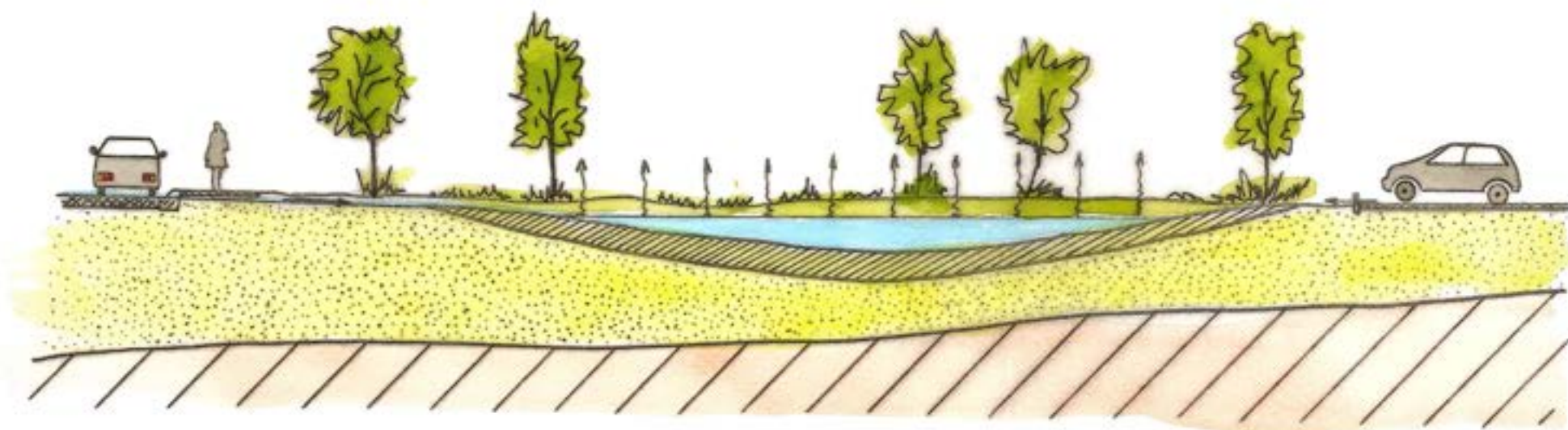
Warunki eksploatacji

Okresowa kontrola stanu urządzeń spustowych i zapory, okresowa pielęgnacja roślinności lub jej wykaszanie, kontrola drożności systemu. Zbiorniki retencyjne wymagają specjalistycznego nadzoru – m.in. geotechnicznego oraz hydrotechnicznego – raz do roku, a także koszenia trawy minimum 2 razy do roku.

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Ograniczona możliwość oczyszczania wód. Wody opadowe napływają do takiego zbiornika stosunkowo szybko i po krótkim okresie przetrzymania są odprowadzane do odbiornika. Istnieje możliwość sedimentacji zawiesin i rumowiska. Ewentualna infiltracja wspomaga proces oczyszczania wód opadowych.

R/12 – ZBIORNIK ODPAROWUJĄCY



Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0-200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201-1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Zbiorniki o szczelnym dnie i skarpach. Zasada działania polega na retencjonowaniu wód opadowych i ich odparowaniu z wolnej powierzchni bez możliwości infiltracji do gruntu. Zbiorniki tego typu powinny być projektowane w ostateczności, gdy inne metody są wykluczone. W naszym klimacie często nie spełniają swojego zadania ze względu na ograniczone parowanie. Zbiorniki bazujące w głównej mierze na parowaniu spotyka się także w przypadku usytuowania nieuszczelnionych zbiorników retencyjnych na gruntach nieprzepuszczalnych i naturalnego ograniczenia możliwości infiltracji. Zbiornik powinien być wyposażony w przelew awaryjny lub przepompownię w celu odprowadzenia nadmiaru wód.

Opis działania

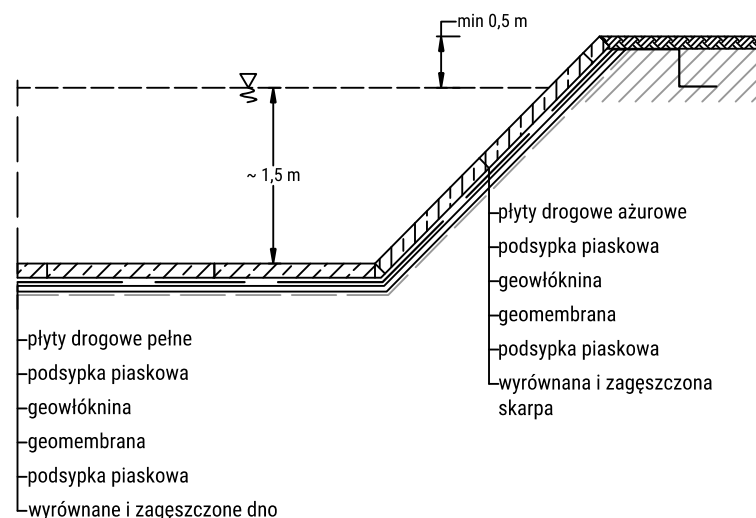
Zbiorniki odparowujące są najczęściej budowane jako z założenia uszczelnione. Wody opadowe są retencjonowane i odparowywane. Funkcję uszczelnienia pełni zazwyczaj geomembrana, mata bentonitowa lub mata bentonitowa laminowana. Dno i skarpy zbiorników wykłada się płytami drogowymi (pełnymi lub ażurowymi). Zbiorniki tego typu są przeważnie płytkie i wymagają dużej powierzchni lustra wody dla zapewnienia odpowiedniej efektywności parowania. Podczas projektowania należy zwrócić szczególną uwagę na zjawisko wyporu zagrażające stateczności obiektu przy wysokim stanie wód gruntowych, przewyższającym poziom wody w zbiorniku. Zaleca się, aby woda w zbiorniku znajdowała się co najmniej 0,5 m poniżej poziomu terenu, a odległość krawędzi zbiornika od dolnej krawędzi skarpy dla zbiorników o głębokości do 1 m wynosiła 5 m, a dla głębszych – 20 m. Nieprawidłowo zaprojektowane lub eksploatowane obiekty mogą stanowić zagrożenie stateczności skarp lub nawet całego korpusu drogi. W warunkach klimatycznych charakterystycznych dla Polski zbiorniki odparowujące działają najbardziej efektywnie od maja do sierpnia, należy jednak dodać, że ich ogólna efektywność w klimacie naszego kraju jest oceniana nisko. Ze względu na przestrzenną zmienność wielkości opadów i parowania efektywność tych zbiorników jest także uzależniona od regionu kraju.

Możliwe miejsca aplikacji

Drogi szybkiego ruchu i drogi główne, ulice zbiorcze i lokalne.

Przykładowe korzyści

Możliwość zastosowania, gdy wykluczona jest infiltracja wód do gruntu, np. przy gruntach nieprzepuszczalnych w podłożu lub dla retencjonowania wód zanieczyszczonych.



Przekrój przez zbiornik odparowujący

Zdolność retencyjna w naszym klimacie jest ograniczona ze względu na niekorzystną dla tego typu rozwiązań różnicę pomiędzy wielkością opadu i parowania. Rośliny (hydrofity) mogą zwiększyć parowanie ze zbiornika ponad dwukrotnie.

Kryteria warunkujące zastosowanie

Wody deszczowe z terenów lub obiektów, na których istnieją potencjalne źródła zanieczyszczeń, powinny być podczyszczane przed dostaniem się do zbiornika lub w samym zbiorniku. Na wlocie zaleca się zastosowanie barier wylapujących większe zanieczyszczenia (odpady, liście). Do odwodnienia dróg klas A, S, GP i G należy stosować zbiorniki odparowujące tylko w połączeniu z przepompownią wód deszczowych.

Warunki eksploatacji

Inspekcja: kontrola napełnienia, drożności dopływów i przelewów awaryjnych, oczyszczanie raz w miesiącu oraz po opadach o dużym natężeniu. Regularna kontrola wypełnienia zbiornika osadami oraz kontrola skarp drogowych w pobliżu zbiornika (ewentualne uplastycznienie gruntu, problemy ze statecznością). Usuwanie osadów i obumarłych części hydrofitów w okresie jesienno-zimowym. W przypadku zbiorników, w których wykorzystuje się hydrofity, należy zwrócić uwagę na odpowiedni dobór środków stosowanych do zimowego utrzymania nawierzchni. Specyfika obiektu (płytki, szczelny zbiornik nieprzepływowy) powoduje możliwość występowania zakwitów glonów, zagniwania zawartości zbiornika oraz masowego składania jaj i wylęgania się larw komarów. Przy niskich temperaturach w pobliżu zbiornika mogą intensywniej występować takie zjawiska jak gołoledź, mgła i szadź. Zbiorniki odparowujące wymagają specjalistycznej obsługi.

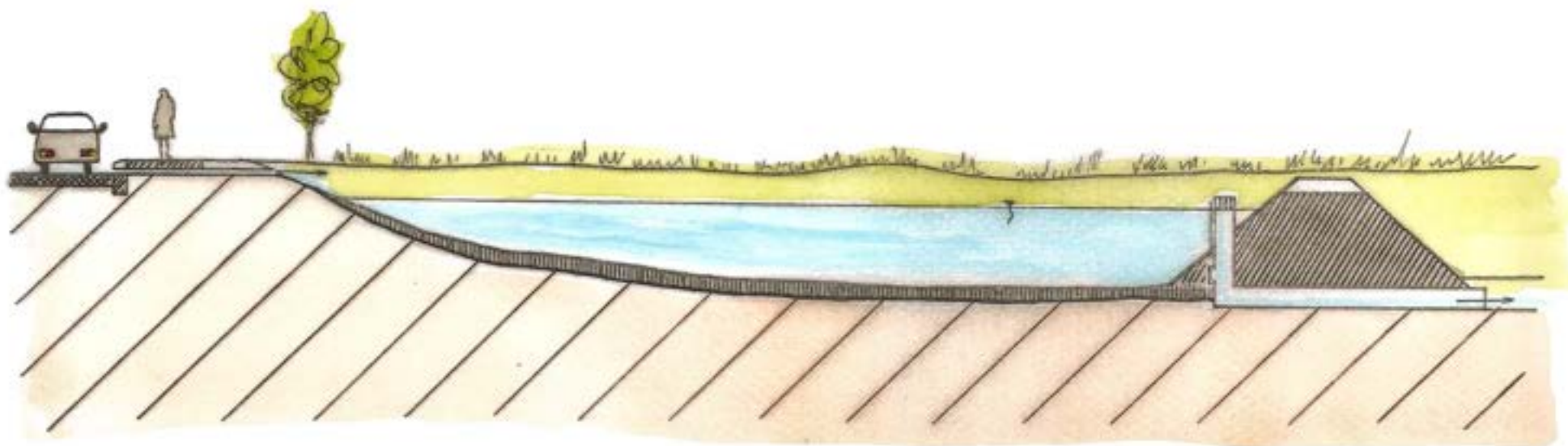
Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Zbiornik odparowujący ma niską zdolność oczyszczania wód. Można ją zwiększać przez zastosowanie urządzeń podczyszczających lub wprowadzenie do zbiornika roślin (hydrofitów).



*Przykład zbiornika odparowującego
(fot. J. Dąbrowska)*

R/13 – POWIERZCHNIOWY ZBIORNIK RETENCYJNY

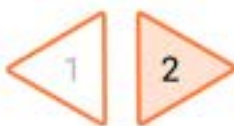


Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0-200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201-1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Zbiornik retencyjny służy do stałego przetrzymywania wód opadowych lub powodziowych. Zwykle jest wyposażony w zaporę z upustem dennym i przelewem awaryjnym. Posiada obwałowania lub – rzadziej – wykonany jest w zagłębieniu terenu. W takim przypadku musi posiadać również urządzenia spustowe. W zbiorniku utrzymywany jest co najmniej nienaruszalny przepływ wody, co tworzy dogodne warunki bytowania dla fauny i flory. Odpływ wód odbywa się przez upust denny. W razie potrzeby nadmiar wód można odprowadzić przelewem awaryjnym. Zbiornik często wykonywany jest na cieku wodnym, choć woda może być do niego doprowadzana również bezpośrednio z terenu zlewni. W warunkach miejskich powierzchnia takich zbiorników wynosi od kilkuset metrów kwadratowych do kilku tysięcy metrów kwadratowych, a głębokość waha się w granicach 2–5 m. Taki zbiornik może być ciekawym miejscem rekreacji dla mieszkańców.

Opis działania

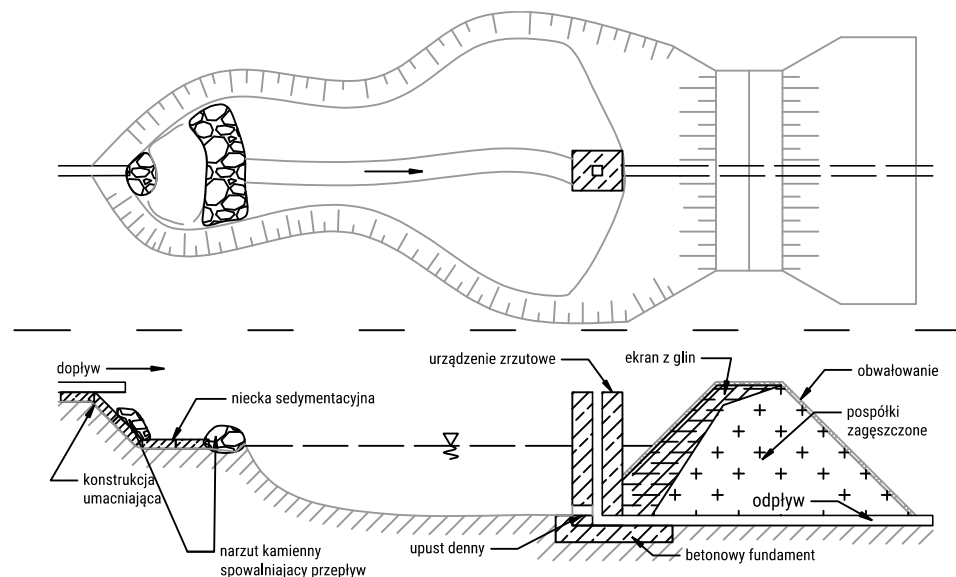
Zbiorniki retencyjne powstałe w wyniku przegrodzenia cieku retencjonują wodę w sposób ciągły. Każdorazowo określa się nienaruszalną pojemność oraz przepływ biologiczny. Umożliwia to stałe bytowanie fauny i flory. W okresach wezbrań wykorzystywana jest pojemność powodziowa. W przypadku dopływu nadmiaru wód powodziowych konieczne jest ich odprowadzenie odpływem awaryjnym. Zbiorniki retencyjne budowane tylko dla gromadzenia wód odprowadzanych z obszarów pasa drogowego gromadzą wodę okresowo – nie posiadają stałego dopływu wód z cieku. Czasowe przetrzymanie wód deszczowych pozwala na wydłużenie czasu odpływu ze zbiornika.

Możliwe miejsca aplikacji

Drogi szybkiego ruchu i główne, ulice zbiorcze i lokalne, place i parkingi. Na naturalnych ciekach, strumieniach i rzekach. W naturalnych lub sztucznych zagłębieniach terenu.

Przykładowe korzyści

Powierzchniowe zbiorniki retencyjne dają możliwość czasowego przetrzymywania dużych ilości wód opadowych. Tym samym ułatwiają odprowadzenie do odbiorników na terenie miasta nadmiaru tych wód. Na co dzień powinny piąć wodę, pozwalając tym samym na rozwój fauny i flory.



Powierzchniowy zbiornik retencyjny w rzucie i przekroju podłużnym

Kryteria warunkujące zastosowanie

- wielkość musi być każdorazowo dostosowana do panujących warunków hydrologicznych i gruntowych,
- wody opadowe mogą być doprowadzane do zbiornika korytem otwartym lub zamkniętym,
- niezbędne jest zapewnienie możliwości odprowadzenia nadmiaru wód do odbiornika. Odprowadzenie to może następować grawitacyjnie (sposób najkorzystniejszy) lub mechanicznie, preferowana obecność gruntów spoistych w podłożu, w przypadku planów budowy zbiornika na gruntach niespoistych należy każdorazowo przeanalizować jego wpływ na stosunki gruntowo-wodne terenów przyległych,
- zaleca się, aby dopływ wód opadowych do zbiornika odbywał się w sposób grawitacyjny, ich odprowadzenie do odbiornika może odbywać się także w sposób mechaniczny,
- w projekcie należy przewidzieć osadnik z separatorem.

Warunki eksploatacji

Okresowa kontrola stanu urządzeń spustowych i zapory, okresowa pielęgnacja roślinności lub jej wykaszanie, kontrola drożności systemu. Zbiorniki retencyjne wymagają specjalistycznego nadzoru, m.in. geotechnicznego, raz w roku.

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Ograniczona możliwość oczyszczania wód. Wody opadowe napływają do takiego zbiornika stosunkowo szybko i po krótkim okresie przetrzymania są odprowadzane do odbiornika. Istnieje możliwość sedimentacji zawiesin i rumowiska. W przypadku występowania wód zanieczyszczonych, w tym o dużym stężeniu substancji biogennych, należy rozważyć budowę zbiornika wstępnego pełniącego funkcję swoistego filtra dla zbiornika głównego.

R/14 – POWIERZCHNIA PRZEPUSZCZALNA AŻUROWA



Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0 - 200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201 - 1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

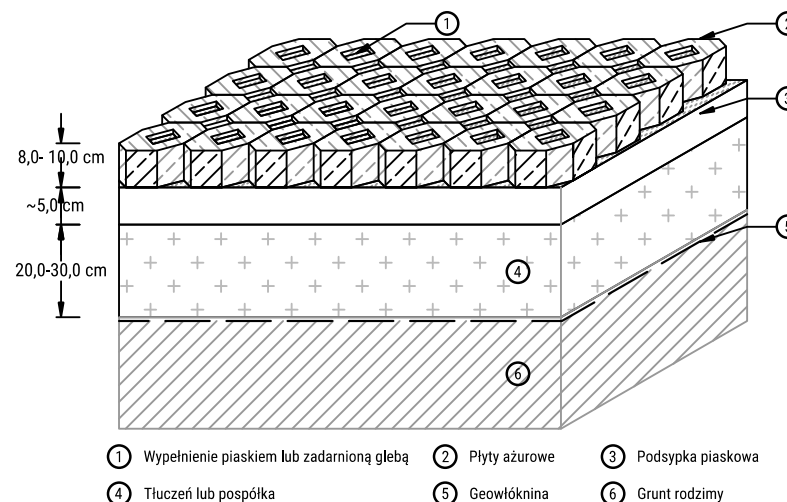
Nawierzchnia przepuszczalna jest to nawierzchnia umożliwiająca swobodne odprowadzanie wód opadowych i roztopowych do gruntu. Nawierzchnie perforowane to szczególny rodzaj nawierzchni, pozwalający opadom deszczu i śnieżnym roztopom przesączać się do gruntu i naturalnie filtrować, redukując przy tym spływ z terenu i pobliskich obszarów oraz przyczyniając się do ponownego zasilenia wody gruntowej. Taka nawierzchnia może zastępować konwencjonalne, nieprzepuszczalne nawierzchnie stosowane m.in. na parkingach oraz ciągach pieszo-jezdnych. Wodoprzepuszczalne nawierzchnie mogą być realizowane poprzez zastosowanie:

- krat ażurowych (nazywanych również kratami trawnikowymi, kratami samochodowymi, płytami trawnikowymi, eko kratami),
- mieszanek mineralno-żywicznych,
- betonu cementowego,
- asfaltu porowatego.

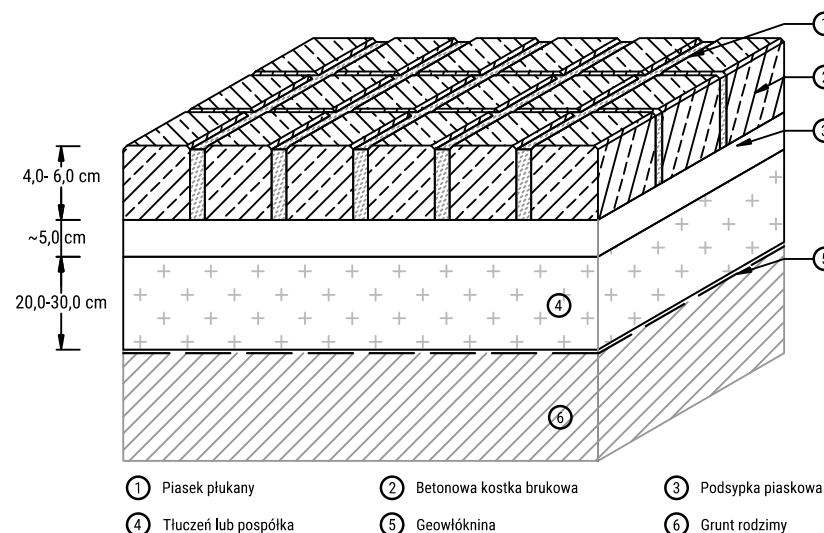
Płyty ażurowe mają kształt kratki o szerokich spoinach, a wycięte w środku otwory wypełnia się piaskiem, żwirem lub żyzną ziemią i obsiewa trawą. Na rynku dostępne są obecnie elementy betonowe, klinkierowe, względnie z tworzyw sztucznych, umożliwiające układanie półprzepuszczalnych powierzchni. Płyty mają kształt kwadratu lub prostokąta, różnią się między sobą wymiarami, strukturą, kształtem i wielkością komór, co pozwala dobrać płyty do indywidualnych potrzeb lokalnych. Na rynku dostępne są także kostki betonowe z wypustkami dystansowymi wzdłuż krawędzi umożliwiające ułożenie zapewniające pozostanie między kostkami odpowiednio szerokich odstępów. Charakterystyczne wypustki dystansowe po ułożeniu stają się niewidoczne.

Stosowane na nawierzchnie wodoprzepuszczalne mieszanki mineralno-żywiczne (np. beton żywiczny) oraz betony przepuszczalne charakteryzują się większą trwałością i stabilnością niż naturalne nawierzchnie żwirowe. Nawierzchnie mineralno-żywiczne są wykonane z naturalnego kruszywa, np. grysłu lub żwiru, związanego niewielką ilością żywicy epoksydowej, dając w efekcie strukturę porowatą, przez którą swobodnie przepływa woda. Ten rodzaj nawierzchni wykonywany jest bezpośrednio na placu budowy – spoiwo poliuretanowe (przechowywane w postaci komponentów) miesza się w odpowiednich proporcjach z kruszywem i w całości wylewa na przygotowane wcześniej podłoże.

Kolejny rodzaj nawierzchni porowatej to beton cementowy, zwany także komórkowym lub jamistym. Jest jednym z rodzajów betonu lekkiego, całkowicie pozbawionego piasku lub z niewielką jego zawartością.



Przekrój przez powierzchnię ażurową z zastosowaniem betonowych płyt ażurowych (tzw. eko kraty)



Przekrój przez powierzchnię ażurową z zastosowaniem betonowej kostki brukowej

Może być wykonany z kruszyw o grubszym uziarnieniu, tj. żwiru i tłucznia (frakcje powyżej 4 mm). Ziarna kruszywa zostają połączone trwale za pomocą cementu, tworząc strukturę o wysokiej porowatości (wolne przestrzenie pomiędzy ziarnami stanowią 15–25%). Z kolei asfalt porowaty to mieszanka wysokiej jakości kruszyw, środka stabilizującego oraz lepiszcza. Asfalt porowaty stosowany jest jako warstwa ścieralna w celu zapewnienia dobrej przepuszczalności dla wody, ale także dla uzyskania dobrej szorstkości i obniżenia poziomu emitowanego hałasu.

Opis działania

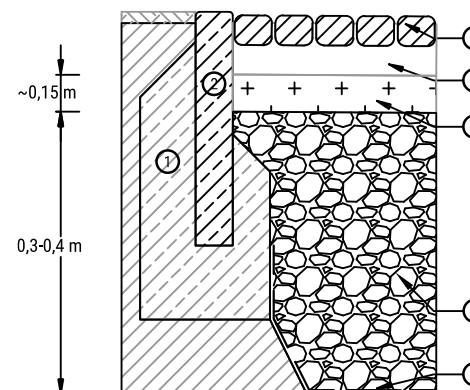
Nawierzchnie porowate służą do infiltracji spływów opadowych i roztopowych poprzez porowatą strukturę nawierzchni lub ażurowy kształt elementów i odprowadzenie ich w głąb gruntu. Zapewniają komfort komunikacyjny.

Możliwe miejsca aplikacji

Ażurowe systemy wzmacniania nawierzchni są zalecane w miejscach o niewielkim natężeniu ruchu, tj. ciągach pieszych, ulicach, placach, parkingach, chodnikach, drogach parkowych, podjazdach garażowych, drogach pożarowych, placach zabaw, boiskach sportowych. Nawierzchnie z mineralno-żywicznych mieszanek nadają się także na drogi rowerowe i bieżnie sportowe. Wodoprzepuszczalny beton cementowy jest coraz powszechniej stosowany na parkingach, lotniskach, osiedlach mieszkaniowych, ciągach pieszo-jezdnym oraz podjazdach. Asfalt porowaty stosowany jest na parkingach, boiskach, placach, chodnikach, a także w przypadku jezdni ulic wymagających wyciszenia.

Przykładowe korzyści

Przepuszczalność zastosowanych materiałów zapobiega gromadzeniu się wody deszczowej i roztopowej na powierzchni pieszo-jezdnej, co zwiększa bezpieczeństwo ruchu. Brak kałuż eliminuje tzw. zjawisko olśnienia podczas jazdy w porze nocnej. Dodatkowy wzrost bezpieczeństwa na drodze wynika z minimalizowania niebezpieczeństwa poślizgu podczas gołoledzi. Powierzchnie te stanowią swego rodzaju pierwotny filtr w przypadku zanieczyszczeń dopływających ze spływami. Mieszanki mineralno-asfaltowe oraz asfalt porowaty dodatkowo uniemożliwiają zarastanie, a utrzymywane w czystości są odporne na kiełkowanie nasion traw i chwastów. Płyty betonowe ażurowe są produktami odpornymi na ściskanie. Dobrze sprawdzą się zarówno do ruchu pieszego, jak i do przemieszczania się samochodów osobowych. Nie ulegają odkształceniom i nie pękają pod wpływem działania ujemnych temperatur.



- | | | |
|---------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| ① Ława betonowa | ② Obrzeże betonowe | ③ Betonowa kostka brukowa |
| ④ Mieszanka piasku z tłucznem (~5 cm) | ⑤ Żwir | ⑥ Warstwa drenażowa |
| ⑦ Geowłóknina | | |

Przykład układu warstw konstrukcyjnych zastosowanych przy wykonaniu powierzchni ażurowej z wykorzystaniem betonowej kostki brukowej

Dzięki temu tworzą trwałe nawierzchnie, które nie wymagają czasochłonnej pielęgnacji ani konserwacji. Powierzchnie porowate dają duże możliwości aranżacji przestrzeni. Osoby decydujące się na wykorzystanie tej technologii mogą liczyć na bogatą paletę kolorystyczną ze względu na możliwość wykorzystania bardzo różnorodnego kruszywa (grysy z granitu, bazaltu, kwarcu, porfiru, gabra itd. oraz ich mieszanek) w mieszkankach mineralnych lub mineralno-żywicowych. Duża różnorodność wzorów, wielkości otworów wypełnianych żwirem lub trawą w przypadku ażurowych nawierzchni podnosi walory estetyczne i krajobrazowe.

Kryteria warunkujące zastosowanie

Aby zapewnić trwałość nawierzchni przepuszczalnej dla wody, należy zwrócić uwagę na prawidłowo wykonaną podbudowę. Porowata powierzchnia jest układana na dobrze przepuszczalnej warstwie żwiru i kruszywa, a wolne przestrzenie działają jak przechowywający zbiornik dla opadu, który chwilowo magazynuje spływ, zanim przeniknie on do gruntu. Podczas projektowania przepuszczalnych nawierzchni powinno się uwzględnić wstępne oczyszczenie wód deszczowych poprzez np. pas roślinny zlokalizowany dookoła przepuszczalnej nawierzchni. Zalecane jest również zastosowanie przepuszczalnych powierzchni wraz z innymi technikami infiltracji, np. stawem czy rowem infiltracyjnym. Wysokość zwierciadła wody gruntowej od powierzchni porowatej powinna wynosić min. 1 m. Czynniki warunkujące proces projektowy to miejscowe uwarunkowania, m.in. rodzaj gruntu, dostępność terenu, natężenie ruchu. Muszą one zostać rozważone przy projektowaniu i doborze materiałów nawierzchni. Rodzaj gruntu oddziałuje na tempo infiltracji i tak np. gliniaste grunty ograniczą infiltrację na miejscu, dlatego należy projektować porowate powierzchnie na gruntach dobrze przepuszczalnych. Nawierzchnie mineralno-żywicowe można układać na płaskich powierzchniach oraz o spadkach większych niż 5%. Najtańsze płyty ażurowe nie posiadają zbrojenia. Tego typu produkty nadają się wyłącznie na ścieżki komunikacyjne dla pieszych (bez obciążenia ruchem samochodowym). Na parkingi i podjazdy warto wybierać zbrojone płyty ażurowe, które zapewnią większą trwałość oraz odporność na ściskanie. W przypadku mieszanek mineralno-żywicowych i asfaltobetonu oraz betonu cementowego należy zwrócić uwagę na czas wiązania, po którym nawierzchnia nadaje się do użytkowania, oraz na temperaturę otoczenia, w której te prace mogą być wykonywane (najczęściej min. 10–15°C). Pełne obciążenie nawierzchnie te mogą przenosić najczęściej dopiero po 1–3 dniach od wykonania.



*Parking na rowery, dworzec PKP, Wrocław
(fot. E. Burszta-Adamiak)*



*Kostka farmerska, Wrocławski Park Przemysłowy
(fot. J. Dąbrowska)*

Warunki eksploatacji

Utrzymanie powinno obejmować czyszczenie przestrzeni (przy kratkach ażurowych) przynajmniej raz na rok (z właściwym pozbyciem się usuniętego materiału). Można tego dokonywać za pomocą myjki ciśnieniowej, która odblokowuje pory w górnej warstwie. Wyboje i pęknięcia (szczeliny) powinny być naprawiane na bieżąco, aby nie obniżać wytrzymałości konstrukcji. W przypadku uszkodzeń nawierzchni z mieszanek mineralno-żywiczych naprawa nawierzchni polega na wycięciu za pomocą przecinarki uszkodzonego fragmentu i wypełnieniu miejsca nową mieszanką. Co pewien czas, np. wiosną, trzeba uzupełniać piasek/żwir wypełniający szczeliny między kostkami/w otworach krat. W miejscach wilgotnych i zacienionych nawierzchnia z czasem pokrywa się nalotem organicznym. Aby temu przeciwdziałać, zanieczyszczenia organiczne należy usuwać za pomocą myjki ciśnieniowej, uważając, by nie wypłukać kruszywa z fug. Raz na rok należy ocenić stan konstrukcji i dokonać naprawy ewentualnych jej uszkodzeń.

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Możliwości oczyszczania tego typu rozwiązania są bardzo małe. Zanieczyszczenia usuwane są w tym układzie na zasadzie procesów mechanicznych – filtracji, cedzenia czy sedymentacji.

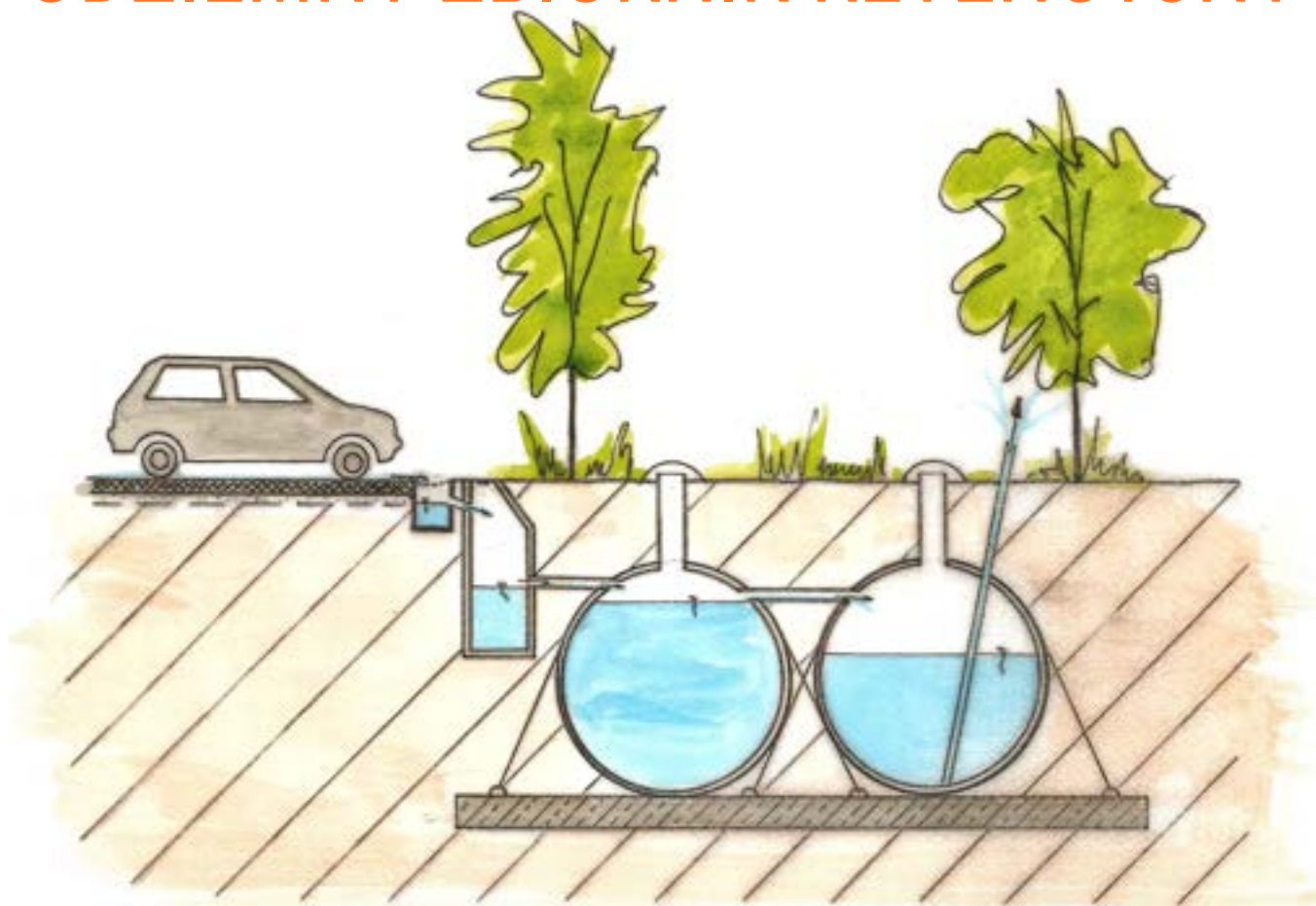


*Parking wykonany z ekokraty, Wrocław
(fot. E. Burszta-Adamiak)*



*Parking z kraty ażurowej, Osiedle QUART I, Wrocław
(fot. E. Burszta-Adamiak)*

R/15 – PODZIEMNY ZBIORNIK RETENCYJNY

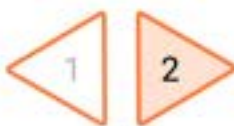


Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0 - 200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201 - 1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Podziemne zbiorniki retencyjne służą do okresowego przetrzymywania wód. Mają pojemność od kilku do kilkuset m³. Mogą być ze sobą łączone, tworząc niemal dowolne konfiguracje. Stosuje się zazwyczaj w przypadkach, gdy istnieje możliwość późniejszego wykorzystania wody np. do nawadniania lub gdy nie ma możliwości rozprowadzenia zgromadzonej wody w gruncie. Mogą być instalowane w dowolnych warunkach gruntowych, przy czym każdorazowo należy rozważyć możliwość ich wyparcia przez wody gruntowe. W takich przypadkach niezbędne będzie właściwe zakotwienie. Zbiorniki podziemne mogą być wykonane z tworzyw sztucznych, stali lub betonu. Szczególnie nadają się do stosowania pod placami, parkingami, wzdłuż pasa drogowego. Mogą też służyć jako źródło wody dla strażaków w miejscach, gdzie podłączenie do sieci wodociągowej jest niedostępne. Podziemne zbiorniki retencyjne mogą gromadzić duże ilości wód opadowych, rozwiązując w wielu miejscach problem ich odprowadzenia w czasie intensywnych opadów. Mogą też stanowić cenne źródło wody wykorzystywanej do nawodnień.

Opis działania

Zasada działania podziemnych zbiorników retencyjnych polega na przechwyceniu i czasowym przetrzymaniu znaczących objętości wód spływowych. Podstawową przesłanką do budowy takiego zbiornika powinien być brak miejsca do wykonania zbiornika otwartego. W tego typu instalacjach należy wykonać włazy kontrolne i rewizyjne w łatwo dostępnych miejscach.

Możliwe miejsca aplikacji

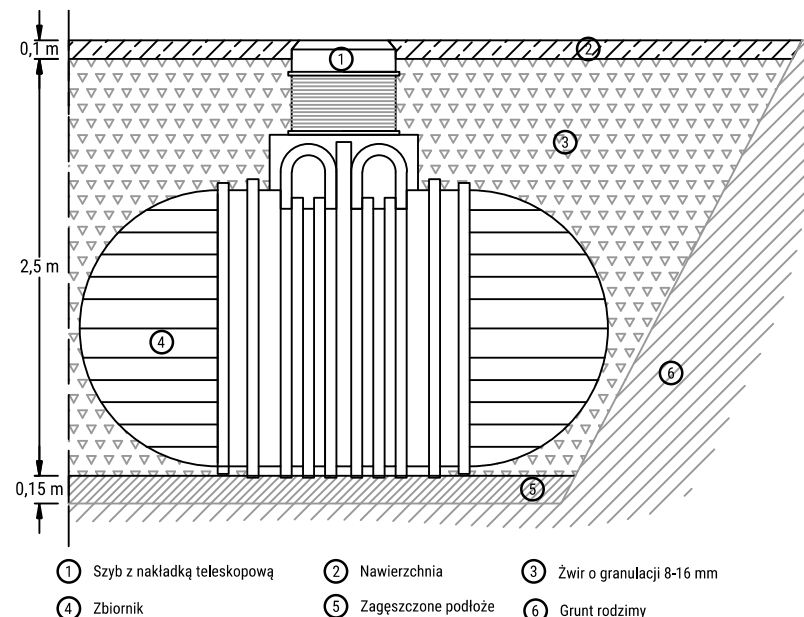
Przy drogach, pod placami, parkingami.

Przykładowe korzyści

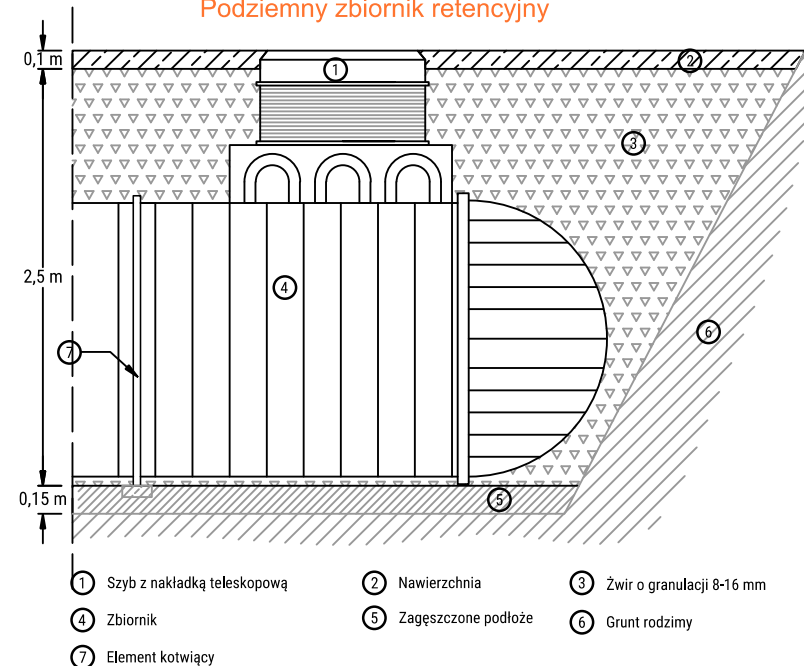
Zbiorniki podziemne dają możliwość czasowego przetrzymania dużych ilości wód opadowych. Tym samym ułatwiają odprowadzenie do odbiorników na terenie miasta nadmiaru wód. Zdolność retencyjna wynosi zwykle 785–4900 mm · m² rozwiązania dla zbiorników o przekroju kołowym i 500–1250 mm · m² rozwiązania w przypadku zbiorników o przekroju prostokątnym.

Kryteria warunkujące zastosowanie

Należy zwrócić szczególną uwagę na kwestię ewentualnego wyporu zbiornika przez wody gruntowe. Jeśli istnieje zagrożenie, że wody gruntowe mogą przewyższać dno zbiornika, należy go zakotwić do gruntu. Szczególnie w przypadku, gdy woda zgromadzona w zbiorniku ma być wykorzystywana do nawodnień, należy rozważyć budowę osadnika



Podziemny zbiornik retencyjny



Podziemny zbiornik retencyjny

wstępnego umożliwiającego podczyszczenie gromadzonej wody. Każdorazowo powinno się zapewnić możliwość awaryjnego odprowadzenia nadmiaru wód do odbiornika. Trzeba pamiętać o przewidzeniu wjazdu kontrolnego i wentylacji zbiornika. Wody opadowe mogą być doprowadzane do zbiornika systemem podziemnych rur, każdorazowo należy ustalić najwyższy przewidywany poziom wód gruntowych. Przy projektowaniu wymagane jest upewnienie się, czy nie zachodzi możliwość wyparcia obiektu przez wody gruntowe, oraz dostosowanie sposobu kotwienia do istniejących warunków gruntowo-wodnych i hydrologicznych.

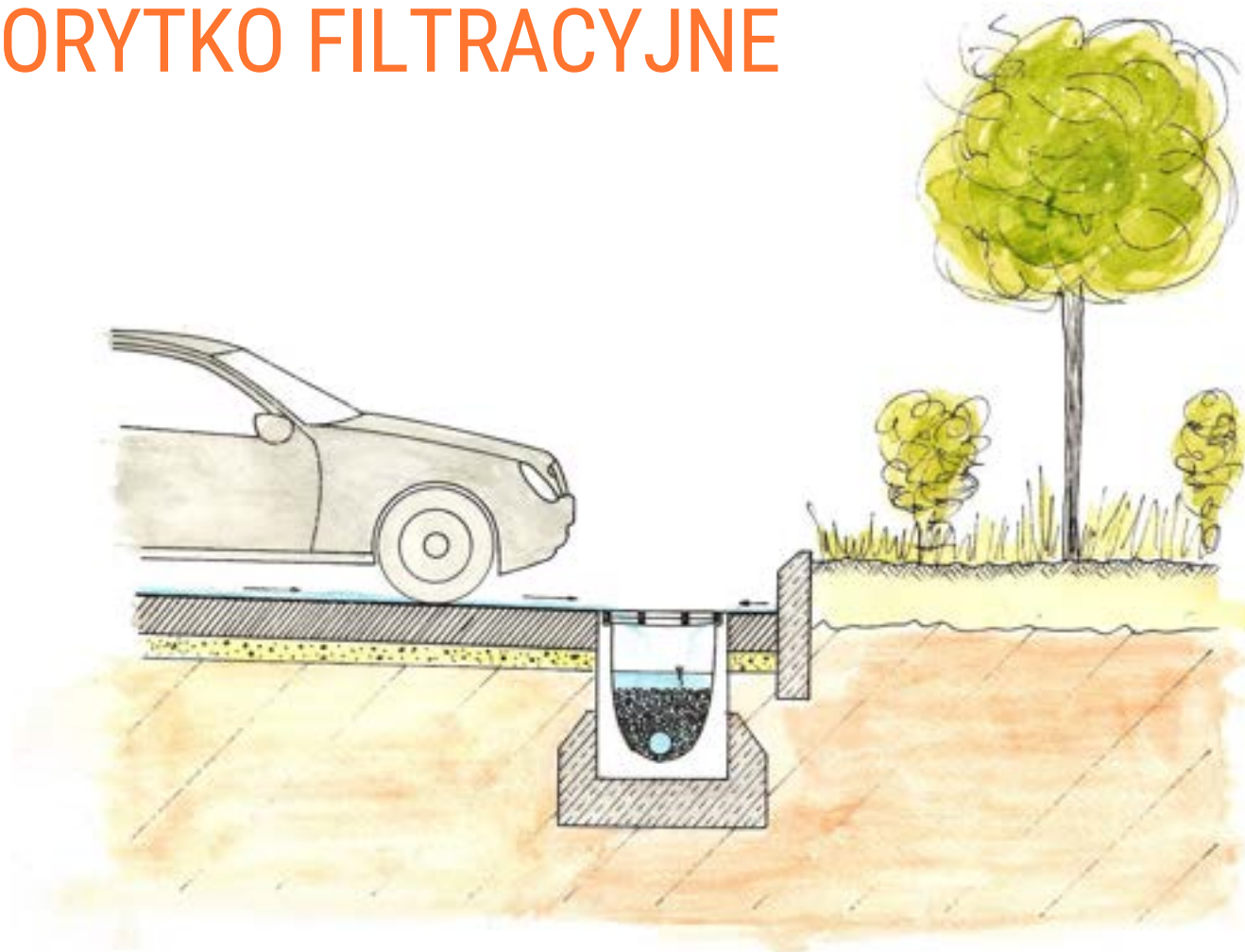
Warunki eksploatacji

Okresowa kontrola stanu urządzeń drożności i sprawności elementów układu – raz na rok.

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Ograniczona możliwość oczyszczania wód. Wody opadowe napływają do takiego zbiornika stosunkowo szybko i po krótkim okresie przetrzymania są odprowadzane do odbiornika. Istnieje możliwość sedimentacji zawieszin i rumowiska. Zwykle stosuje się separatory i osadniki zatrzymujące zanieczyszczenia mineralne czy ropopochodne.

R/16 – KORYTKO FILTRACYJNE



Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0 - 200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201 - 1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Korytka występują przeważnie w formie rynny muldowej, skrzynkowej lub szczelinowej. Korytka mogą odprowadzać wodę opadową w sposób bezpośredni lub być zaopatrzone w złoża filtracyjne. Nie stosuje się ich raczej jako rozwiązania retencjonującego wodę, lecz jako liniowe odprowadzenie wody do odbiornika. Korytko filtracyjne posiada dodatkową funkcję podczyszczania wody.

Opis działania

Woda opadowa spływająca z powierzchni drogi poprzez korytka ścieka do odbiornika, np. skrzynek retencjonująco-rozsączających, bądź bezpośrednio do kanalizacji burzowej. Woda spływa korytkami grawitacyjne dzięki dobraniu odpowiednich spadków.

Możliwe miejsca aplikacji

Drogi dojazdowe i wewnętrzne, place i parkingi.

Przykładowe korzyści

Zaletą korytek filtracyjnych jest możliwość podczyszczania wody opadowej spływającej z parkingów do kanalizacji burzowej. System sorpcyjny takich korytek na małym parkingu lub drodze osiedlowej według danych przedstawianych przez producentów jest w stanie funkcjonować nawet przez kilkanaście lat.

Kryteria warunkujące zastosowanie

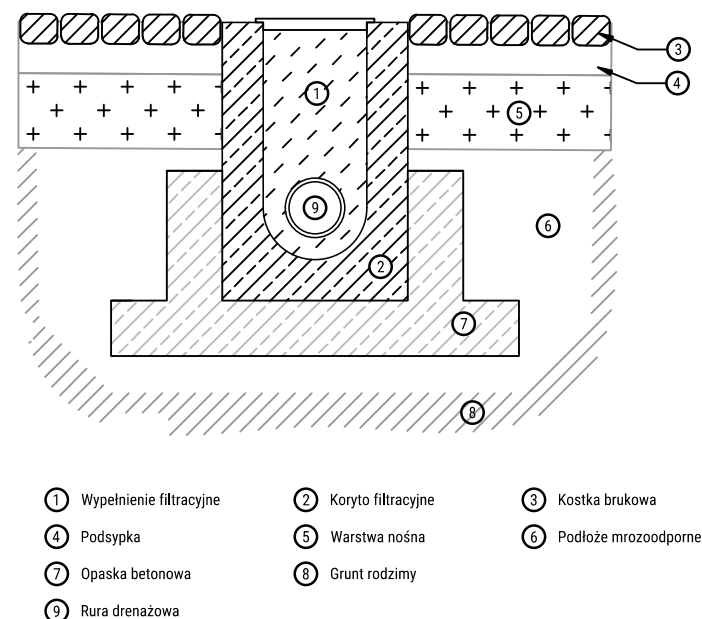
Kluczowe jest ustalenie spadków pozwalających na spływ wód do korytek, a następnie ich odprowadzenie do odbiornika. Przy dużych instalacjach proponuje się użycie zaworów zwrotnych na wejściu do odbiornika.

Warunki eksploatacji

Kontrola stanu korytek filtracyjnych raz na 3 lata – w szczególności chodzi tutaj o kratki chroniące korytka przed dostawaniem się stałych zanieczyszczeń. Filtry w korytkach należy wymieniać raz na kilkanaście lat w zależności od wskazań producenta.

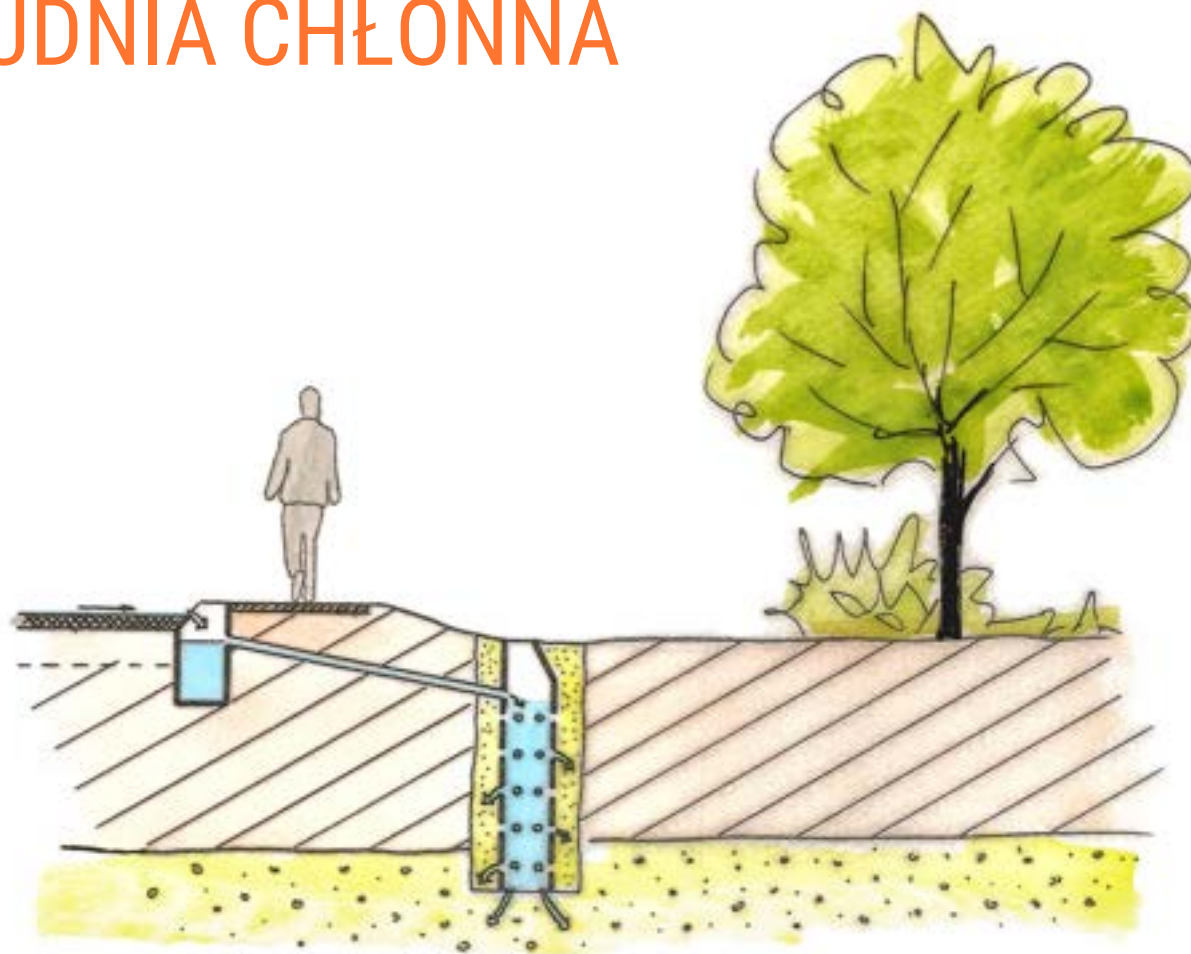
Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Korytka posiadają ochronną kratkę chroniącą je przed dostaniem się stałych zanieczyszczeń. Woda oczyszczana jest z substancji ropopochodnych i innych związanych z eksploatacją pojazdów w specjalnie dobranych substratach, którymi wypełnione jest korytko.



Korytko filtracyjne

R/17 – STUDNIA CHŁONNA



Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0 - 200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201 - 1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



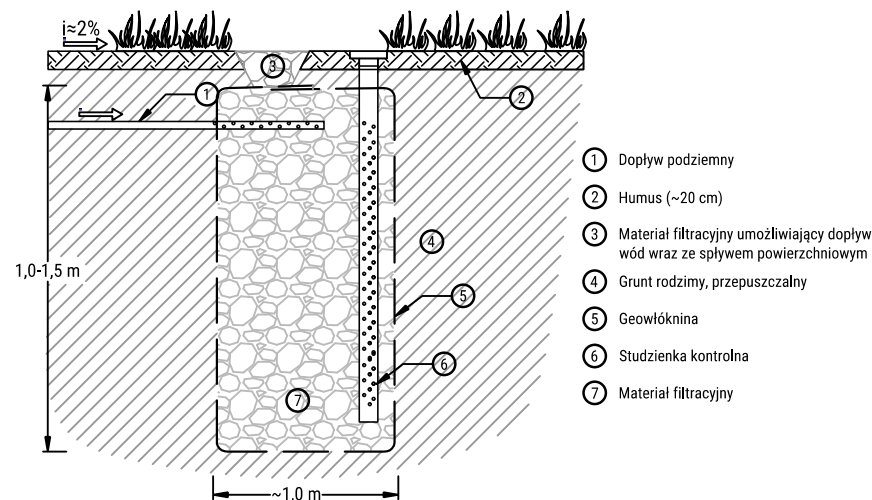
- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

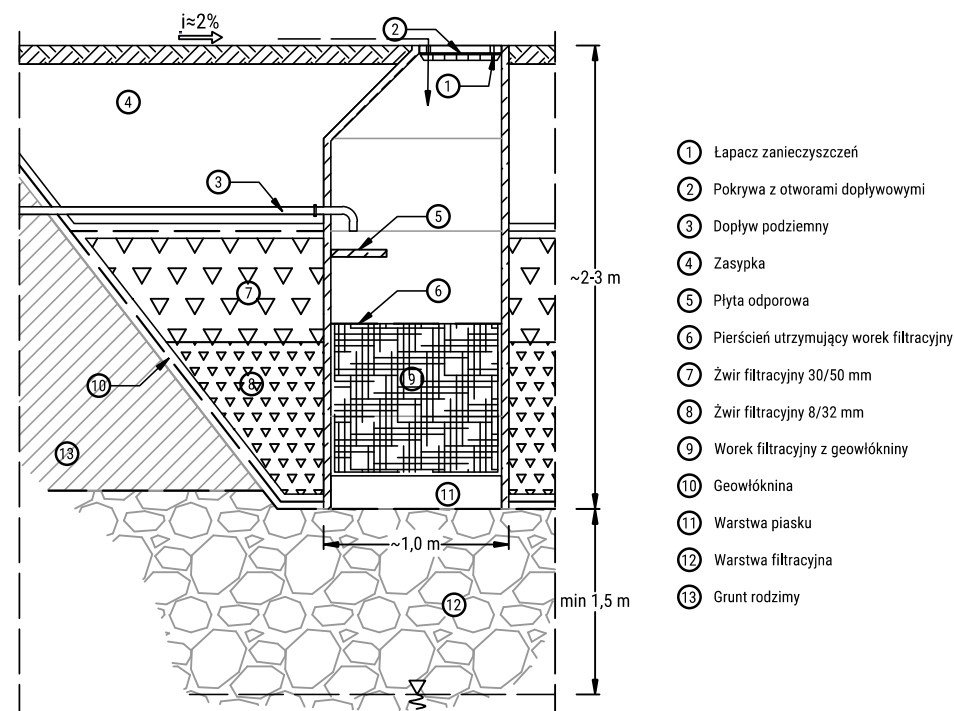
Studnia chłonna (pionowe złoże zbudowane np. z kręgów betonowych lub polietylenu, wypełnione całkowicie lub częściowo materiałem filtracyjnym o dużej porowatości) służy do punktowej infiltracji wód opadowych do gruntu. Woda infiltruje głównie przez dno studni, dla zwiększenia jej efektywności można zastosować perforacje na ścianach bocznych. Studnie chłonne mogą być są wykorzystywane do wprowadzania wód do naturalnych lub sztucznie utworzonych warstw gruntu przepuszczalnego, często stosowane są jako elementy układów (np. z komorami drenażowymi, nieckami i rowami chłonnymi). Można je budować z elementów prefabrykowanych (betonu lub tworzyw sztucznych), możliwe jest także konstruowanie prostych studni chłonnych z materiału filtracyjnego i geosyntetyków.

Opis działania

Do studni poprzez rurę wlotową lub przez otwory dopływowe na powierzchni terenu doprowadzana jest woda opadowa, następnie infiltruje ona do warstwy gruntu przepuszczalnego. Przeciętna głębokość studni to 2 m, dlatego ich konstrukcja jest możliwa przy zwierciadle wód gruntowych znajdującym się na dużej głębokości (1,5 m to minimalna odległość od dolnej krawędzi studni do wód gruntowych). Studnie chłonne stosuje się na płaskich terenach, gdy nie ma miejsca na zastosowanie innych rozwiązań, przy braku odbiorników wód opadowych lub gdy budowa sieci kanalizacyjnej nie jest możliwa/opłacalna. Perforacje ściany bocznej stosuje się na wysokości 1 m od dna studni. To zalecane rozwiązanie do zagospodarowania wód z dachów pokrytych materiałami ceramicznymi, betonowymi lub z tworzyw sztucznych albo innych powierzchni, z których odprowadzana jest woda z małą ilością zawieszin i zanieczyszczeń. Może być elementem układu, poprzedzonym urządzeniami o lepszej efektywności w zakresie oczyszczania wód. Dla zabezpieczenia przed kolmatacją studni chłonnych zaleca się stosowanie worków filtracyjnych z geowłókny. Worki stosuje się w przypadku studni, które nie są całkowicie wypełnione materiałem filtracyjnym. Worki łatwo się instaluje (elastyczne obręcze) i wyjmuje z instalacji. Podczas konserwacji wymienia je na nowe lub płucze strumieniem wody. Wpływa to w znaczący sposób na zatrzymywanie zawieszin i innych zanieczyszczeń stałych oraz chroni przed kolmatacją złoża filtracyjnego. Studnie chłonne mogą być stosowane przy dobrej i bardzo dobrej przepuszczalności podłoża (znacznie przekraczającej $k_f > 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) przy głębokim zaleganiu zwierciadła wód gruntowych. Nie należy dopuszczać do obciążenia hydraulicznego przekraczającego pojemność i możliwości infiltracyjne.



Schemat prostej studni chłonnej



Przekrój studni chłonnej z elementów prefabrykowanych

Możliwe miejsca aplikacji

Małe zlewnie miejskie, takie jak niewielkie place i parkingi, tereny utwardzone, dachy, fragmenty dróg i ulic. Ze względu na niewielkie zapotrzebowanie powierzchni nadają się do ścisłej zabudowy miejskiej. Mogą być stosowane jako elementy układów (np. z komorami drenażowymi, nieckami i rowami chłonnymi). W przypadku konieczności zagospodarowania większej ilości wody tworzy się zespoły połączonych studni.

Przykładowe korzyści

Studnie chłonne nie wymagają dużej powierzchni, całość konstrukcji mieści się pod powierzchnią gruntu, na powierzchni znajduje się pokrywa. Mogą być stosowane tam, gdzie brak miejsca wyklucza inne rozwiązania. Rozwiązanie nie utrudnia ruchu pieszych i rowerzystów, może być stosowane na utwardzonych powierzchniach. Studnie chłonne są rozwiązaniem punktowym o niewielkiej zdolności retencyjnej. Obciążenie studni chłonnej o standardowych wymiarach (średnica 1 m, głębokość ~2 m) nie powinno przekraczać 1 m³ na dobę.

Kryteria warunkujące zastosowanie

Wody deszczowe z terenów lub obiektów, na których istnieją potencjalne źródła zanieczyszczeń, powinny być podczyszczane przed dostaniem się do studni chłonnej. Najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest osadnik. Wodę ze spływu powierzchniowego należy kierować przez łapacz zanieczyszczeń pod pokrywą studni, wody z dachów i placów przez filtr zatrzymujący większe zanieczyszczenia. Przy lokalizacji studni chłonnych należy zwrócić uwagę na odległości od budynków, granic działki, studni wodociągowych i innych studni chłonnych, także odległość dna studni od zwierciadła wody gruntowej musi być zgodna z obowiązującymi przepisami.

Warunki eksploatacji

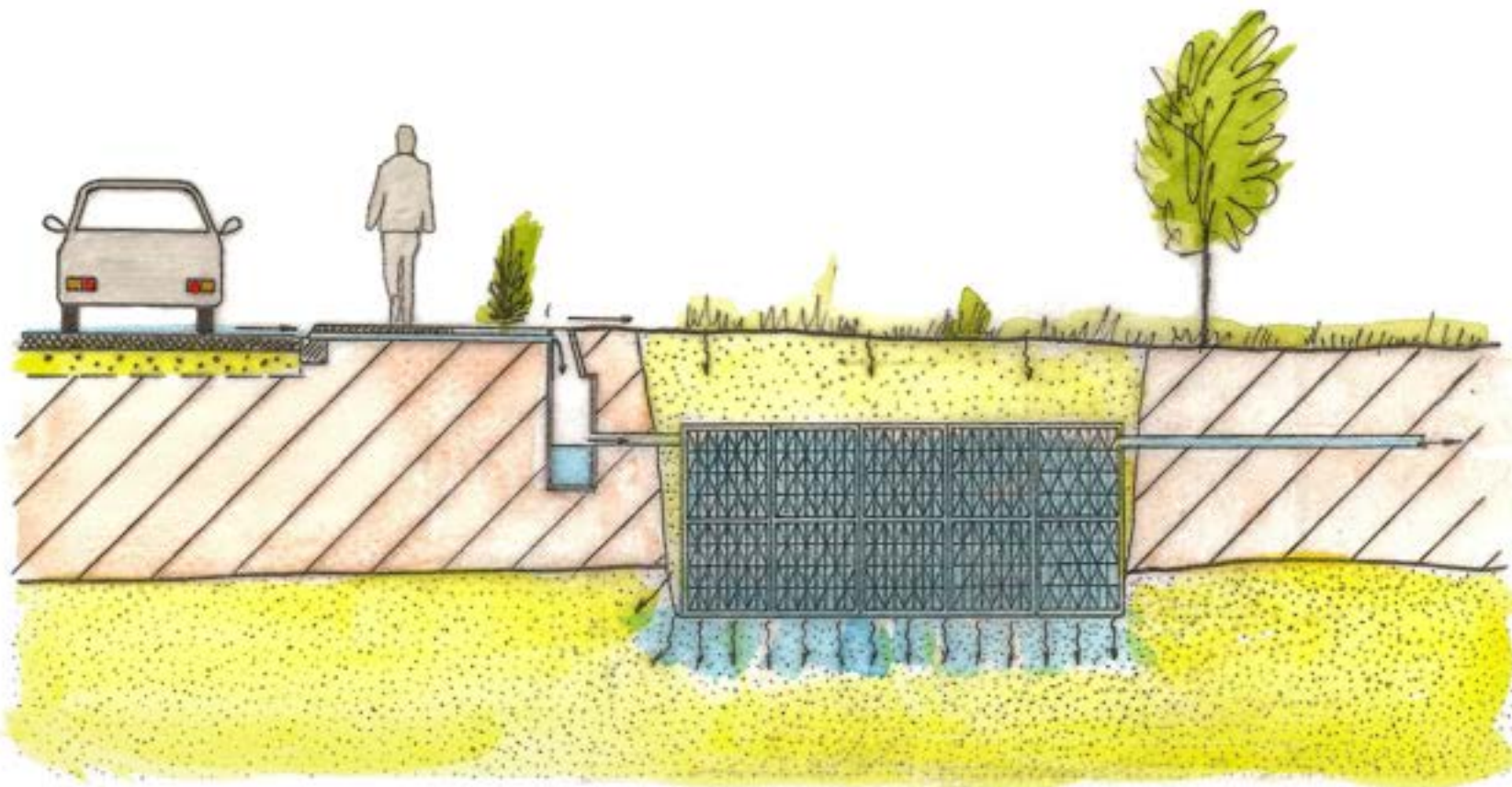
Inspekcja i oczyszczanie 2–4 razy do roku oraz po opadach o dużym natężeniu (szczególnie należy zwracać uwagę na zagrożenie kolmatacją). Kontrola przepustowości po opadach – woda nie powinna zalegać dłużej niż 72 h. Raz na ok. 10 lat studnia wymaga gruntownego czyszczenia i wymiany złoża. W przypadku zastosowania worków filtracyjnych co 1–2 lata konieczność wymiany/oczyszczania worka.

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Ograniczenia stosowania studni chłonnych związane są z niewielkimi zdolnościami do oczyszczania. Na obszarach, na których istnieją potencjalne źródła zanieczyszczeń, należy stosować to rozwiązanie wraz

z poprzedzającymi urządzeniami do podczyszczania. Ze względu na ewentualne zagrożenie dla jakości wód podziemnych nie należy stosować studni chłonnych na terenach wrażliwych przy ujęciach wód. Przy projektowaniu powinno się uwzględnić głębokość przemarzania.

R/18 – SKRZYNKI RETENCYJNO-ROZSĄCZAJĄCE

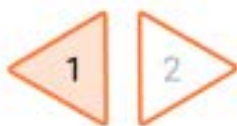


Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0 - 200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201 - 1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Skrzynki retencyjno-rozsączające to urządzenia służące do podziemnej retencji i infiltracji wód opadowych. Są to gotowe, dostępne w sprzedaży prostopadłościennne struktury o ażurowych ścianach wykonanych z tworzyw sztucznych (polipropylen i polietylen). Na ich konstrukcję nakładana jest warstwa geowłókniny pełniącej funkcję izolacyjną i zabezpieczającą przed przedostawianiem się do skrzyni cząstek z otaczającego gruntu.

Opis działania

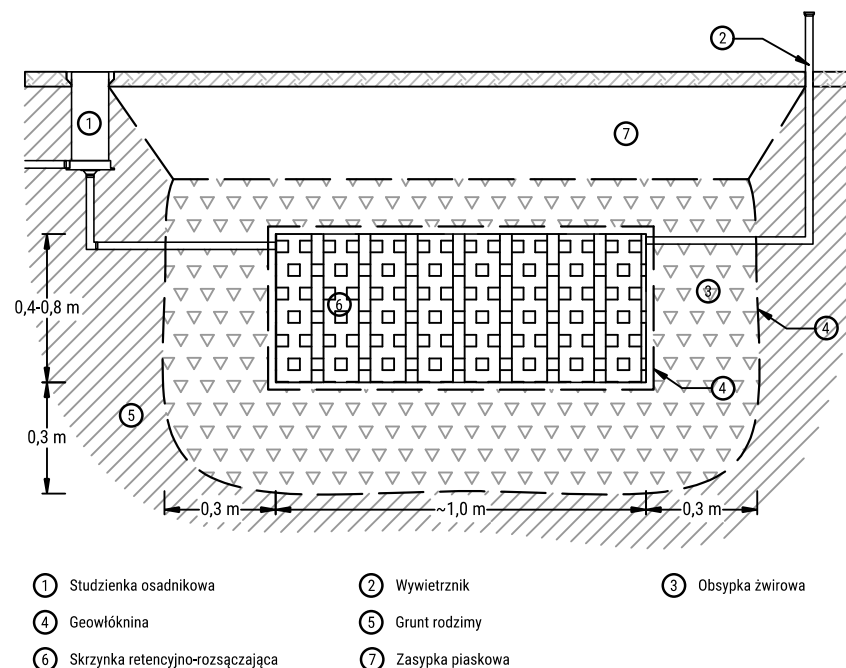
Skrzynki mogą działać jako systemy retencyjno-rozsączające lub retencyjne (po uszczelnieniu skrzynek na ich obwodzie folią nieprzepuszczalną). Spływy deszczowe lub roztopowe z układu podczyszczającego dostają się do skrzynek, aby tam, po wcześniejszym retencionowaniu spływu, wody mogły dostać się w głąb gruntu poprzez ażurowe dno i boki (przy układach retencyjno-rozsączających). W przypadku skrzynek wykonanych jako retencyjne (bez infiltracji) nadmiar wody zgromadzonej wcześniej w skrzynce jest odprowadzany w formie przelewu do innego odbiornika, np. systemu kanalizacyjnego lub rowu odwadniającego. Skrzynki można łączyć (za pomocą rurek i klipsów) szeregowo, równolegle bądź w układy warstwowe, uzyskując potrzebne objętości.

Możliwe miejsca aplikacji

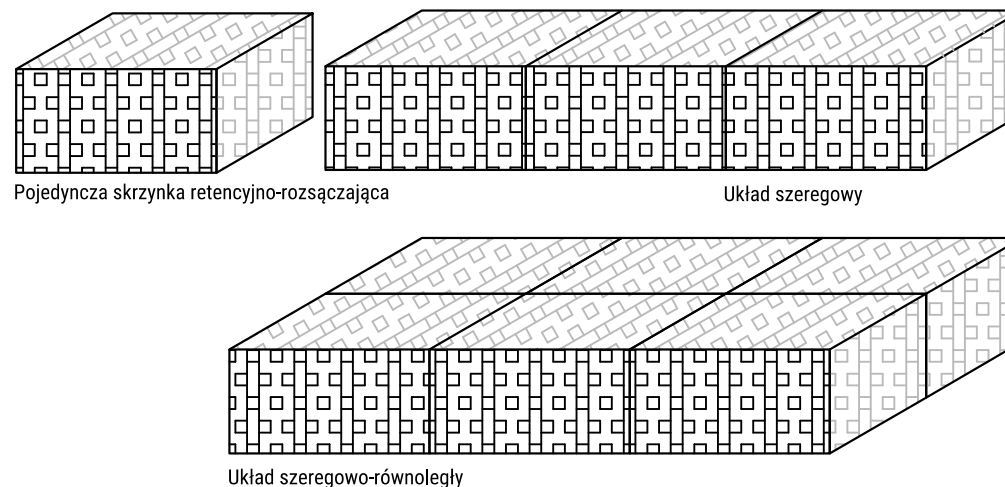
Skrzynki retencyjno-rozsączające znajdują zastosowanie w odwadnianiu placów, parkingów oraz dróg wewnętrznych przy obiektach użyteczności publicznej, przemysłowej oraz w budownictwie indywidualnym.

Przykładowe korzyści

Ściany skrzynek posiadają wiele otworów wypływowych, co sprawia, że woda ma dużą łatwość przesiąkania do gruntu. Kolejną zaletą jest prostota i szybkość montażu oraz swoboda budowy z dużą oszczędnością miejsca (teren na powierzchni gruntu może być wykorzystany podwójnie – jako zbiornik retencyjny oraz np. parking dla samochodów). Również koszty transportu są niskie (większość skrzynek jest składana na miejscu budowy, a transport ogranicza się do przewozu pojedynczych palet, które zajmują znacznie mniej miejsca niż gotowe moduły skrzynek). Łatwy i szybki montaż pozwala na obniżenie kosztów budowy zbiorników w porównaniu z tradycyjnymi rozwiązaniami, np. betonowymi studniami chłonnymi. W obecnie dostępnych rozwiązaniach konstrukcyjnych skrzynek istnieje możliwość dokonywania okresowej inspekcji i czyszczenia instalacji.



Przykład połączenia elementów składowych układu ze skrzynkami retencyjno-rozsączającymi

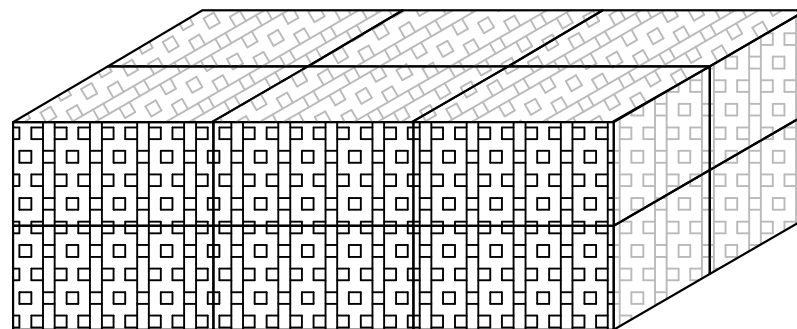


Możliwości ułożenia skrzynek retencyjno-rozsączających w terenie

Inną zaletą skrzynek jest uniwersalność ich zastosowania w zależności od lokalnych potrzeb (np. rozsączanie, retencjonowanie wód, nawadnianie drzew wzdłuż dróg). Materiały, z których wykonane są te konstrukcje, zapewniają neutralność urządzenia względem wód gruntowych, stosunkowo wysoką wytrzymałość mechaniczną, niewielki ciężar oraz możliwość recyklingu zużytych części.

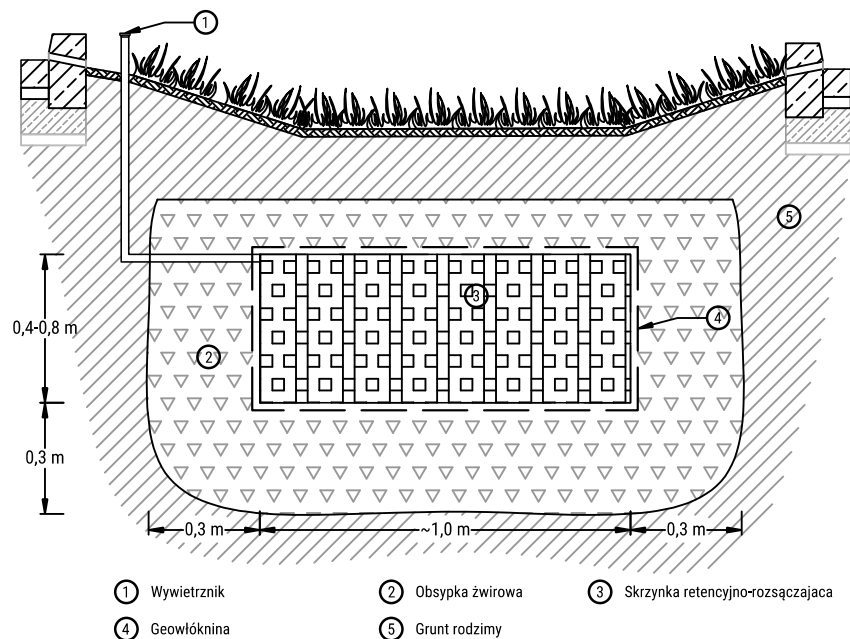
Kryteria warunkujące zastosowanie

Skrzynki umieszcza się w wykopie, w którym wykonana została warstwa o wysokim współczynniku filtracji (tłuczeń, żwir, grys) zapewniająca czystość urządzenia, stabilność podłoża i odpływ wody deszczowej. Skrzynki są owijane warstwą izolacyjną (geowłókniną) zabezpieczającą wewnątrz przed dostaniem się do niego materiału gruntowego. Następnie nanosi się warstwowo tłuczeń (żwir, grys) i zagęszcza strefy boczne i wierzchnie. Zalecane jest owijanie całego modułu geowłókniną na zakładkę co najmniej 15 cm, a w przypadku obciążeń zmiennych (ruchomych) – owinięcie podwójną warstwą włókniny w celu uzyskania lepszego rozkładu obciążeń. Do obsypki należy użyć mieszanki żwiru o granulacji 2–5 cm (bez ostrych krawędzi, najlepiej żwiru płukanego) lub materiału żwirowego o ciągłym uziarnieniu (np. 4/16 lub 8/32). Na powierzchni terenu (nad skrzynkami) można zasiać trawę, ułożyć kratę ażurową lub inną nawierzchnię zgodnie z przeznaczeniem terenu. Przykrycie skrzynek według zaleceń producentów powinno wynosić 0,4 m (nieobciążone tereny zielone) lub 0,8–1,0 m (drogi, parkingi i inne tereny o dużym obciążeniu). Podczas montażu należy wykonać wykop o głębokości większej o min. 40 cm od wielkości modułu skrzynek rozsączających. Podłoże powinno być gładkie i wypoziomowane, bez wystających punktów i ostrych progów, ponieważ profesjonalne wykonanie podłoża jest warunkiem długotrwałej funkcjonalności tego typu urządzenia. Na dnie wykopu (po ułożeniu warstwy podbudowy z tłucznia, gysu, piasku itp.) rozkłada się geowłókninę, a następnie układa na niej skrzynki rozsączające. Przy projektowaniu systemów skrzynkowych należy ocenić warunki gruntowo-wodne oraz wyznaczyć współczynnik filtracji gruntu k_f . Przepuszczalność gruntu powinna być jak największa, dlatego najodpowiedniejszym rodzajem gruntu są piaski i żwiry. Minimalna odległość dna skrzynki od poziomu zwierciadła wody gruntowej nie powinna być mniejsza niż 1 m (jeśli umożliwiają to uwarunkowania terenowe, zaleca się 1,5 m).



Układ szeregowo-równoległy warstwowy

Możliwości ułożenia skrzynek retencyjno-rozsączających w terenie



Przykład wykorzystania skrzynek retencyjno-rozsączających w muldzie chłonnej

Zgromadzona dodatkowa ilość wód w układzie nie powinna negatywnie wpływać na nośność podłoża gruntowego, stwarzając tym samym zagrożenie dla sąsiadujących budynków. By temu zapobiec, producenci skrzynek retencyjno-rozsączających zalecają, aby minimalne odległości urządzeń wynosiły 2 m od budynków z izolacją oraz 5 m od budynków bez izolacji. Pozostałe minimalne odległości, które należy zachować od układu skrzynek, wynoszą:

- 3 m do drzew,
- 2 m do granicy działki, drogi publicznej lub chodnika przy ulicy,
- 1,5 m do rurociągów gazowych i wodociągowych,
- 0,8 m do kabli elektrycznych,
- 0,5 m do kabli telekomunikacyjnych.

Warunki eksploatacji

Układ skrzynek retencyjno-rozsączających powinien być poprzedzony systemem podczyszczającym. Przed dopływem do skrzynek rozsączających należy zastosować studzienkę osadnikową z filtrem (w razie potrzeby osadnik, względnie także separator), a moduł skrzynek rozsączających należy odpowietrzyć po przeciwnej stronie dopływu wód deszczowych za pomocą rury wywiewnej (najczęściej $\Phi 160$).

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Obecnie coraz większa liczba firm zajmujących się produkcją, jak i sprzedażą skrzynek deklaruje posiadanie w asortymencie rozwiązań konstrukcyjnych tzw. skrzynek inspekcyjnych umożliwiających wprowadzenie do instalacji sprzętu czyszczącego w celu usunięcia nagromadzonych osadów, które zostały przetransportowane wraz ze spływem. Kanały inspekcyjne w skrzynkach umożliwiają dokonanie inspekcji CCTV, co pozwala na analizę stanu technicznego zarówno w momencie odbioru instalacji, jak i w trakcie jej eksploatacji. Zalecane jest też wykonanie w układzie co najmniej jednej studni inspekcyjnej w celu dokonania okresowej (np. po większym opadzie) oceny funkcjonowania układu (szybkości rozsączania wody do gruntu).

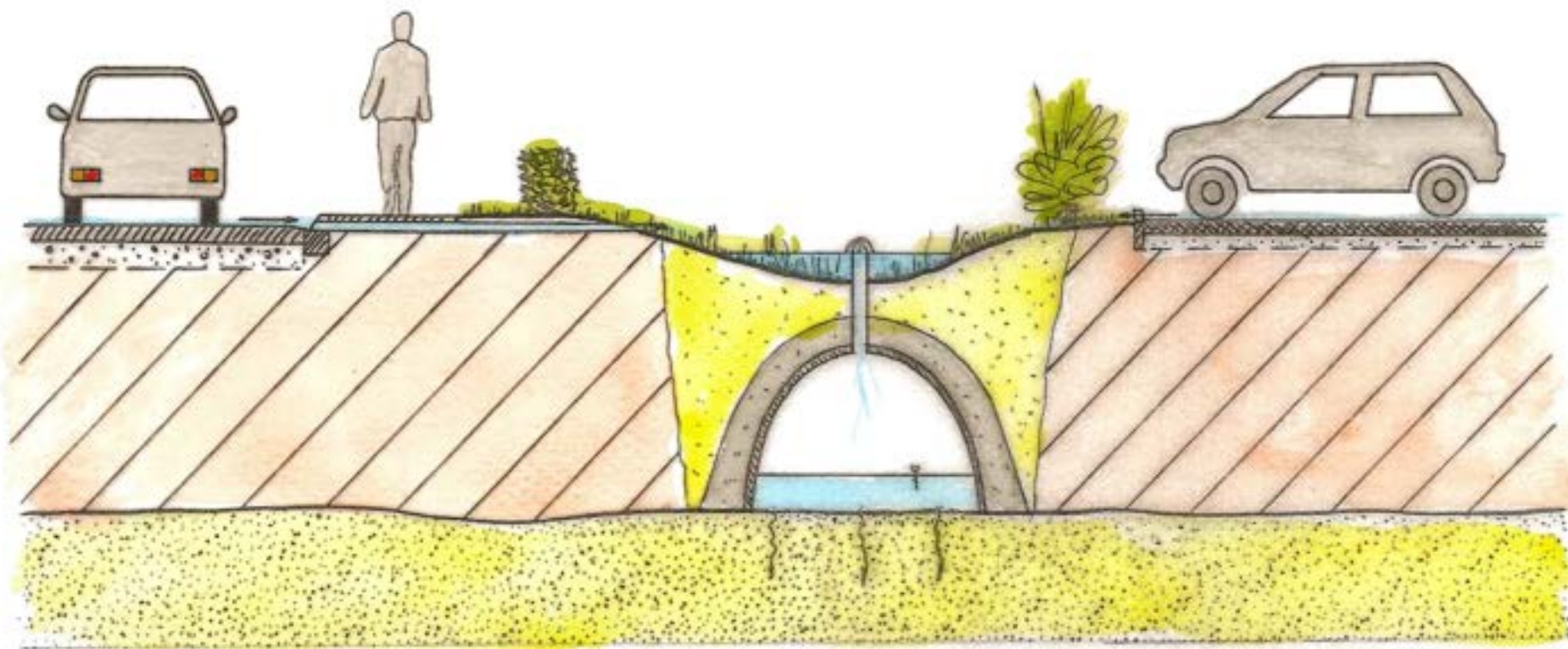


*Skrzynki w funkcji retencyjno-rozsączającej pod powierzchnią parkingu, Pęcz k. Strzelina
(fot. E. Burszta-Adamiak)*



*Zbiornik retencyjny ze skrzynek na osiedlu ZITA, Wrocław
(fot. E. Burszta-Adamiak)*

R/19 – KOMORA DRENAŻOWA



Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0-200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201-1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

Charakterystyka

Komory drenażowe są gotową (dostępną w sprzedaży), wytrzymałą konstrukcją wykonaną z polipropylenu lub polietylenu, o otwartym dnie i perforowanych ścianach. Ich przekrój poprzeczny przypomina odwróconą literę U. Jednostkowa pojemność komór jest większa niż w przypadku skrzynek retencyjno-rozsączających i w zależności od producenta waha się w granicach 0,13–4,91 m³. Jest to alternatywne rozwiązanie dla tradycyjnych zbiorników retencyjnych, studni chłonnych i rowów odwadniających.

Opis działania

Dopływająca do układu woda przesącza się z łóżyska poprzez dno oraz perforacje w ścianach bocznych. System komór drenażowych może pełnić funkcje:

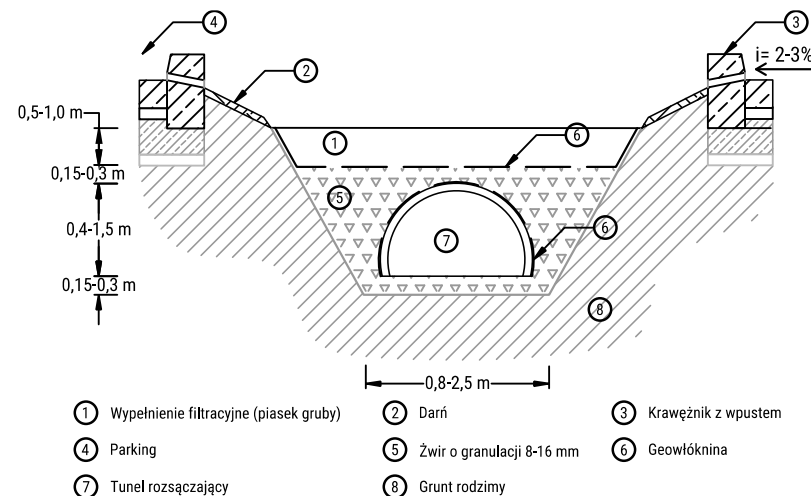
- 1) infiltracji wód opadowych do gruntu,
- 2) retencji wód deszczowych,
- 3) zatrzymania pierwszej fali spływu ze zlewni i oddania jej z opóźnieniem do systemu kanalizacyjnego,
- 4) kombinacji powyższych.

Możliwe miejsca aplikacji

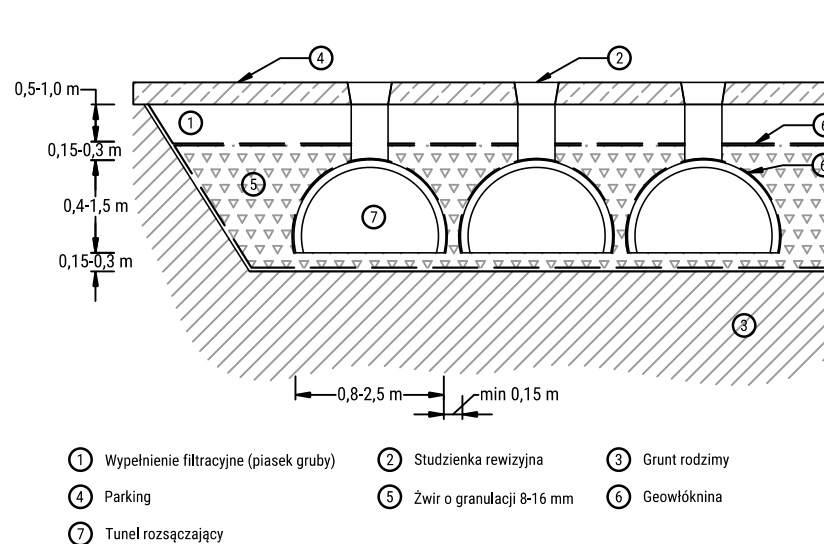
Komory drenażowe, inaczej zwane komorami filtracyjnymi, znajdują zastosowanie zwłaszcza w przypadku terenów o znacznym obciążeniu naziomu. Mogą być montowane pod chodnikami, ulicami i parkingami, a także na terenach zielonych obiektów handlowych, przemysłowych oraz mieszkalnych. Są odpowiednie do zastosowania wszędzie tam, gdzie włączenie dodatkowej objętości wód opadowych do sieci kanalizacyjnej jest utrudnione, zbyt kosztowne lub niemożliwe.

Przykładowe korzyści

Zaletą komór filtracyjnych jest możliwość przenoszenia wysokich obciążeń. Daje to możliwość montażu pod drogami i parkingami. Jednymi z największych zalet zastosowania tego rodzaju urządzenia są wielka dowolność w projektowaniu i łatwość przystosowywania komór do wykopów o różnych rozmiarach i konfiguracjach. Z tego powodu znajdują one zastosowanie w miejscach, gdzie istnieje ograniczenie dostępnej przestrzeni. Wykonywane są z formowanego wtryskowo tworzywa sztucznego o wysokiej gęstości, dużej wytrzymałości i odporności na działanie związków chemicznych mogących znajdować się w wodach opadowych. Konstrukcja komory (odwrócona litera U) z systemem ożebrowania charakteryzuje się dużą odpornością na zgniatanie i pozwala przenosić obciążenia pojazdu o nacisku nawet do 14,5 tony na oś samochodu.



Przekrój przez rów odwadniający z zastosowaniem komór drenażowych



Przekrój poprzeczny przez instalację składającą się z kilku komór drenażowych

Komory mają stosunkowo niewielką wysokość, co jest szczególnie istotne w przypadku terenów z wysokim poziomem wody gruntowej. Szczeliny w ścianach umożliwiają dodatkową infiltrację wody do otaczającego gruntu, a otwarte dno maksymalizuje sprawność infiltracji retencjonowanej wody. Charakteryzują się łatwym montażem sąsiednich komór za pomocą umieszczonych w ich górnej części zatrzasków oraz wkrętów.

Kryteria warunkujące zastosowanie

Na dokładnie wypoziomowanym dnie wykopu należy ułożyć ochronną warstwę żwiru (uziarnienie 8/16) o grubości 15–30 cm. Na tej warstwie układa się tunele rozsączające łączone ze sobą jeden za drugim. W celu ochrony tuneli rozsączających można ułożyć geowłókninę i w ten sposób oddzielić od materiału wypełniającego komory. Geowłóknina powinna zachodzić na siebie na stykach przynajmniej 30 cm. Na zakończenie wykop zasypuje się stopniowo równomiernymi warstwami gruntu rodzimego lub piasku. Wody deszczowe przed dostaniem się do układów powinny być podczyszczone za pomocą np. osadników, piaskowników lub separatorów. Komory należy instalować poniżej głębokości przemarzania gruntów, a odległość dna warstwy rozsączającej od maksymalnego poziomu wody gruntowej powinna wynosić co najmniej 1 m. Należy zachować minimalne odległości od uzbrojenia podziemnego i lokalnych ujęć wód zgodnie z prawem budowlanym, wodnym i przepisami ochrony środowiska.

Warunki eksploatacji

Aby zapewnić długotrwałe działania systemu, niezbędne są jego właściwa eksploatacja i konserwacja. Podstawowym zabiegiem konserwacyjnym jest usuwanie osadów z łóżyska. Częstotliwość oczyszczania zależy od stopnia podczyszczenia dopływającej wody. By sprawdzić, czy system wymaga czyszczenia, należy zainstalować punkty kontrolne (studzienki rewizyjne), które mogą służyć również do usuwania nagromadzonych osadów oraz do wentylacji systemu. Czynność czyszczenia może odbywać się ręcznie lub mechanicznie przy pomocy myjki ciśnieniowej. Zalecane jest sporządzenie harmonogramu konserwacji i eksploatacji.

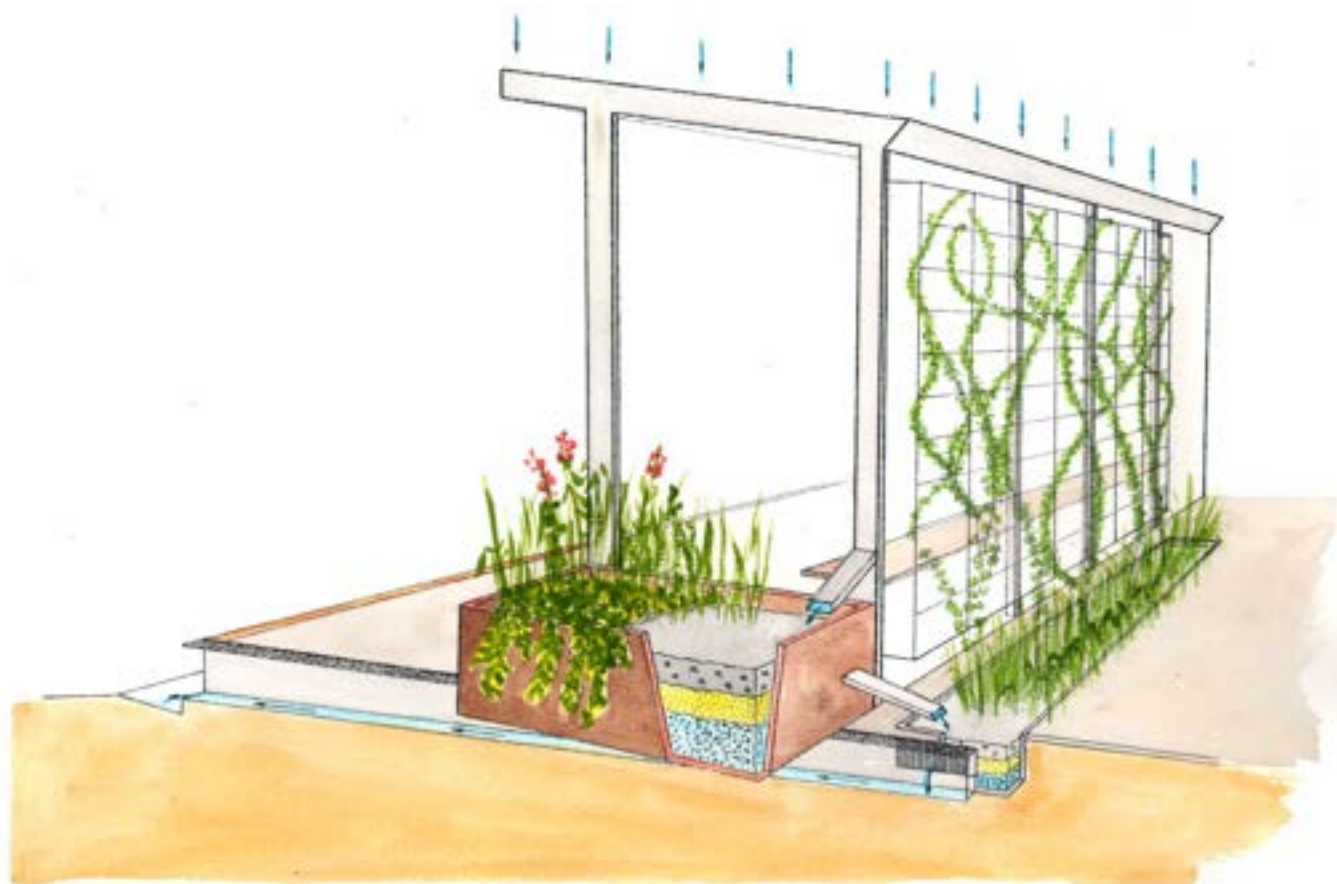
Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Obecnie na rynku dostępne są układy z możliwością przeprowadzania okresowej inspekcji w trakcie eksploatacji. W układach komór istnieje możliwość zainstalowania izolatora zawieszin (części inspekcyjnej), aby zabezpieczyć instalację przed kolmatacją. Separator zanieczyszczeń należy zaprojektować ze studzienką rewizyjną z regulatorem przepływu po stronie dopływu wody. Studzienka jest wielofunkcyjna – umożliwia dostęp do systemu w celu inspekcji, a także konserwacji.



*Komory drenażowe usytuowane w pasie drogowym, Warszawa
(fot. K. Gudelis - Taraszkiewicz)*

R/20 – ZIELONE PRZYSTANKI



Zdolność retencyjna



1 - [NISKA]	0 - 200	l-m ²
2 - [UMIARKOWANA]	201 - 1000	l-m ²
3 - [WYSOKA]	>1000	l-m ²

Koszty odtworzenia



- 1 - Niskie
- 2 - Wysokie

Uciążliwość eksploatacji



- 1 - [NISKA] podstawowe roboty i usuwanie stałych zanieczyszczeń
- 2 - [UMIARKOWANA] dodatkowo pielęgnacja roślinności
- 3 - [WYSOKA] dodatkowe inne prace
- S - Wymaga specjalistycznej obsługi

Oczyszczanie wody



- 1 - [NISKIE] tylko grunt
- 2 - Warstwy filtracyjne bez roślin
- 3 - Zadarnienie
- 4 - Rośliny niskie
- 5 - [WYSOKIE] rośliny wysokie lub niskie i wysokie

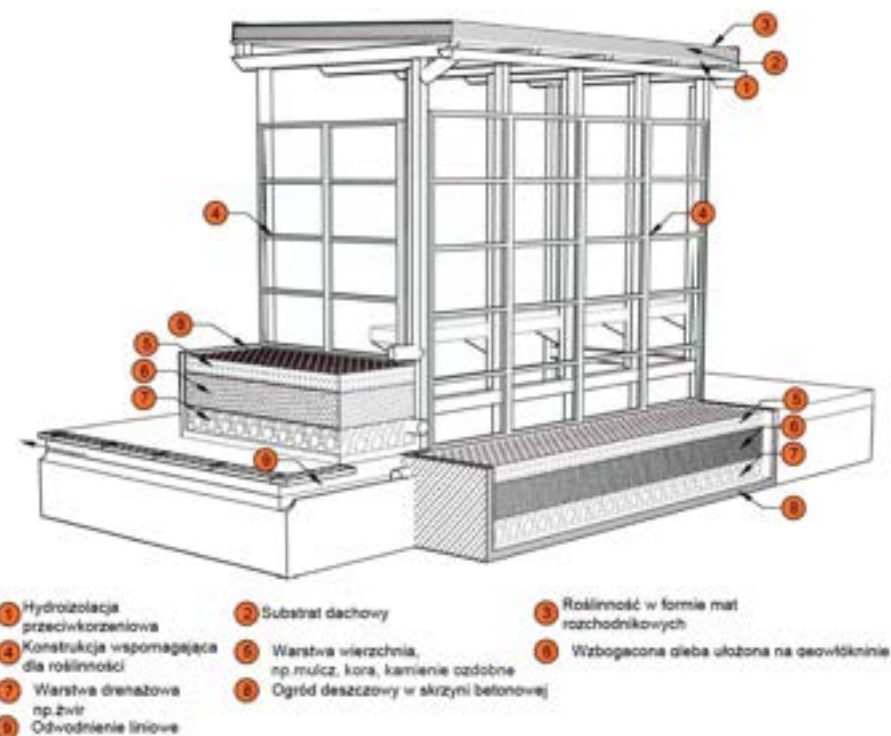
Charakterystyka

Wiaty zielonego przystanku wykonana jest z elementów stalowych lub aluminiowych. Typowe wiaty przystankowe zgodnie z Katalogiem mebli miejskich dla miasta Wrocławia wyposaża się w konstrukcję wspierającą oraz rozwiązania zielono-niebieskiej infrastruktury. W tylnej części wiaty zielonego przystanku znajdują się konstrukcje wspomagające (podpory) np. linowe umożliwiające rozwój roślinności pnącej lub kratownica. Rodzaj zastosowanej konstrukcji wspomagającej zależy od docelowej wielkości pnącza, jego wagi i sposobu wspinania się. Konstrukcje te muszą być zdystansowane od ściany wiaty przystankowej w celu umożliwienia pnączom owijanie się. Pnącza sadzone są na powierzchni terenu, wzdłuż tylnej ściany wiaty, w specjalnie wykonanym wykopie z układem warstw podłoża zapewniającym zarówno rozwój roślin jak i wysoką przepuszczalność dla infiltracji wód opadowych do gruntu. Z tych względów podczas wykonania wykopu, jego ściany należy wyścielić geowłókniną, na której kolejno układane są warstwy żwiru o granulacji 8/16 mm, piasku i gleby urodzajnej. Każda z warstw powinna być poprzedzielana geowłókniną. W warstwie żwiru może znajdować się drenaż, wspomagający odprowadzanie wód do głębszych warstw gruntu. Ostatnia (górna warstwa podłoża) nie powinna przewyższać poziomu/nivelety terenu. Ogród deszczowy w pojemniku, będący kolejnym elementem zielonego przystanku może być zlokalizowany przy bocznej ścianie wiaty przystankowej. Powinien on być wykonany zgodnie z zaleceniami opisanymi w karcie nr 1 w „Katalogu dobrych praktyk, cz. II – zasady zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na obszarze zabudowanym” (<https://www.wroclaw.pl/srodowisko/files/dokumenty/26836/katalog-dobrych-praktyk-zlap-deszcz.pdf>).

W bardziej rozbudowanej wersji zielonego przystanku, na dachu wiaty może być wykonany zielony dach ekstensywny porośnięty roślinami z rodziny gruboszowatych (np. rojnikami oraz rozchodnikami). Powinien on być wykonany zgodnie z zaleceniami opisanymi w karcie nr 4 podanego powyżej katalogu. Poszczególne elementy retencjonujące wody opadowe mogą być stosowane pojedynczo lub razem tworząc cały system.

Opis działania

Wody opadowe i roztopowe spływające z powierzchni dachu wiaty przystankowej są odprowadzane rynnami i dwoma rurami spustowymi (po jednej z każdej ze stron wiaty). Spływy z jednej rury spustowej odprowadzane są na powierzchnię podłoża, z którego wyrasta pnącze. Spływy z drugiej rury spustowej kierowane są do ogrodu deszczowego w pojemniku, przylegającego do bocznej ściany wiaty. Możliwy jest też wariant, w którym spływy trafiają do pojemnika z ogrodem deszczowym



Schemat zielonego przystanku



(fot. K. Lejcuś)
 Zielony przystanek, Kalisz

a nadmiar przekazywany jest na powierzchnię podłoża, z którego wyrasta pnącze. Nadmiar wód odprowadzany jest poprzez odwodnienie liniowe (wykonane np. np. z polimerowych lub betonowych kanałów odwodnieniowych z rusztem stalowym) na nawierzchnię przylegającego pasa drogowego, a stamtąd transportowany jest do podziemnej infrastruktury kanalizacyjnej, jeśli jest integralną częścią systemu odwodnienia dróg. W przypadku braku w pobliżu podziemnej infrastruktury odwodnieniowej nadmiar spływu jest odprowadzany do gruntu. W przypadku, gdy przystanek przylega bezpośrednio do terenów zielonych pnącza ściany tylnej można posadzić bezpośrednio w gruncie.

Możliwe miejsca aplikacji

Wiaty przystankowe wzdłuż dróg.

Przykładowe korzyści

Zielone przystanki umożliwiają przyjęcie wód spływających z dachu wiaty i częściowe ich retencjonowanie na miejscu opadu, czego konsekwencją jest zmniejszenie objętości spływów trafiających do kanalizacji i spowolnienie dopływu do infrastruktury technicznej. Kolejną korzyścią jest zapewnienie niższej temperatury otoczenia, poprawa mikroklimatu poprzez zacienienie i parowanie. Warunki te pozwalają oczekującym na środek transportu podróżnym przeczekać ten czas w bardziej komfortowych warunkach termicznych i wilgotnościowych. Pnącza na tylnej ścianie wiaty przystanku to także walory estetyczne. Wiele odmian to pnącza zimozielone, które pozwalają mieszkańcom pobyc w pobliżu zieleni nawet w ubogą w roślinność porę roku (zima). W okresie wiosenno-letnim aspekty estetyczne wzmacniane są poprzez porastającą roślinność w ogrodzie deszczowym w pojemniku. Dodatkowo roślinność znajdująca się w obrębie przystanku produkuje tlen oraz poprawia jakość powietrza.

Kryteria warunkujące zastosowanie

Wymagania świetlne pnączy są cechą gatunkową. Z tych względów dobór gatunków pnączy należy uzależnić od nasłonecznienia miejsca, w którym znajduje się przystanek. Przy nasadzeniach należy unikać pnączy silnie rosnących, aby wyeliminować częste ich podcinanie. Sadząc obok siebie kilka gatunków czy odmian roślin trzeba je tak dobrać, by miały podobną dynamikę wzrostu. Przykładowe gatunki roślin znajdują się w części IV (Rośliny do zrównoważonych systemów zagospodarowania wód opadowych) tego katalogu.

Warunki eksploatacji

Konstrukcja wymaga prowadzenia systematycznej pielęgnacji zgodnie z panującymi warunkami atmosferycznymi i aktualnymi potrzebami roślin. Pielęgnacja posadzonych roślin obejmuje kilka zabiegów pielęgnacyjnych, w tym nawożenie, nawadnianie, odchwaszczanie, cięcia pielęgnacyjne, ochrona roślin przed chorobami i szkodnikami; wymiana uschniętych i chorych roślin na nowe; uzupełnianie ubytków w podłożu oraz utrzymanie pożądanego efektu dekoracyjnego nasadzenia poprzez codzienne wybieranie śmieci (również w sezonie zimowym) i oczyszczanie ścianek donicy z ewentualnych zabrudzeń. Termin i częstotliwość prac pielęgnacyjnych przewidzianych do wykonania, które powinny zapewnić najlepszy prawidłowy wzrost i rozwój roślin, każdorazowo powinny być ustalone przez Wykonawcę w porozumieniu z Zamawiającym.

Oczyszczanie i ochrona przed zanieczyszczeniem

Istnieje możliwość podczyszczania wód poprzez filtrację przez warstwy podłoża o różnym uziarnieniu.



(fot. K. Lejcuś)
Zielony przystanek, Paryż

8. Bibliografia

Literatura wykorzystana przy opracowaniu „Katalogu dobrych praktyk zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi z nawierzchni pasów drogowych”:

1. Alfakih E., Barramund S., Martinelli I., *A study of stormwater infiltration system feasibility and design*, „Water Science and Technology” 1999, vol. 39, nr 2, s. 225–231.
2. Bocheńska T., Dowgiałło J., Kleczkowski A. S., Krajewski S., Macioszczyk A., Macioszczyk T., Małecka D., Rogoż M., Rózkowski A., Sadurski A., Szczepański A., Witczak S., *Słownik hydrogeologiczny*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2002.
3. Bogacz A., Woźniczka P., Burszta-Adamiak E., Kolasińska K., *Metody zwiększania retencji wodnej na terenach zurbanizowanych*, „Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska” 2013, vol. 22 (1), nr 59, s. 27–35.
4. Buksiński S., Walczak-Augustyniak M., Wroński J., *Atlas geologiczny Wrocławia*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1974.
5. Burszta-Adamiak E., *Alternatywne sposoby zagospodarowania wód opadowych w warunkach miejskich*, „Ekologia i Technika” 2008, vol. XVI, nr 6, s. 271–275.
6. Burszta-Adamiak E., *Eksploracja urządzeń do infiltracji wód opadowych*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 2008, nr 3, s. 24–28.
7. Burszta-Adamiak E., *Retencja wód opadowych na dachach zielonych w warunkach wrocławskich*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 2010, nr 3, s. 21–24.
8. Burszta-Adamiak E., *Zrównoważone gospodarowanie wodami opadowymi*, „Rynek Instalacyjny” 2010, nr 9, s. 56–58.
9. Burszta-Adamiak E., *Odprowadzanie wód opadowych systemami do podziemnej retencji i infiltracji*, „Rynek Instalacyjny” 2011, nr 5, s. 48–51.
10. Burszta-Adamiak E., *Wybrane zagadnienia związane z projektowaniem i eksploatacją systemów alternatywnych* [w:] Łomotowski J. (red.), *Wody opadowe a zjawiska ekstremalne*, Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2011, s. 147–155.
11. Burszta-Adamiak E., *Zagospodarowanie spływów opadowych za pomocą systemów bioretencji*, „Rynek Instalacyjny” 2011, nr 3, s. 91–93.
12. Burszta-Adamiak E., *Analysis of the retention capacity of green roofs*, „Journal of Water and Land Development” 2012, nr 16 (I–VI), s. 3–9.
13. Burszta-Adamiak E., *Wody opadowe w miastach*, „Rynek Instalacyjny” 2012, nr 5, s. 35–38.
14. Burszta-Adamiak E., *Zielone dachy jako element zrównoważonych systemów odwadniających na terenach zurbanizowanych. Monografie CLXXV*, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 2014.
15. Burszta-Adamiak E., Dąbrowska J., Wróblewska K., Śpitalniak M., Lejcuś K., *Możliwości zastosowania geosyntetyków w konstrukcjach dachów zielonych*, „Inżynieria Morska i Geotechnika” 2016, R. 27, nr 5, s. 295–301.
16. Burszta-Adamiak E., Kęszycka M., Ryglewska B., *Użytkowe i estetyczne walory oczyszczalni hydrofitowych*, „Architektura Krajobrazu” 2008, nr 2 (19), s. 56–60.
17. Burszta-Adamiak E., Kuśnierz M., Łomotowski J., *Retencja i oczyszczanie wód w systemach hydrofitowych* [w:] Łomotowski J. (red.), *Wody opadowe a zjawiska ekstremalne*, Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2011, s. 157–162.
18. Burszta-Adamiak E., Łomotowski J., Kuśnierz M., Smolińska B., *Oczyszczanie wód z zawiesin w systemach hydrofitowych*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 2011, nr 12, s. 483–485.
19. Burszta-Adamiak E., Łomotowski J., Wiercik P., *Zielone dachy jako rozwiązania poprawiające gospodarkę wodami opadowymi w miastach*, „Inżynieria Ekologiczna” 2014, vol. 39, s. 26–32.
20. Burszta-Adamiak E., Zygmunt-Rubaszek J., *Projektowanie systemów zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi*, „Rynek Instalacyjny” 2014, nr 10, s. 2–5.
21. Carson L. A., *Assessment and selection of stormwater best management practices for highway construction, retrofitting, and maintenance*, Final Report FWHA/IN/JTRP-2006/5.
22. City and County of Denver, *Ultra-Urban Green Infrastructure Guidelines*, 2016.
23. City of Los Angeles, *Complete Streets Design Guide*, 2014.
24. City of Portland, *Stormwater Management Manual*, 2016.
25. Dąbrowska J., Weber-Siwińska M., Lejcuś K., Garlikowski D., *Metody ochrony zieleni przyulicznej przed szkodliwym działaniem soli drogowej*, „Architektura Krajobrazu” 2014, nr 3, s. 44–55.
26. Dubicka M., Szymanowski M., *Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu – struktura przestrzenna i czasowa*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN 188, 2003, s. 145–165.

27. Dubicki A., Dubicka M., Szymanowski M., *Klimat Wrocławia* [w:] *Środowisko Wrocławia – Informator 2002*, Dolnośląska Fundacja Ekorozwoju, Wrocław 2002.
28. Edel R., *Odwodnienie dróg*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010.
29. Federal Highway Administration (FHWA), *Stormwater Best Management Practices in an Ultra Practices in an Ultra-urban Setting: Selection and Monitoring Urban Setting: Selection and Monitoring*, 2005, <http://www.fhwa.dot.gov/environment/ultraurb/index.htm>, dostęp: 12.12.2017.
30. Fortuniak K., *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2003.
31. Geiger W., Dreiseitl H., *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Poradnik*, Oficyna Wydawnicza PROJPRZEM EKO, Bydgoszcz 1999.
32. Goldszejn J., *Baza danych geologiczno-inżynierskich wraz z opracowaniem atlasu geologiczno-inżynierskiego aglomeracji wrocławskiej*, Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu PROXIMA S.A., Państwowy Instytut Geologiczny, Wrocław 2009.
33. Green infrastructure guidance. City of Grand Rapids, 2016.
34. Gudelis-Taraszkiewicz K., Czy wody deszczowe muszą stanowić problem? *Odwodnienia przyszłości*, „Magazyn Autostrady” 2008, nr 5, s. 128–130.
35. Gudelis-Taraszkiewicz K., Suligowski Z., *Vademecum dla przedsiębiorców, Innowacyjne rozwiązania technologiczne. Doświadczenia Partnerstwa „Budujmy Razem”. C. Alternatywne zagospodarowanie wód opadowych*, Olsztyn 2008.
36. GUS, <http://stat.gov.pl/>, dostęp: 6.11.2017.
37. IMGW PIB, <http://www.pogodynka.pl/polska/daneklimatyczne/>, dostęp: 5.11.2017.
38. Januchta-Szostak A., *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011.
39. Jeromłowicz P., *Zbiorniki odparowujące*, http://www.inzynieriasrodowiska.com.pl/images/pdf_encyklopedia/zbiorniki_odparowujace.pdf, dostęp: 23.10.2017.
40. Kownacki M., *Odwodnienia dróg, ulic i mostów*, „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2015, wrzesień–październik, s. 48–52.
41. Królikowska J., Królikowski A., *Wody opadowe. Odprowadzanie, zagospodarowanie, podczyszczanie i wykorzystanie*, Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2012.
42. Lejcuś K., Dąbrowska J., Garlikowski D., *Geokompozyty sorbujące wodę jako element wspomagający pokrycia biotechniczne. Wybrane zagadnienia inżynierii środowiska w budownictwie*, Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa. Oddział w Opolu, Opole 2014, s. 141–148.
43. Lejcuś K., Dąbrowska J., Garlikowski D., Kordas L., *Water loss from soil and water absorbing geocomposite*, „International Proceedings of Chemical Biological & Environmental Engineering”, Environmental Science and Technology VI; 84, 2015, s. 123–127.
44. Lejcuś K., Dąbrowska J., Garlikowski D., Śpitalniak M., *The application of water-absorbing geocomposites to support plant growth on slopes*, „Geosynthetics International” 2015, 22(6), s. 452–456.
45. Lewicki Z., *Środowisko Wrocławia. Informator 2014*. LEMITOR Ochrona Środowiska Sp. z o.o. we Wrocławiu, 2014.
46. Łyp B., *Infrastruktura wodno-ściekowa w planowaniu miast*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, 2008.
47. Mądrala M., *Budowa geologiczna i wody podziemne okolic Wrocławia* [w:] *Środowisko Wrocławia – Informator 2002*, Dolnośląska Fundacja Ekorozwoju, 2002.
48. Migoń P. (red.), *Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku i ich skutki*, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław 2010.
49. MPWiK, <http://www.mpwik.wroc.pl/o-nas/kanalizacja/>, dostęp: 7.11.2017.
50. National Association of City Transportation Officials, *Urban Street Design Guide*. New York, 2013.
51. New York State, *New York State Stormwater Management Design Manual*, Center for Watershed Protection & Department of Environmental Conservation, 2015.
52. *Odwodnienie dróg i ulic – zagadnienia techniczne*, 2016, www.kataloginzyniera.pl, dostęp: 27.10.2017.
53. *Odwodnienie dróg i ulic a ekologia – prawo, projektowanie, wykonawstwo*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej Oddział w Krakowie, seria „Materiały Konferencyjne” nr 85, zeszyt 141, Kraków 2008.

54. *Ogrody deszczowe – broszury instruktażowe*, Fundacja Sendzimira, <http://www.sendzimir.org.pl/publikacje/ogrody-deszczowe>, dostęp: 23.10.2017.
55. Orzeszyna H., Lejcuś K., Garlikowski D., Pawłowski A., *Konstrukcje i lokalizacje budowli ograniczających wynoszenie rumowiska z małych zlewni*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich / Infrastructure and Ecology of Rural Areas” 2008, nr 7, s. 213–221.
56. Orzeszyna H., Lejcuś K., Garlikowski D., Pawłowski A., *Wykorzystanie superabsorbentów w zabezpieczeniach przeciwoerozyjnych*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich / Infrastructure and Ecology of Rural Areas” 2008, nr 9, s. 189–198.
57. Philadelphia Water, *Philadelphia Stormwater Management Guidance Manual*, version 3.0, 2015.
58. PLW, <http://airport.wroclaw.pl/>, dostęp: 6.11.2017.
59. Sybilski D. (red.), *Ekologiczne zagadnienia odwodnienia pasa drogowego*, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa 2009.
60. *Rain Garden Installation Training Guide*, Santos Memorial Park Piti, Guam 2012.
61. Sawicka-Siarkiewicz H., *Ograniczenie zanieczyszczeń w spływach powierzchniowych z dróg. Ocena technologii i zasady wyboru*, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2003.
62. Sayre J. M., Devanny J. S., Wilson J. P., *The green vision plan for 21st century southern California. Best management practices (BMPs) for the treatment of stormwater runoff*, 2006.
63. Słyś D., *Retencja i infiltracja wód deszczowych*, Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.
64. Słyś D., *Zrównoważone systemy odwodnienia miast*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2013.
65. Wałęga A., Pawlik-Radecki A., Kaczor G., *Naturalne sposoby zagospodarowania wód opadowych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, 2013.
66. *Woda w mieście*, seria wydawnicza „Zrównoważony Rozwój – Zastosowania” nr 5, Fundacja Sendzimira, Kraków 2014.
67. Wojciechowska E., Gajewska M., Żurkowska N., Obarska-Pempkowiak H., *Zrównoważone systemy gospodarowania wodą deszczową*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2015.