



TAKING
COOPERATION
FORWARD



Wersja 1, 10/2019 r.



**D.T1.3.1 Techniczny podręcznik szkoleniowy dla gmin:
Gospodarka wodna o obiegu zamkniętym w gminach**



fbr, Stowarzyszenie ds. zbierania wód opadowych i wykorzystania wody

MODUŁ 2:

GOSPODAROWANIE WODAMI OPADOWYMI

- ❖ Wstęp
- ❖ Scentralizowane odprowadzanie w ogólnospławnych i wydzielonych systemach kanalizacyjnych
- ❖ Zdecentralizowane gospodarowanie wodami opadowymi
- ❖ Środki zdecentralizowanej gospodarki wód opadowych
 - Zbieranie i wykorzystanie wody opadowej
 - Retencja wody opadowej
 - Infiltracja wody opadowej

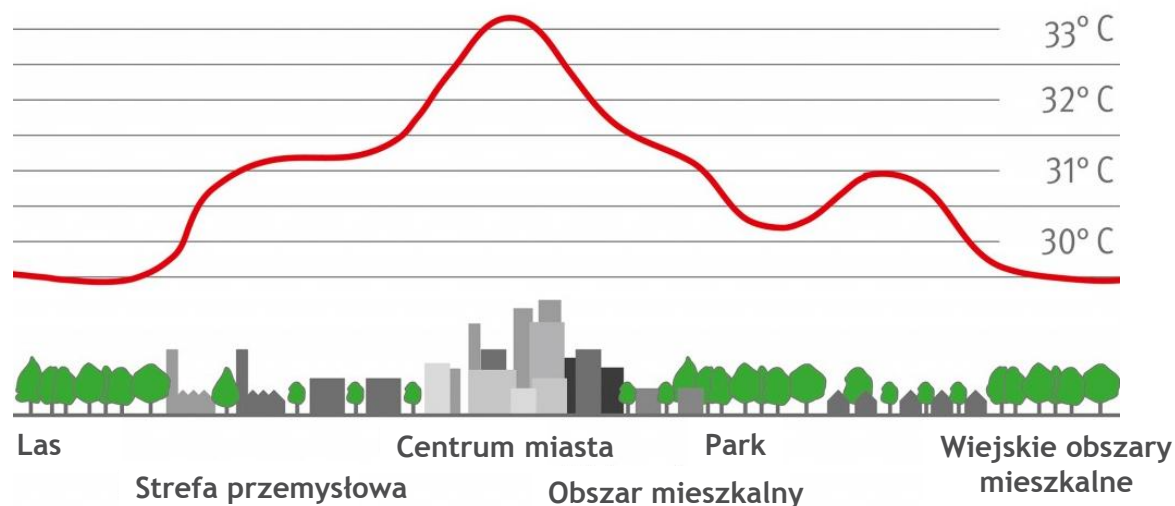


Konwencjonalne (ogólnospławne) systemy kanalizacyjne

- Przyczyniają się do nienaturalnego bilansu wodnego
- Zwiększone uszczelnienie powierzchni miejskich powoduje szybkie odprowadzanie wody deszczowej z dala od miasta, co intensyfikuje efekt wyspy ciepła
- Charakterystyka parowania wody deszczowej zostaje w tym procesie utracona
- Przeciążenie ogólnospławnej sieci kanalizacyjnej z powodu zwiększonej częstotliwości powodzi i silnych opadów na obszarach miejskich:
 - ➡ zwiększone zanieczyszczenie wód powierzchniowych
 - ➡ negatywny wpływ na florę i faunę
 - ➡ szkody infrastrukturalne i majątkowe
- Recykling wody, energii i pierwiastków jest utrudniony, gdy strumienie ścieków są łączone, nie rozdzielane u źródła
- Wysokie koszty kapitałowe
- Wysokie koszty eksploatacji i konserwacji



Efekty wyspy ciepła



Większa szczelność powierzchni, mniej zieleni i szybsze odprowadzanie wody deszczowej z dala od miasta zwiększa efekt wyspy ciepła

(Źródło: <https://klimawandelanpassung.at/index.php?id=26977>)



Wzrost częstotliwości występowania ekstremalnych zjawisk po

Scenariusz mokry



Scenariusz suchy



Wpływ zmian klimatycznych na konwencjonalny system kanalizacji

Ekstremalne opady deszczu i powodzie



Zalane ulice w Bonn w 2013 r. (Zdjęcie: Stephan Knopp GA/Bonn)



WSTĘP

Szkody spowodowane przez suszę!





(Źródło: Adaptacja z Londong i Nothnagel)



do kanalizacji ogólnospławnej (bez retencji):

- Przeciążenie kanałów ściekowych z powodu zwiększonej częstotliwości występowania silnych opadów deszczu
np. w Berlinie, ok. 40 przelewów rocznie
➡ negatywny wpływ na florę i faunę, śmiertelność ryb itp.
- Duża ilość zanieczyszczeń, zwłaszcza pochodzących z powierzchni komunikacyjnych, przedostaje się do zbiorników wodnych (np. mikroplastiki, metale ciężkie, ...)
- Tworzy nienaturalny bilans wodny:
redukuje lokalny proces parowania
zmniejsza lokalne zasilanie wód gruntowych
Info: naturalny bilans wodny w Berlinie obejmuje 80% parowania, 20% zasilania wód gruntowych i 0% spływu powierzchniowego.



Śmiertelność ryb spowodowana zrzutami przelewowymi do zbiorników wodnych



Przelew ścieków deszczowych, Schäfersee, Berlin



Przelew kanalizacji ogólnospławnej,
Landwehrkanal, Berlin
(Źródło: Landwehrkanal Blog)



do kanalizacji ogólnospławnej bez oczyszczania (retencja):



Zbiorniki przelewowe wody mieszanej w Berlin-Wedding (Zdjęcie: BWB)



Ściana do aktywacji przestrzeni magazynowej w Berlinie-Wedding (Zdjęcie: BWB)



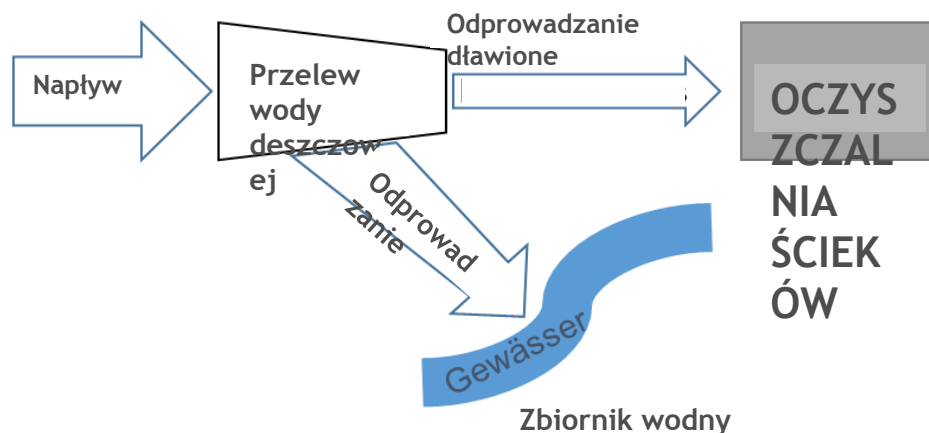
Do kanalizacji ogólnospławnej (retencja):

- Budowa drogich podziemnych zbiorników retencyjnych dla wód opadowych (berlińska kanalizacja retencyjna ok. 3.000 €/m³)
 - Zbiorniki retencyjne wody deszczowej zmniejszają częstotliwość przelewów, ale
 - Wymagają zwiększenia mocy oczyszczalni ścieków (kosztowne)
 - Nie przyczyniają się do poprawy lokalnego bilansu wodnego



do kanalizacji ogólnospławnej z retencją:

Zbiorniki przelewowe wody deszczowej i kanalizacja retencyjna nieznacznie zmniejszają odprowadzanie ścieków do zbiorników wodnych, ale w ogóle nie przyczyniają się do parowania w środowisku miejskim.



Kanalizacja retencyjna w Mauerpark



Bau des Stauraumkanals im Mauerpark, Copyright: Berliner Wasserbetriebe/ Stephan Natz

(Źródło: BWB)



do kanalizacji deszczowej (wody burzowej*) bez oczyszczania:

Ma tę wadę, że zanieczyszczenia przedostają się do zbiorników wód powierzchniowych.

- Duża ilość zanieczyszczeń, zwłaszcza z powierzchni komunikacyjnych, przedostaje się do zbiorników wodnych (np. mikroplastiki i metale ciężkie)
➡ negatywny wpływ na florę i faunę, śmiertelność ryb itp.
- Tworzy nienaturalne bilanse wodne:
 - redukuje lokalny proces parowania
 - zmniejsza lokalne zasilanie wód gruntowych

Info: naturalny bilans wodny w Berlinie obejmuje 80% parowania, 20% zasilania wód gruntowych i 0% spływu powierzchniowego.

*Woda deszczowa i burzowa są tu używane zamiennie



do kanalizacji **deszczowej** ze scentralizowanym podczyszczaniem:

Podziemne zbiorniki do magazynowania wody deszczowej z separatorami lamelowymi do redukcji zanieczyszczeń (oczyszczanie głównie poprzez sedimentację)



Zbiornik do oczyszczania wody deszczowej
Schlierseestrasse, Berlin-Köpenick (Zdjęcie: BWB)

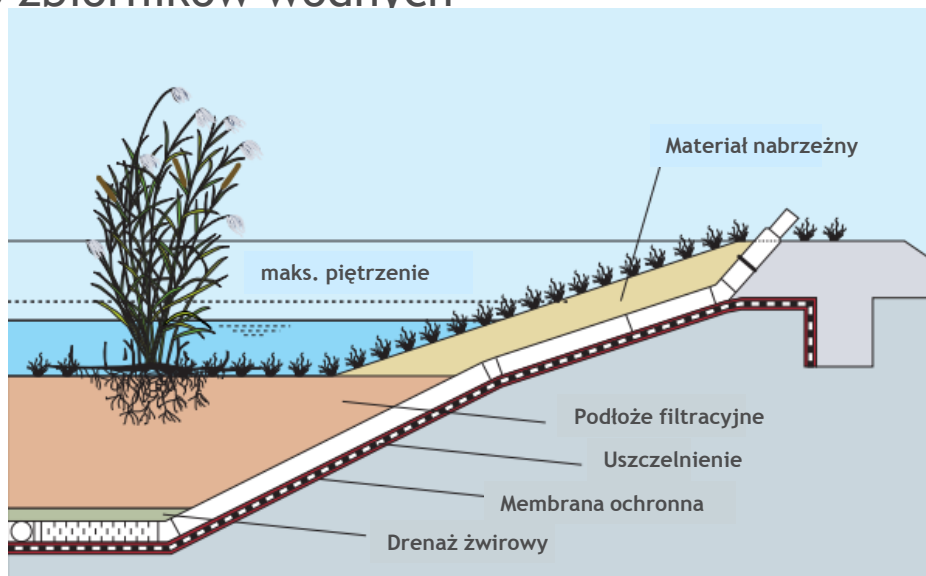
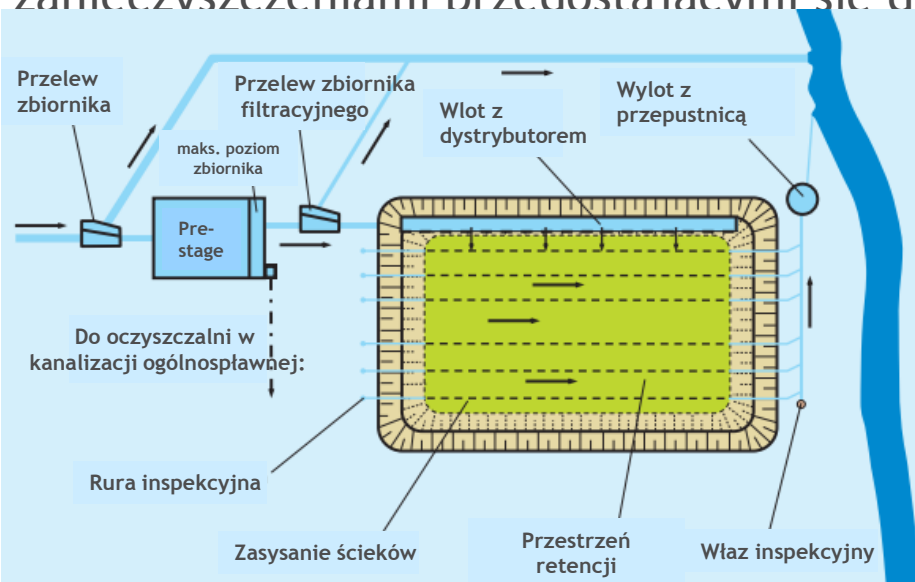


Separator lamelowy w Fennsee. (Zdjęcie: BWB)



do kanalizacji wody deszczowej lub ogólnospławnej
(oczyszczanie wtórne w retencyjnych filtrach glebowych):

Retencyjne filtry glebowe oczyszczają ścieki z kanalizacji ogólnospławnej lub burzowej i zmniejszają obciążenie hydrauliczne oraz obciążenie zanieczyszczeniami przedostającymi się do zbiorników wodnych

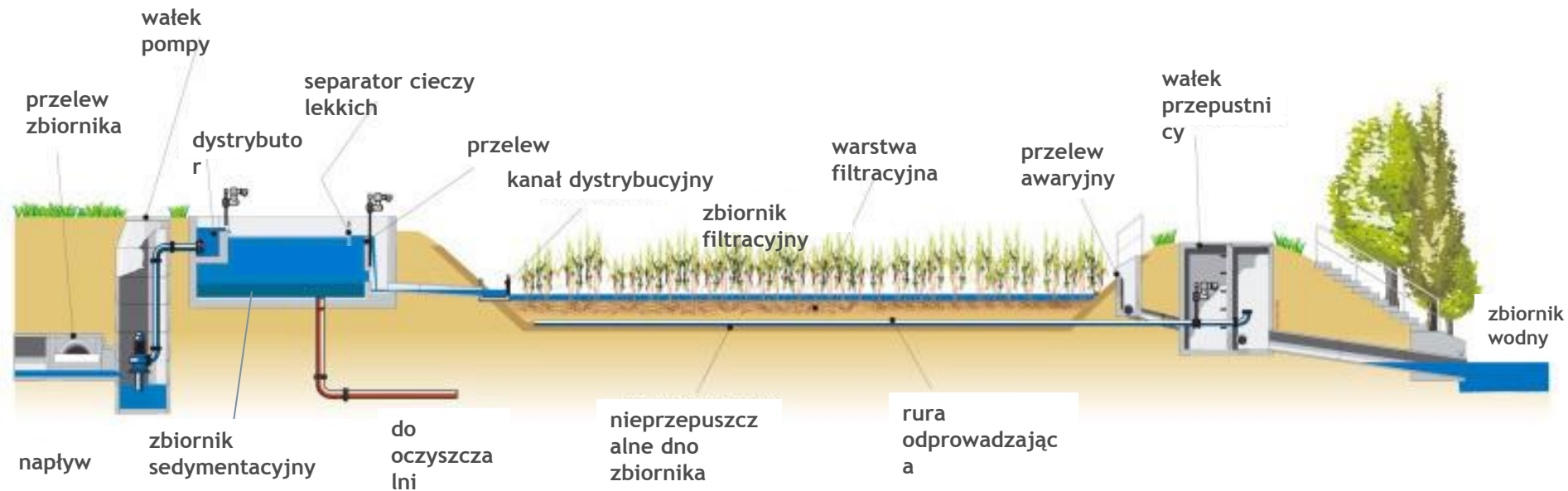


(Źródło: Retentionsbodenfilter : Handbuch für Planung, Bau und Betrieb, 2015.

https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/retentionbodenfilter_handbuch.pdf)



Schemat retencyjnego filtra glebowego



(Źródło: BWB)



Retencyjne filtry glebowe



Retencyjny filtr glebowy Halensee, Berlin. (Zdjęcie: Andreas Süß)



Retencyjny filtr glebowy Adlershof, Berlin. (Zdjęcie: Andreas Süß)



Retencyjne filtry glebowe



(Źródło: Retentionsbodenfiltr : Handbuch für Planung, Bau und Betrieb, 2015.



Zbiorniki retencyjne wody deszczowej



Zbiornik retencyjny wody deszczowej w Biznes Parku Berlin-Bohnsdorf
(Zdjęcie: BWB)



Zbiornik retencyjny wody deszczowej przy ul. Pillgramer,
Berlin-Mahlsdorf. (Zdjęcie: BWB)



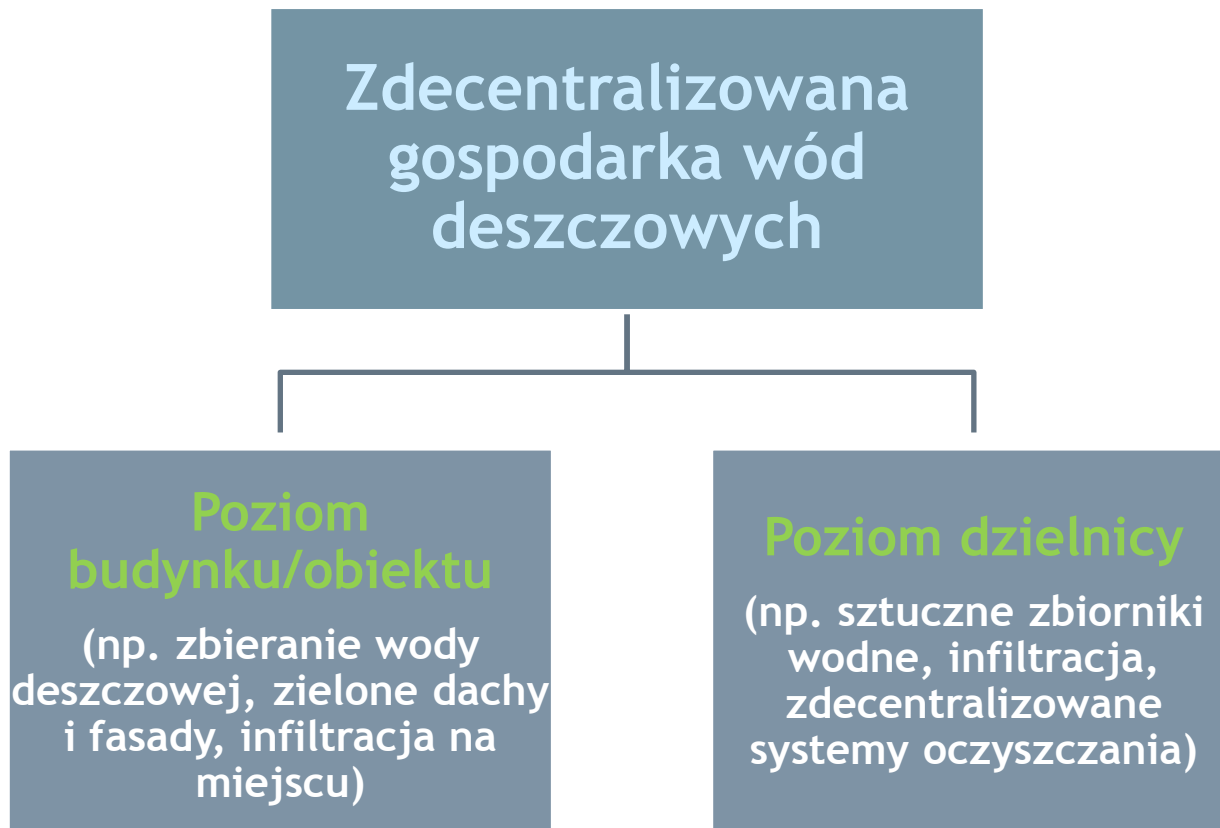
ODPROWADZANIE SCENTRALIZOWANE

ze zdecentralizowanym podczyszczaniem na miejscu (we wpustach kanalizacyjnych):



Różne systemy zdecentralizowanego podczyszczania wody deszczowej w Clayallee, Berlin (Zdjęcie: KWB, Sieker)





Priorytety w zakresie gospodarki wód deszczowych (wód burzowych)*

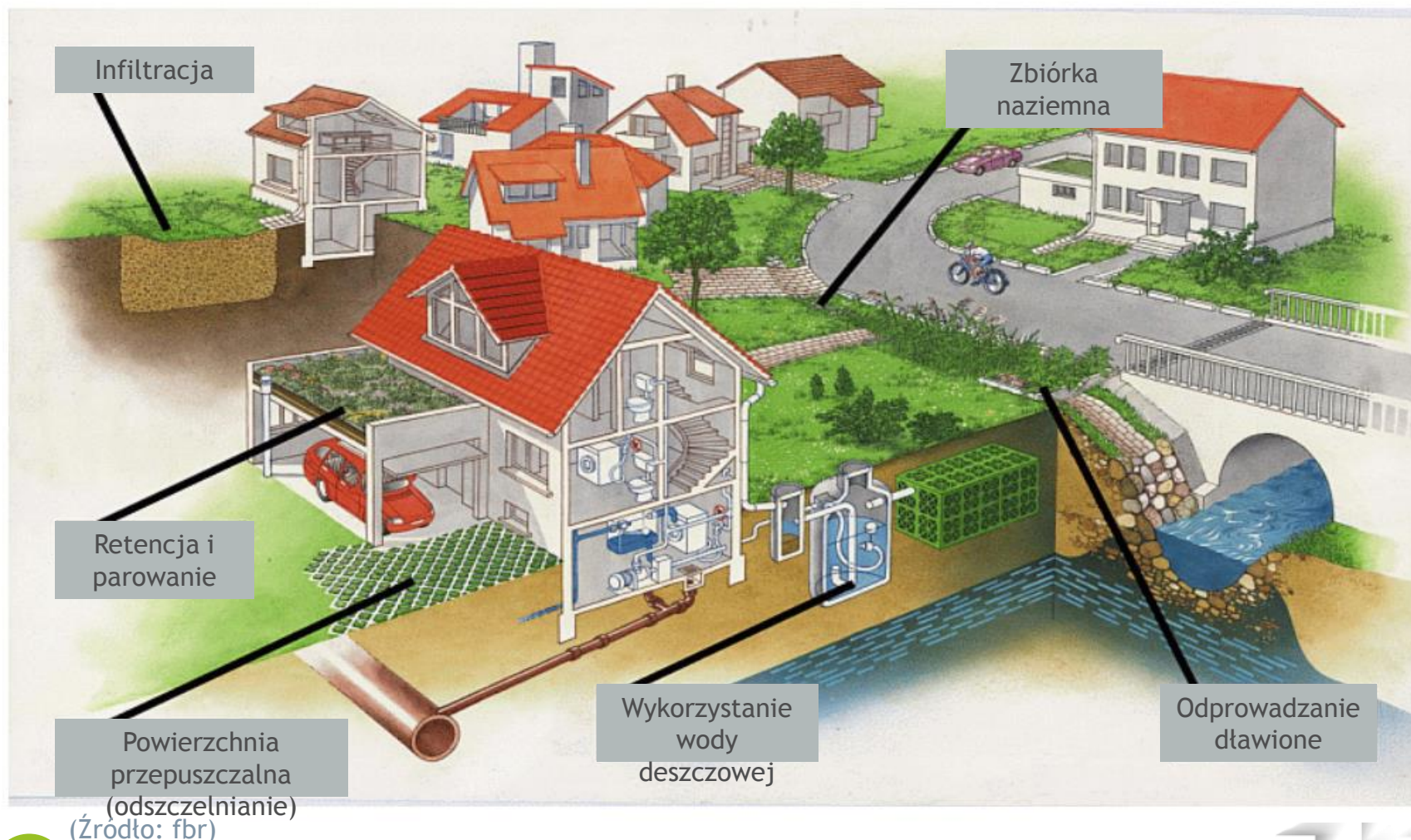
- 
1. Rozszczelnianie obszarów miejskich i unikanie nowych uszczelnień
 2. Zbieranie i wykorzystanie wody deszczowej na miejscu
 3. Retencja wody deszczowej
 4. Infiltracja wody deszczowej (zasilanie wód gruntowych)
 5. Odprowadzanie dławione do zbiornika wodnego lub do oczyszczalni ścieków

*Woda deszczowa i burzowa są tu używane zamiennie



ZDECENTRALIZOWANA GOSPODARKA WÓD OPADOWYCH

Zdecentralizowana gospodarka wód opadowych na obszarach miejskich



Środki zdecentralizowanej gospodarki wód opadowych

1. Zbieranie i wykorzystanie wody opadowej
2. Retencja wody opadowej (i parowanie): zielone dachy, zielone ściany, ogrody deszczowe, stawy i mokradła, chłodzenie adiabatyczne, ...
3. Infiltracja wody opadowej: powierzchnie przepuszczalne, zbiorniki infiltracyjne, rowy infiltracyjne, muldy chłonne, systemy muld i rowów infiltracyjnych dla gruntów nieprzepuszczalnych, ...

**Nie ma jednej najlepszej techniki dla danego miejsca,
w większości przypadków wymagane jest połączenie wielu technik.**



1. Zbieranie wody opadowej



Zastąpienie ponad 50 %
zapotrzebowania na wodę
pitną w gospodarstwach
domowych (120 L/os/d):

- 40 L do spłukiwania toalet
- 15 L do prania (mięka woda)
- 3 L do czyszczenia
- 4 L do nawadniania



(Źródło: fbr)

Przegląd

- Systemy zbierania wody deszczowej obejmują zarówno proste beczki deszczowe do nawadniania ogrodów, jak i bardziej zaawansowane konstrukcje składające się ze zbiorników, pomp i filtrów
- Proste oczyszczanie: sita i sedymentacja w zbiorniku
- Zaawansowane oczyszczanie: systemy obejmują również urządzenia do dezynfekcji membranowej i UV do uzdatniania wody opadowej w celu jej spożywania i zastosowania w innych celach w gospodarstwach domowych
- Jakość wody zależy głównie od miejsca, materiału dachu, zastosowanej technologii i konserwacji systemu
- Proste dachy są preferowanymi powierzchniami zlewniowymi dla przydomowego zbierania wody deszczowej
- Spływy gruntowe poddane prostemu uzdatnieniu również nadają się do zastosowań niespożywczych

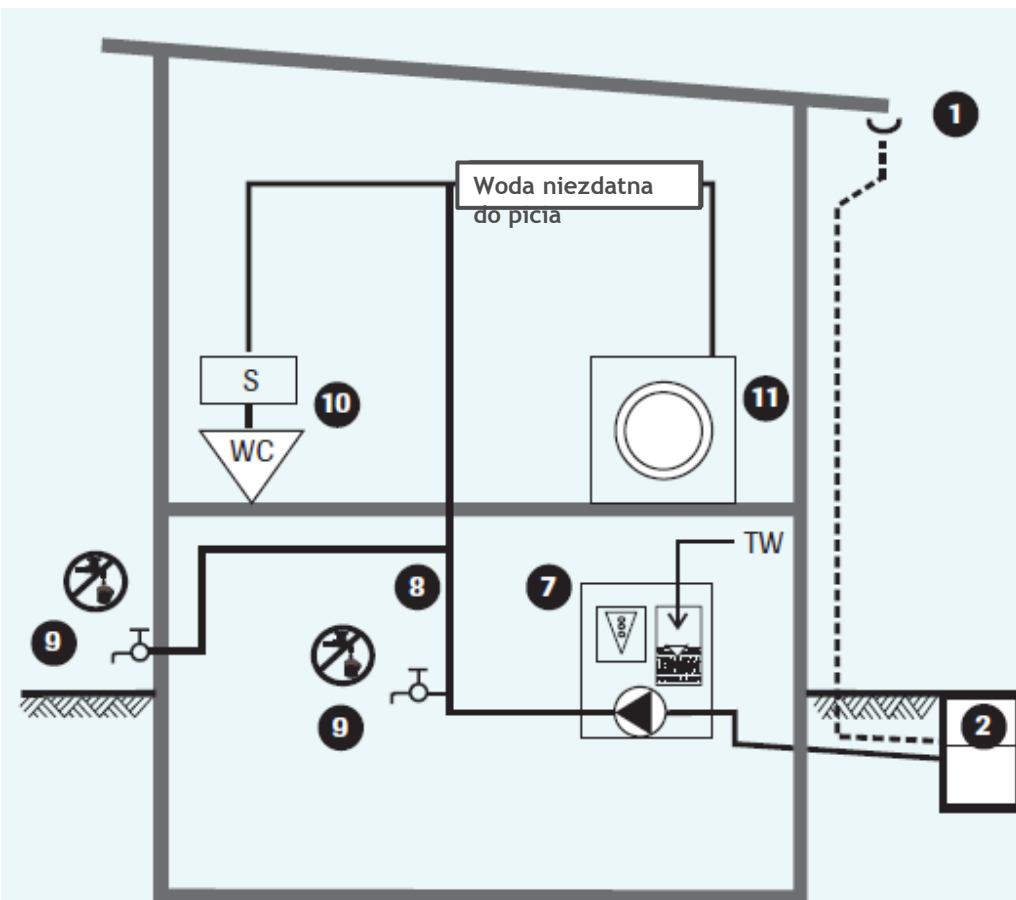


Przegląd (2)

- Rozwiązania do zbierania wody opadowej można instalować w nowych i istniejących budynkach
- W sektorze publicznym: spłukiwanie toalet w szkołach, domach kultury i innych budynkach, także nawadnianie terenów otwartych, obiektów sportowych i czyszczenie kanalizacji
- W przemyśle i handlu: Wodę opadową można ponownie wykorzystać do chłodzenia, czyszczenia stali, jako woda użytkowa (procesowa) w procesie produkcyjnym lub jako woda do gaszenia pożarów



ZBIERANIE WODY OPADOWEJ

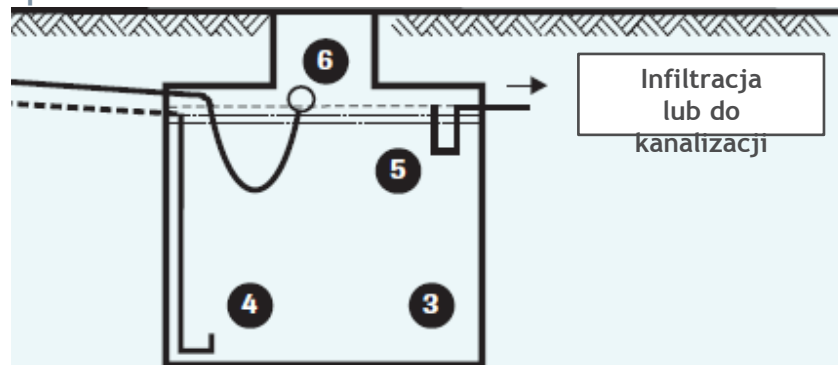


(Źródło: fbr)

Elementy

systemu zbierania wody opadowej
w gospodarstwie domowym:

- 1 rynna dachowa
 - 2 filtr
 - 3 zbiornik wody deszczowej (np. betonowy lub z tworzywa sztucznego)
 - 4 otwór wlotowy uspokajający strumień wody
 - 5 przelew z syfonem
 - 6 filtr ssawny (ekstrakcja pływająca)
 - 7 system zasilania w wodę opadową wraz z pompą i panelem sterowania
- oraz zapasowe zasilanie sieciowe zgodnie z normą DIN
- 8 dystrybucja wody opadowej
 - 9 punkt poboru
 - 10 toaleta
 - 11 pralka



Elementy systemu zbierania wody opadowej (ZWO)

Zazwyczaj system ZWO składa się z czterech podstawowych elementów (zastosowanie publiczne, prywatne, przemysłowe):

- **System zbierania:** powierzchnia, z której zbierana jest woda deszczowa (dach i/lub powierzchnia ziemi); zbieranie z powierzchni dachowych - najlepiej z dachów łupkowych, szklanych, betonowych lub pokrytych dachówką ceramiczną
- **System transportu:** system transportu wody do zbiornika magazynowego, np. rynny i rury spustowe
- **System magazynowania:** zbiorniki/cysterny powinny być chronione przed światłem, a do użytku gospodarstwie domowym najlepiej umieszczone w chłodnym miejscu (podziemia, piwnice w nowych budynkach); najczęściej stosowane są płyty żelbetowe i z tworzyw sztucznych (PE)
- **System pomp:** do dostarczania oczyszczonej wody deszczowej do miejsca wykorzystania



Inne elementy systemu ZWO

- **Filtry:** do zatrzymywania zanieczyszczeń z dachów i drzew w wodzie deszczowej, najlepiej o niskich wymaganiach konserwacyjnych, wysokiej wydajności filtra i uzysku wody (np. filtry wpustowe, w zbiorniku, filtry wstępne)
- Urządzenie do **pierwszego spłukiwania:** zawór, który zapewnia, że spływ po pierwszym deszczu (zwykle mocno zanieczyszczonym) jest wypłukiwany i nie przedostaje się do systemu
- **Otwór wlotowy uspokajający strumień wody**
- **Panel sterowania,** który łączy w sobie wyświetlacz poziomu napełnienia, system awaryjnego zasilania sieciowego i zabezpieczenie przed suchobiegiem
- **System dwururowy dla wody użytkowej**



Aspekty jakościowe obszaru, z którego zbierana jest woda

- Zaleca się stosowanie lekko zanieczyszczonych i gładkich powierzchni dachowych
- Spływy z zanieczyszczonych powierzchni powinny być odpowiednio oczyszczane
- Dachy zielone zwykle nadają wodzie brązową barwę, dachy bitumiczne barwę żółtawą; w przypadku niepowlekanych dachów miedzianych i cynkowych w spływie zwiększa się stężenie jonów metali; chropowate powierzchnie gromadzą więcej zanieczyszczeń i kurzu, szczególnie w okresach suchych
- Przy normalnym obciążeniu zanieczyszczeniami atmosferycznymi, odpowiednich powierzchniach zbierania i dobrze zaprojektowanym systemie zbierania wody deszczowej, ryzyko higieniczne związane z wykorzystaniem wody deszczowej jest wyjątkowo niskie



Czynniki wpływające na konstrukcję systemu i sposób magazynowania

- Ilość opadów (mm/rok) w zależności od regionu
- Wzorzec i rozkład opadów w ciągu roku
- Powierzchnia zbiórki (m^2)
- Dienne zużycie wody (litry/osoba/dzień)
- **Współczynnik spływu:** pozwala obliczyć maksymalną ilość opadów, która może być zebrana z dachu (i innych powierzchni)
- Pojemność magazynowa (m^3)
- Koszt

Osiągnięty uzysk wody deszczowej zależy od ilości opadów, wielkości i ustawienia powierzchni zbierania wody deszczowej, a także wydajności filtra wody deszczowej.



Współczynniki spływu dla różnych typów dachów

Współczynnik 1 oznacza, że cała woda spadająca na dach jest odprowadzana przez rynnę; współczynnik 0,5 oznacza, że tylko połowa opadów jest zbierana z dachów, podczas gdy reszta jest tracona (np. w wyniku parowania)

Pokrycie dachu	Współczynnik spływu (%)
Pochylony twardy dach*	0.8
Dach płaski bez warstwy żwiru	0.8
Dach płaski z warstwą żwiru	0.6
Intensywnie zielony dach	0.3
Rozległy zielony dach	0.5
Dach brukowany/pokryty kostką brukową (gładka powierzchnia)	0.5
Dach asfaltowy	0.8

*Odchylenia w zależności od chłonności i chropowatości
(Źródło: zaadaptowane z DIN 1989-1)



Wielkość cysterny

- Dzienny uzysk wody deszczowej obliczany jest na podstawie ilości opadów [$\text{mm} = \text{l/m}^2$], powierzchni dachu [m^2], współczynnika spływu z dachu oraz wydajności filtra podzielonej przez 365 dni w roku
- Wielkość systemu ZWO jest dobierana przez porównanie ilości wody deszczowej, która może być zebrana z określonej powierzchni, z zapotrzebowaniem na wodę w gospodarstwie domowym/na użytkownika
- W przypadku domów i mieszkań prywatnych zazwyczaj wystarcza szacunek:
np. objętość zbiornika = 1 m^3 na 20 m^2 powierzchni dachu lub zbiornik powinien zapewniać zapas wody deszczowej na okres 4 tygodni (brak opadów)
- W przypadku większych systemów o bardziej złożonych warunkach powierzchniowych konieczna jest symulacja z uwzględnieniem danych o opadach (np. dane z ostatnich 20 lat, dzienne/miesięczne) oraz danych o zużyciu wody z wykorzystaniem modelu komputerowego (DIN 1989-1)



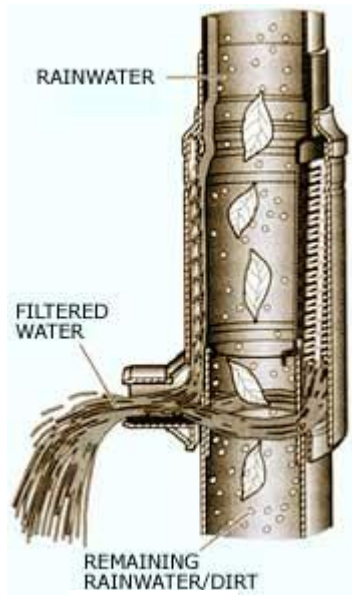
Wielkość cysterny (2)

- Zgodnie z normą DIN 1989-1, dla domu jedno- lub dwurodzinnego należy zapewnić efektywną pojemność od 800 do 1000 litrów. Dla 4-osobowego gospodarstwa domowego wymagane jest około 4 m³ użytkowej pojemności magazynowej wody deszczowej
- Przy dużej ilości opadów i małym zapotrzebowaniu na wodę należy zebrać przelew ze zbiornika i wyparować go lub poddać infiltracji na miejscu. Zapasowe zasilanie sieciowe jest rzadko wymagane
- Przy małych opadach i dużym zapotrzebowaniu na wodę przelewy są zwykle rzadkie, o ile zastosowano większy zbiornik. System ZWO będzie jednak zależny od regularnego zasilania w wodę zapasową
- Pomimo zrównoważonego zapotrzebowania na wodę deszczową oraz odpowiedniej wielkości zbiornika, przelewy i wykorzystanie zasilania zapasowego mogą być częste i intensywne z powodu nieprzewidywalnych warunków pogodowych



Filtry do wody opadowej

Różne typy filtrów mechanicznych do różnych zastosowań wielokrotnego użytku (rury spustowe, w zbiorniku, przed zbiornikiem, za zbiornikiem ...)

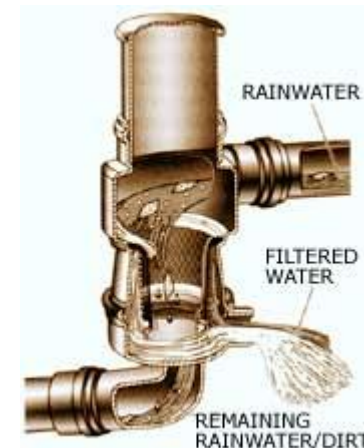


do
kanalizacji

Kolektor z filtrem spustowym kieruje 90% wody deszczowej do zbiornika magazynującego przez filtr siatkowy 0,17 mm ze stali nierdzewnej



Pływający filtr ssący sprawia, że woda deszczowa jest pompowana z najczystszego poziomu zbiornika i jest wolna od cząstek stałych



do
kanalizacji

Duży filtr dokładny typu "vortex" odprowadza 90% wody deszczowej z dachów o powierzchni do 500 m².

(filtry WISY AG. Źródło: John Gould and Erik Nissen-Petersen (1999) Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply - Design, Construction and Implementation)



ZBIERANIE WODY OPADOWEJ

Filtry do wody opadowej



Filtr wody deszczowej do dachów o powierzchni do 500 m² (Źródło: Otto Graf GmbH)



Filtr wody deszczowej do dachów o powierzchni do 6000 m² (Źródło: INTEWA GmbH)

Filtr spustowy



(Źródło: Wisy, AG)

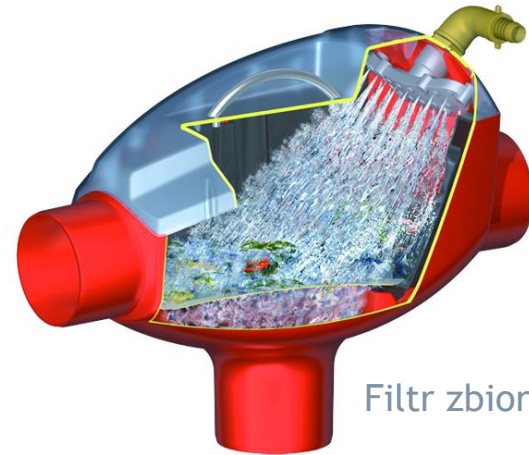


Zintegrowany filtr do zbiorników wody deszczowej (źródło: 3P Technik Filtersysteme GmbH)

Filtry wody deszczowej do dużych powierzchni dachowych



Filtr Wisy Vortex (WISY)



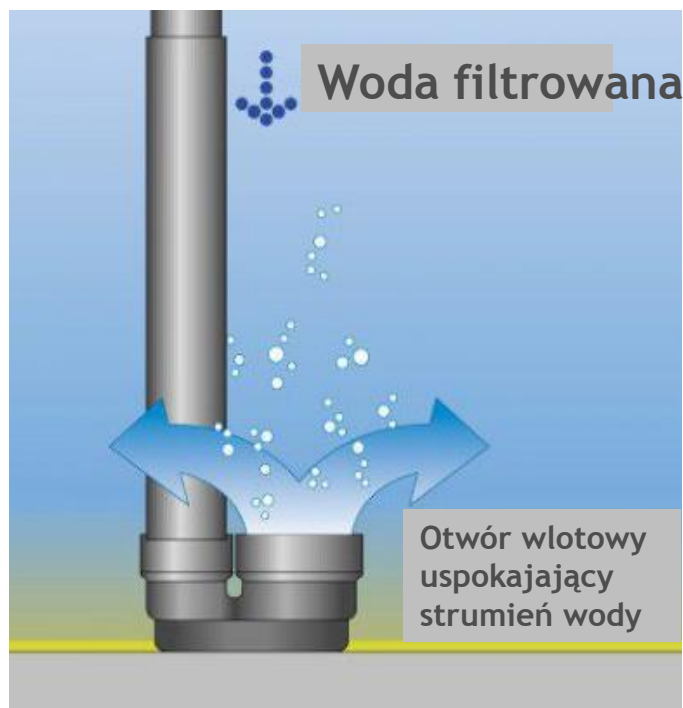
Filtr zbiornikowy (GRAF)



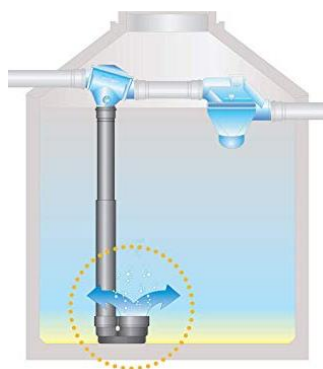
Filtr zewnętrzny (GRAF)



Otwór wlotowy uspokajający strumień wody Filtr ssawny



(źródło: 3P Technik Filtersysteme GmbH)



Uspokojony wlot zapobiega zawirowywaniu osadów na dnie zbiornika wody deszczowej



A floating fine suction filter ensures that rainwater is pumped from cleanest level of the tank and is free of particulates

Zbiorniki wody opadowej



Nicht enthalten: Wasser-Zapfhahn + Fallrohr-Anschluss-Zubehör, Gießkanne + Deko.
Zbiorniki naziemne preferowane
do nawadniania ogrodów (Graf)



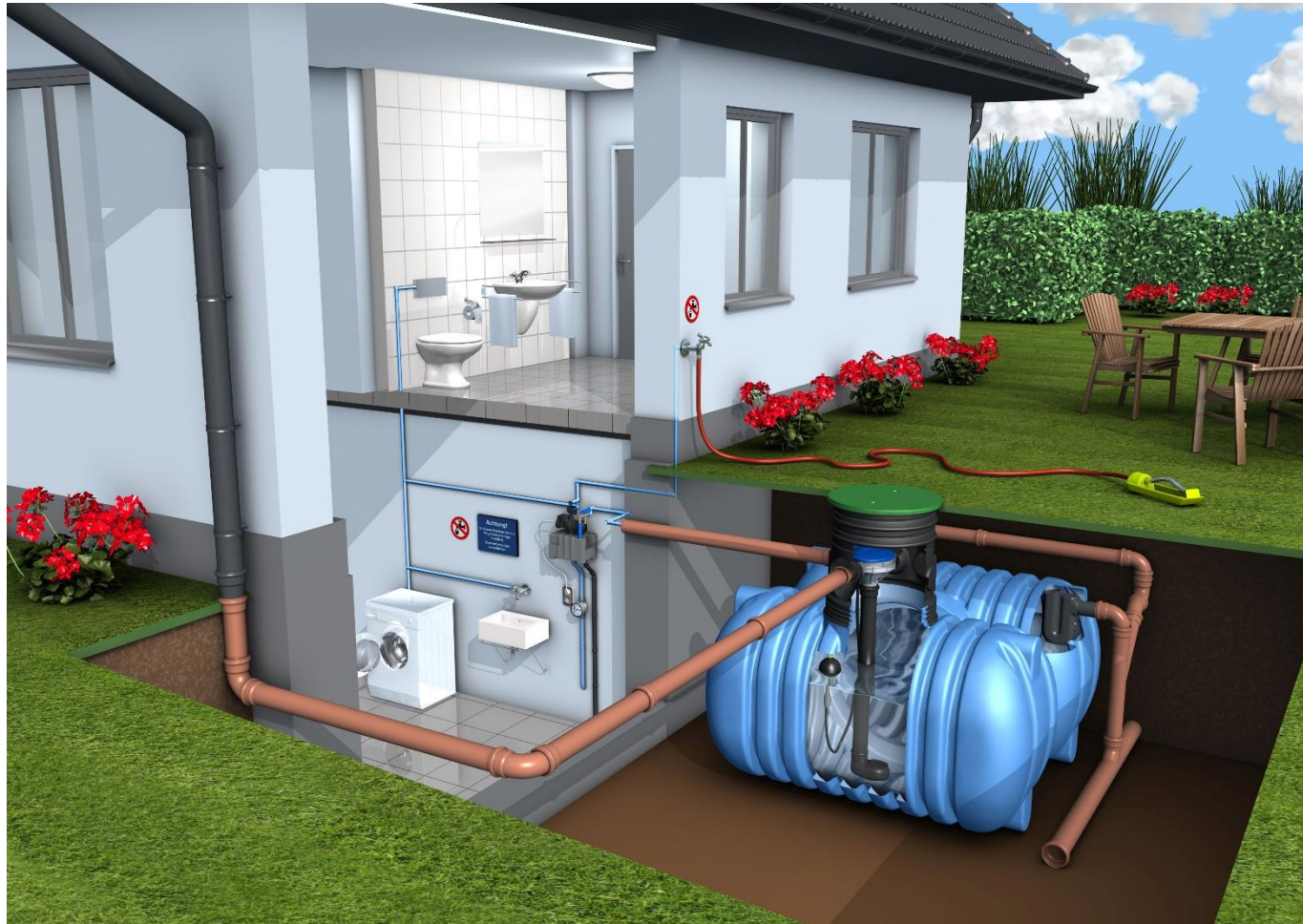
Beton pod ziemią (Centrum
Handlowe)



Podziemny zbiornik
z tworzywa sztucznego (GreenLife)



Podziemny zbiornik wody deszczowej dla gospodarstw domowych



(Źródło: fbr)



Zbiorniki na wodę deszczową dla małych systemów ZWO



Zbiornik betonowy



Zbiornik z tworzywa sztucznego

(Źródło: fbr)



ZBIERANIE WODY OPADOWEJ

Zbiorniki na wodę deszczową dla małych systemów ZWO



Zbiornik podziemny (centrum handlowe)



Zbiorniki wody deszczowej dla dużych systemów ZWO



Budynek biurowy

(Źródło: fbr)

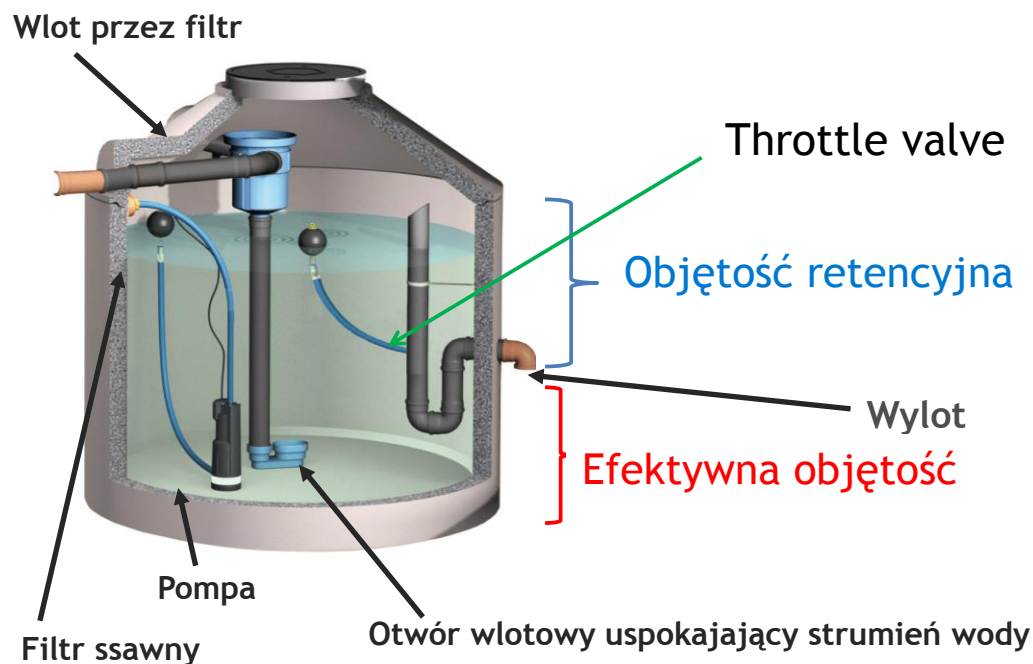


Lotnisko Charles de Gaulle



Zbieranie wody deszczowej w połączeniu z retencją

Cysterna z przepustnicą

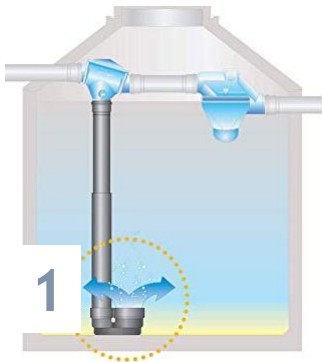


Istnieje konflikt pomiędzy wykorzystaniem wody deszczowej (cysterna powinna być zawsze pełna) a odciążeniem hydraulicznym kanalizacji (cysterna powinna być zawsze pusta, aby zebrać nowy spływ). Cysterny retencyjne są konstruowane jako konstrukcja zespolona, aby spełnić oba te wymagania. Posiadają określoną **objętość retencyjną**, która może być odprowadzana do kanalizacji oraz dodatkową stałą **objętość efektywną** do ponownego wykorzystania.

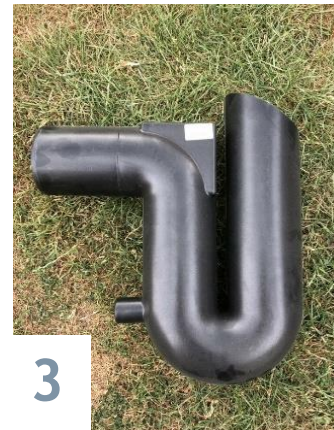


Niezbędne części cystern:

1. Otwór wlotowy uspokajający strumień wody
2. Pływający dokładny filtr ssawny
3. Skośna rura przelewowa do odprowadzania pływających zanieczyszczeń
4. Syfon spustowy do kanalizacji
5. Ochrona przed cofaniem wody
6. Ochrona przed zwierzętami



A floating fine suction filter ensures that rainwater is pumped from cleanest level of the tank and is free of particulates



ZBIERANIE WODY OPADOWEJ

Pompy

ESPA



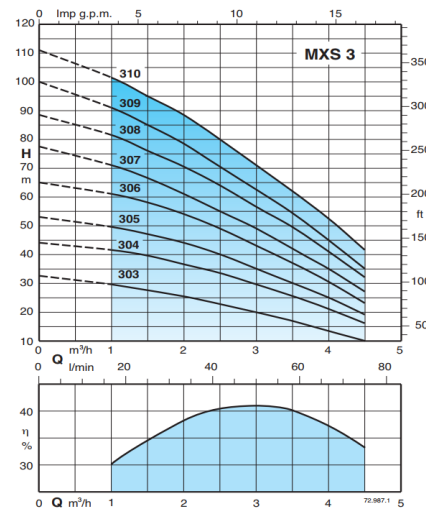
GreenLife



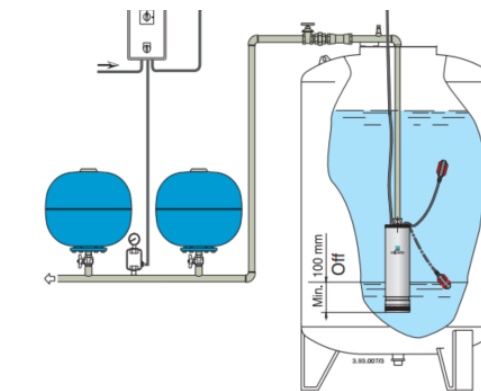
Intewa Rainmaster



Calpeda

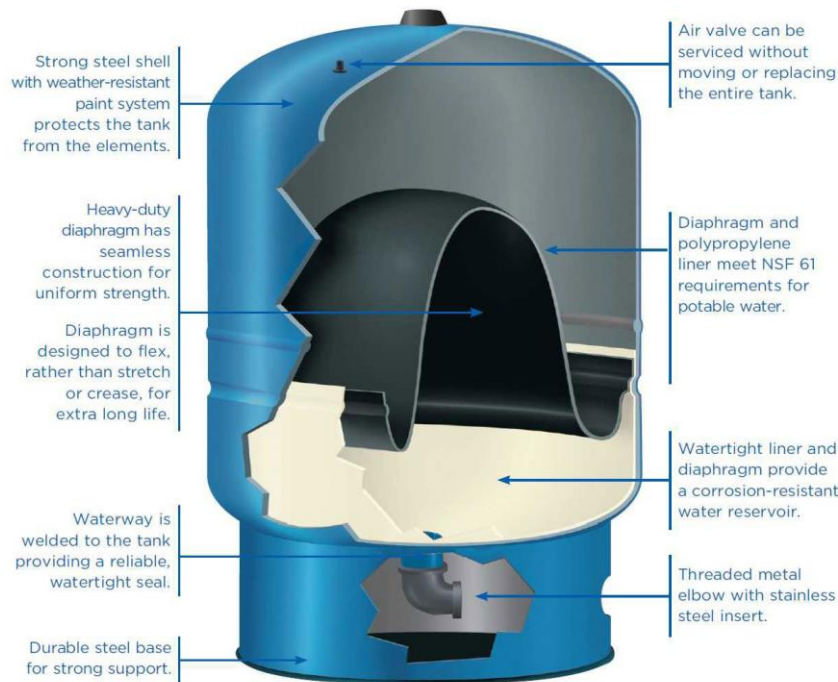


Charakterystyczna krzywa

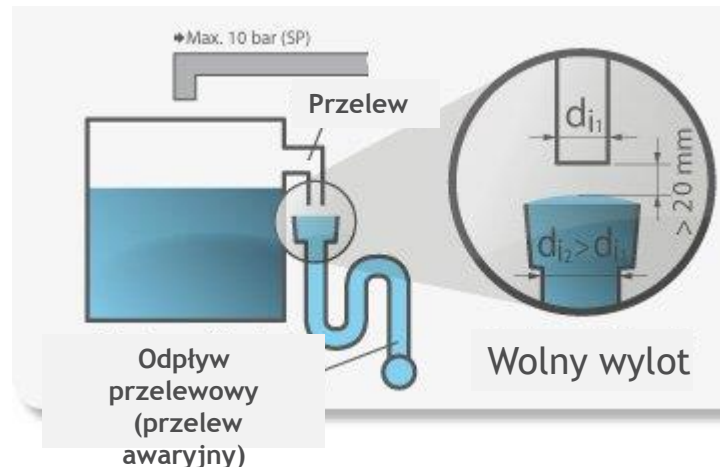


Pompy

Pompy suche lub mokre są zawsze wyposażone w **przeponowy zbiornik wyrównawczy** zapewniający długą żywotność i niskie koszty energii



Unikać połączeń krzyżowych (z siecią wody pitnej)



Woda deszczowa do picia (i piwa)



Zbiornik na czystą wodę Rainmaster Favorit SC,
system kontroli i dezynfekcji UV AQUALOOP



AQUALOOP Tap Comfort 1.600 l/d



Gaumengenuss
durch weiches Regenwasser



Stacja jednomembranowa
AQUALOOP z membraną i
systemem sterowania

(Źródło: INTEWA GmbH; <https://www.intewa.de/produkte/aqualoop/referenzen/projekte/ihre-haus-wasserquellen/>)

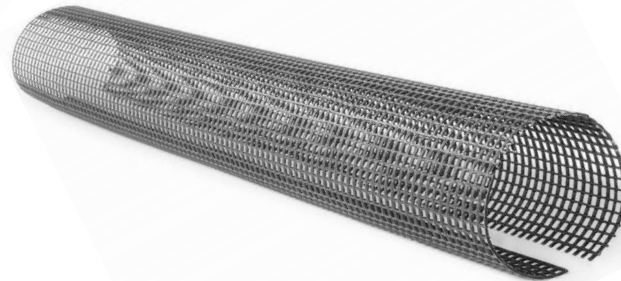


Konserwacja

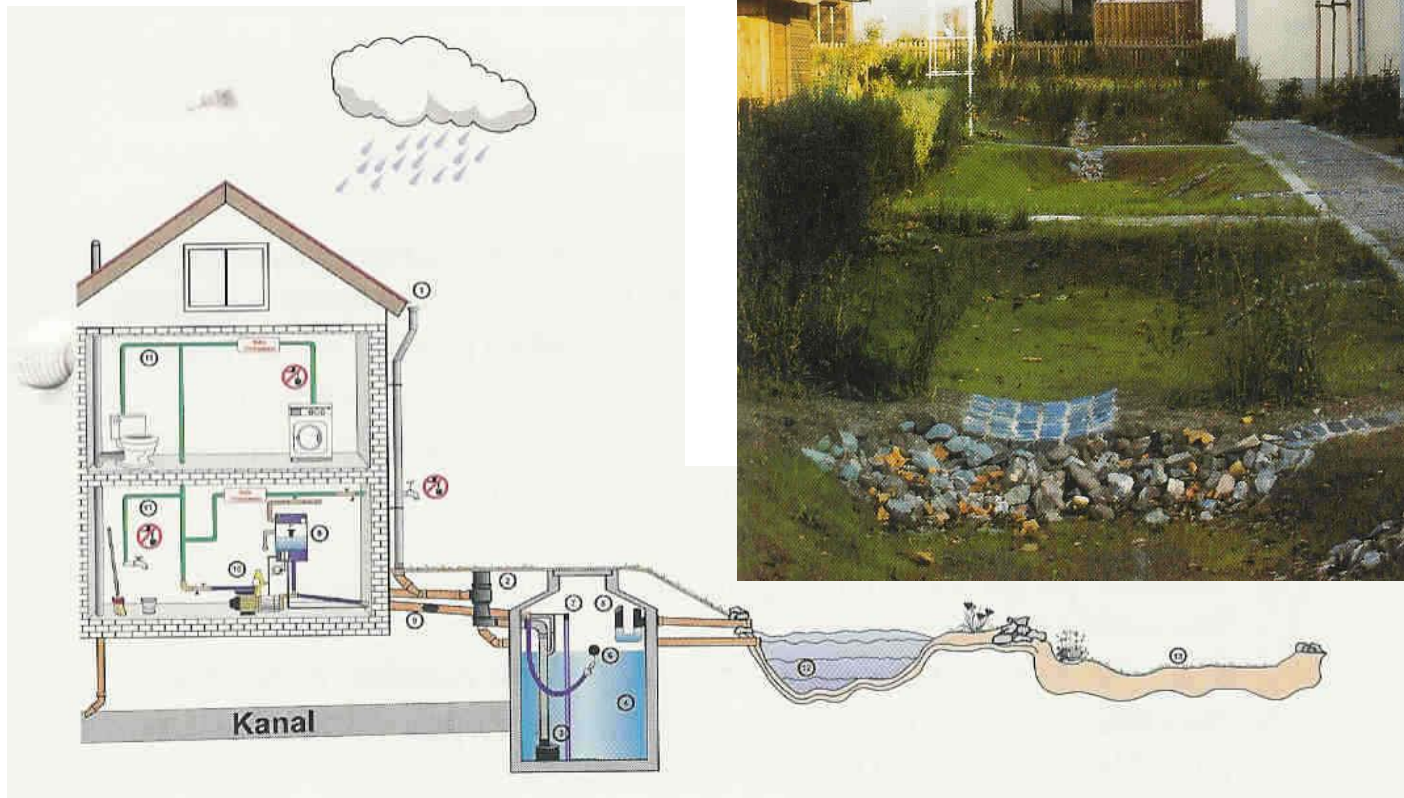
- Filtry wymagają czyszczenia 1-2 razy w roku w zależności od obciążenia zanieczyszczeniami z drzew, pyłkami, kurzem itp.
- Rynny i rury spustowe muszą być wolne od zanieczyszczeń (czyszczenie 2-3 razy w roku)
- Raz w roku zaleca się kontrolę wzrokową zbiornika i usunięcie nadmiernej ilości osadu
- Raz w roku należy sprawdzić pompy pod względem szczelności i działania
- Czyszczenie zbiornika co 10 lat



Kraty chroniące przed wpadaniem liści ograniczają konieczność konserwacji



Zbieranie wody deszczowej w połączeniu z infiltracją wody przelewowej



Chłodzenie adiabatyczne z wykorzystaniem wody deszczowej

Do produkcji energii potrzebne jest dużo wody
Zapotrzebowanie na wodę do chłodzenia
(1):

Energia z paliw kopalnych : 2.6 litra /
kWhelec.

Energia atomowa: 3.2 litra /
kWhelec.

Chłodzenie wodą deszczową pozwala zaoszczędzić duże ilości energii elektrycznej.
Do wyparowania 1 m³ wody potrzebne jest 680 kWh energii cieplnej



(1) (Źródło: http://www.energieverbraucher.de/de/Umwelt-Politik/Umwelt-und-Klima/site_894/)

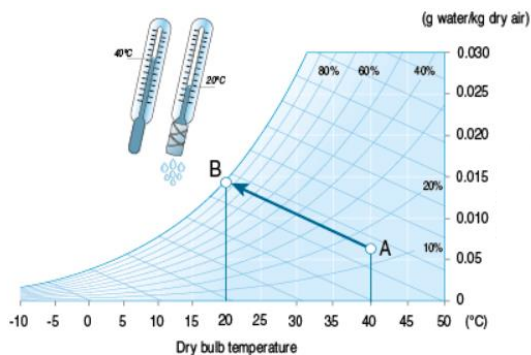


ZBIERANIE WODY OPADOWEJ

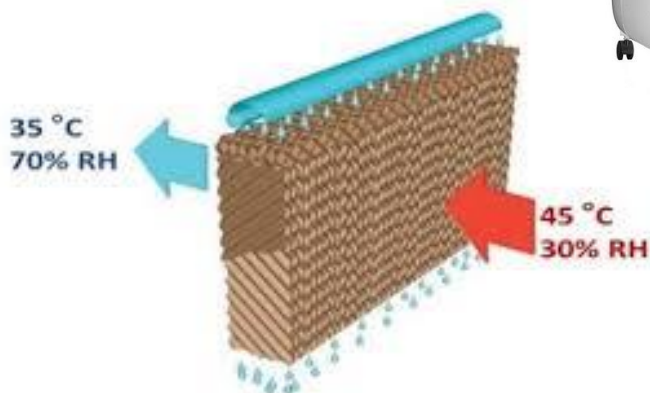
Chłodzenie adiabatyczne z wykorzystaniem wody deszczowej

Chłodzenie z wykorzystaniem elektryczności

$1 \text{ kW}_{\text{elek.}} + 100 \text{ litrów wody}$ daje 70 kW mocy chłodzącej



Adiabatic humidification



$1 \text{ kW}_{\text{elek.}}$ daje 3.2 kW mocy chłodzącej

Kühlen		Energie
Hersteller	Außengerät	Innengerät
		Sehr effizient
$3.20 < \text{EER}$		A
$3.20 \geq \text{EER} > 3.00$		B
$3.00 \geq \text{EER} > 2.80$		C
$2.80 \geq \text{EER} > 2.60$		D
$2.60 \geq \text{EER} > 2.40$		E
$2.40 \geq \text{EER} > 2.20$		F
$2.20 \geq \text{EER}$		G
		Wenig effizient



Zbieranie wody deszczowej do chłodzenia adiabatycznego w budynkach

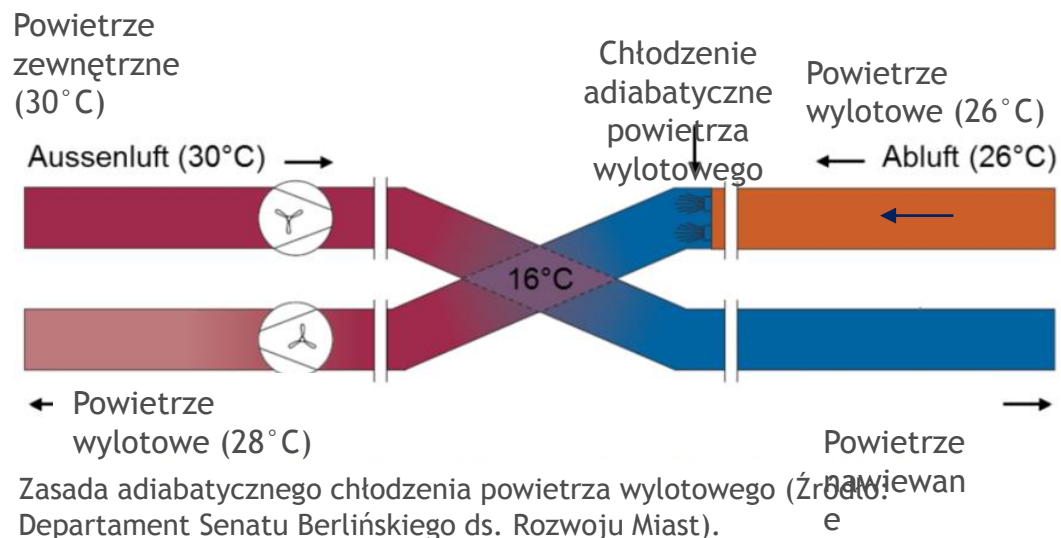
- Chłodzenie adiabatyczne (wyparne) to proces redukcji ciepła poprzez zmianę ciśnienia powietrza spowodowaną rozszerzoną objętością
- Woda deszczowa, najlepiej zebrana z powierzchni dachowych i oczyszczona, może być używana do chłodzenia budynków
- Ten proces "klimatyzacji" jest skuteczny w chłodzeniu powietrza dolotowego do temperatury 21 - 22 °C przy temperaturach zewnętrznych sięgających 30 °C
- W procesie chłodzenia adiabatycznego woda opadowa jest rozpylana na powietrze wylotowe z budynku, przy czym świeże powietrze wpływające do budynku jest chłodzone za pomocą wymiennika ciepła
- Wykorzystanie wody deszczowej do chłodzenia pozwala zaoszczędzić zarówno wodę pitną, jak i ilość ścieków
- Pozwala to zaoszczędzić do 80 % energii



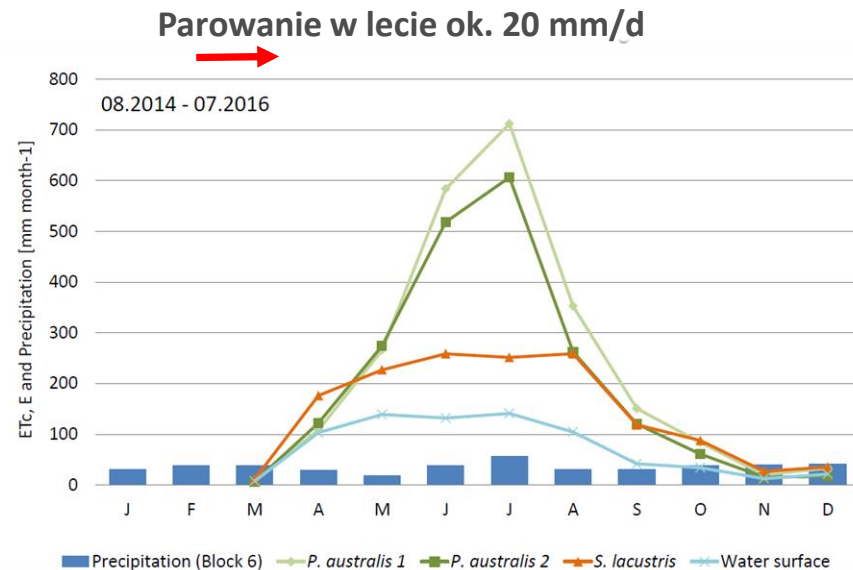
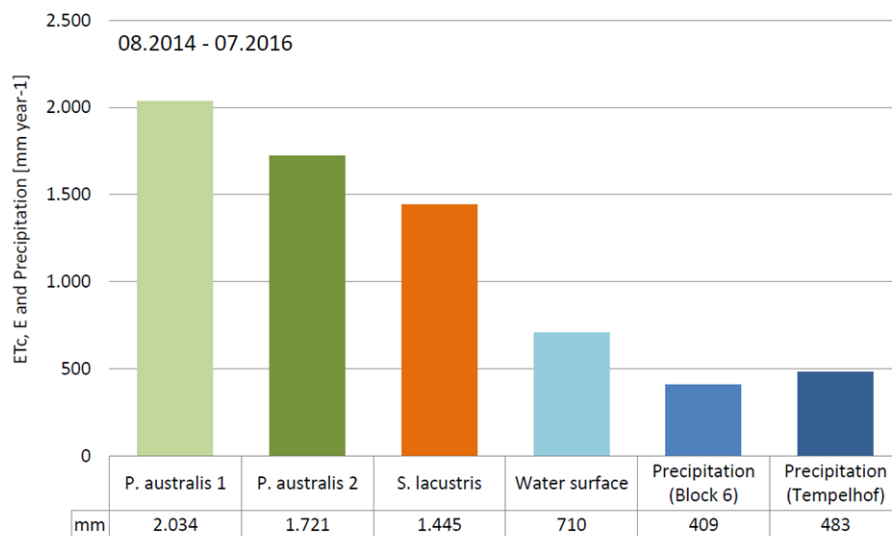
Zbieranie wody deszczowej do chłodzenia adiabatycznego w budynkach



Adiabatyczne chłodzenie powietrza wylotowego,
Instytut Fizyki Uniwersytetu Humboldta, Adlershof,
Berlin (Zdjęcie: M. Schmidt)



Parowanie wody deszczowej w gęsto zaludnionych obszarach miejskich



Trzcina wyparowuje w ciągu jednego letniego miesiąca tyle, ile jedno drzewo przez cały rok!



W okresach suchych rośliny nie przetrwają bez nawadniania

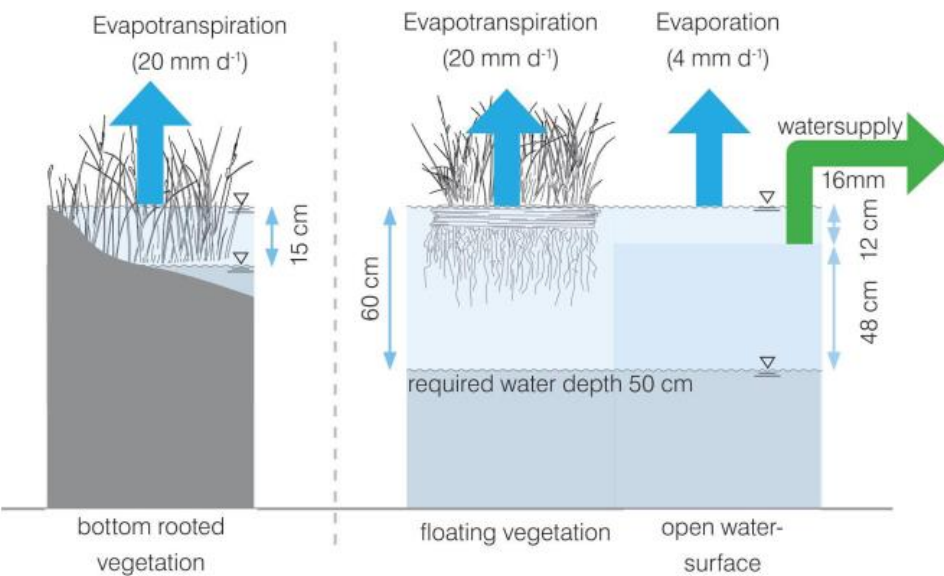


Fig. 34: Water level fluctuation in a CSW during a 30 day drought with bottom rooted vegetation (left) and floating mats with macrophytes (right) (Günther, 2013, p.25)



Korzyści płynące ze zbierania wody opadowej

- Woda deszczowa jest stosunkowo czysta, a jej jakość jest zazwyczaj wystarczająca do wielu zastosowań przy niewielkiej lub nawet zerowej konieczności oczyszczania
- Woda deszczowa ma niskie zasolenie i może być ponownie wykorzystana do wielu celów, kiedy przydatna jest woda miękka, np. do prania, chłodzenia i w przemyśle (zamiast odwróconej osmozy, wymiennika jonowego itp.)
- Pozwala to zaoszczędzić do 50 % zapotrzebowania na wodę w gospodarstwie domowym
- Zmniejsza koszty energii potrzebnej do chłodzenia:
1 m³ **odparowanej** WO **uwalnia 680 kWh energii**
- Zmniejsza obciążenie kanalizacji i ilość powodzi na obszarach miejskich
- ZWO to elastyczna technologia, która może być zaprojektowana tak, aby spełnić niemal każde wymaganie
- Przyczynia się do samowystarczalności w zakresie zaopatrzenia w wodę



Rozległe zielone dachy



(Źródło: Nolde i Partner)



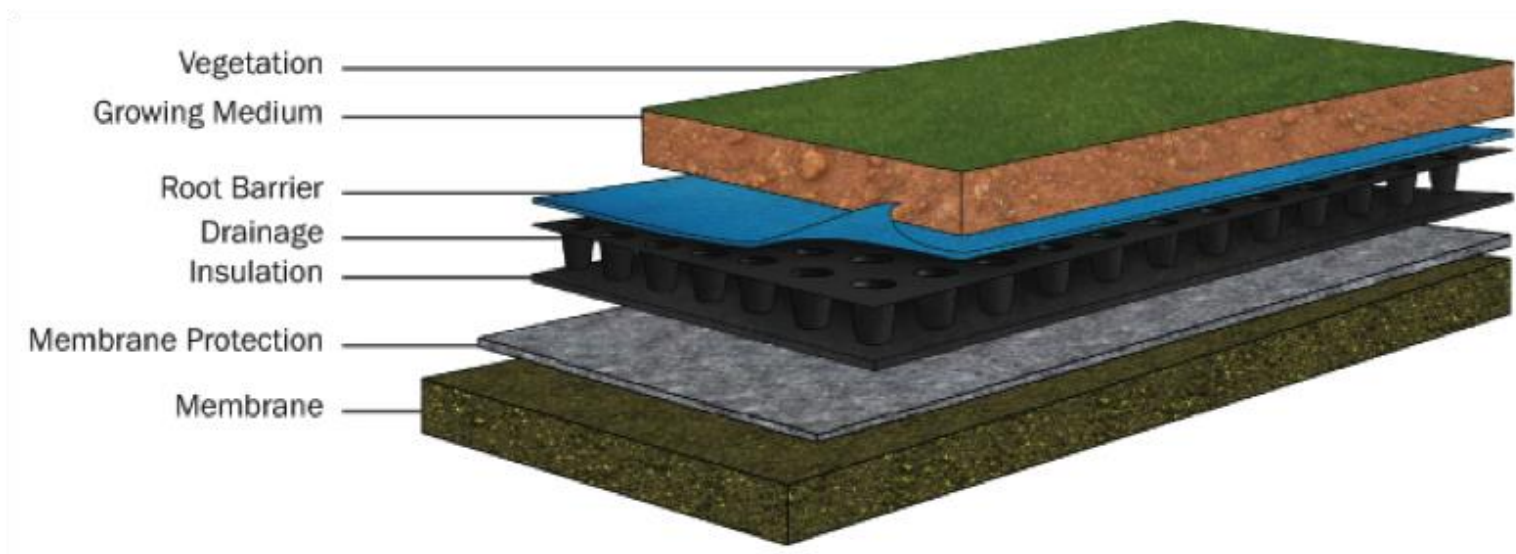
2 Retencja wody opadowej

2.1 Zielone dachy

- System wielowarstwowy, składający się z warstwy górnej z roślinnością, gleby lub odpowiedniego podłoża, drenażu, ochrony, warstwy uszczelniającej i izolacji
- Wysoka zdolność retencyjna
- Zmniejszanie i opóźnianie spływu podczas przepływu szczytowego
- Możliwość instalacji na większości dachów budynków (najczęściej na dachach płaskich)
- Latem zielone dachy mogą zatrzymać od 70 do 80% opadów, a zimą od 25 do 40% w zależności od podłoża, jego głębokości i rodzaju zastosowanych roślin



Schemat wielowarstwowego zielonego dachu



(Źródło: green building alliance)

<https://www.go-gba.org/resources/green-building-methods/green-roofs/#lightbox/1/>



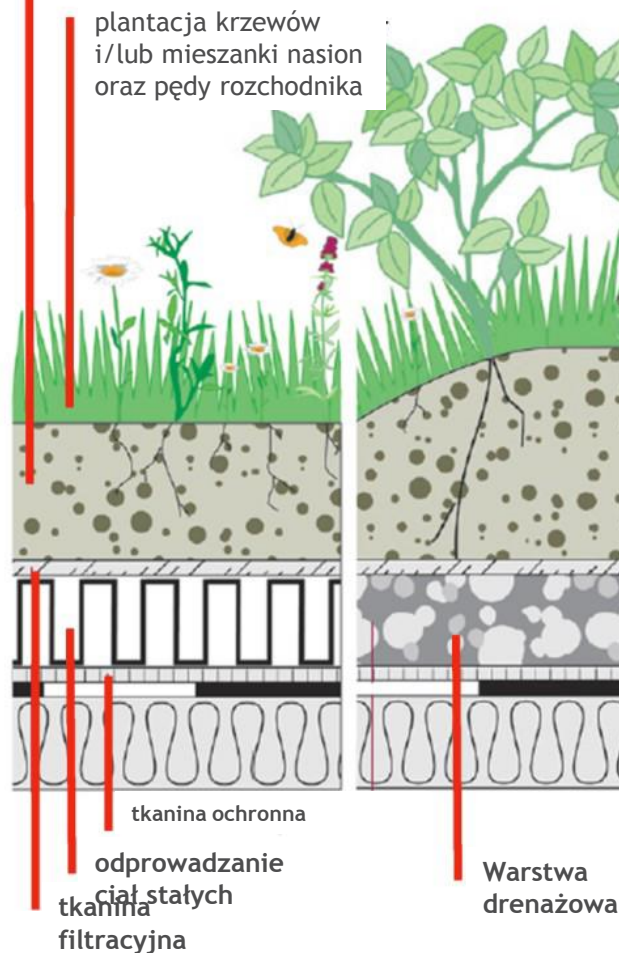
Rozległe zielone dachy



Rozległy zielony dach, Alexa, Berlin (Zdjęcie: FBB, G. Mann)

wielowarstwowe, rozległe podłoże o dużej zdolności zatrzymywania wody i dobrej objętości porów powietrznych

plantacja krzewów i/lub mieszanki nasion oraz pędy rozchodnika



Struktura rozległego zielonego dachu

(Źródło: Departament Senatu Berlińskiego ds. Rozwoju Miast).



Rozległe zielone dachy

- Pokrycie całej powierzchni dachu niskimi, niewymagającymi roślinami na cienkim podłożu
- Zazwyczaj wymagają warstwy gleby o grubości 8 -15 cm
- Najlepiej nadają się rośliny odporne na suszę, niskie i wytrzymałe
- Wymagają minimalnej pielęgnacji i nawadniania
- Generują niższe koszty instalacji niż intensywnie zielone dachy



Intensywnie zielone dachy



(Źródło: Optigrün)



Intensywnie zielone dachy

- Również ogrody dachowe, których gleba jest wystarczająco głęboka, aby zapewnić wzrost drzew i krzewów
- Powodują dodatkowe obciążenie konstrukcji nośnej
- Zazwyczaj wymagają warstwy gleby o grubości 15 -100 cm
- Wymagają złożonego systemu nawadniania
- Wymagają stałej konserwacji i pielęgnacji roślinności i systemu wodnego
- Kosztowniejsze niż rozległe dachy zielone



Ogólne wymagania dla różnych typów dachów zielonych

	Rozległy zielony dach	Intensywnie zielony dach
Koszty	Niskie	Wysokie
Irygacja	Nie	Regularnie
Konserwacja	Mało	Dużo
Roślinność	Sukulenty i trawy odporne na suszę	Trawnik lub byliny, krzewy i drzewa
Zastosowania	Ekologiczna warstwa ochronna	Ogród parkowy
Obciążenie nośne (z wodą)	90 - 180 kg/m ²	90 - 180 kg/m ²



Korzyści płynące z zielonych dachów

- Umożliwiają zbieranie wody opadowej
- Zmniejszają efekt miejskiej wyspy ciepła poprzez parowanie i poprawę mikroklimatu
- Poprawiają izolację termiczną i wydłużają żywotność dachu lub budynku
- Zapewniają przyjemną przestrzeń zieloną w środowisku miejskim
- Pozytywnie przyczyniają się do redukcji emisji CO₂ do atmosfery
- Działają jak zlew na drobny pył
- Kompensują zwiększone uszczelnienie powierzchni na obszarach miejskich
- Zwiększają różnorodność biologiczną w mieście
- Redukują opłaty za wodę deszczową



Zazielenianie (*greening*) elewacji i ścian

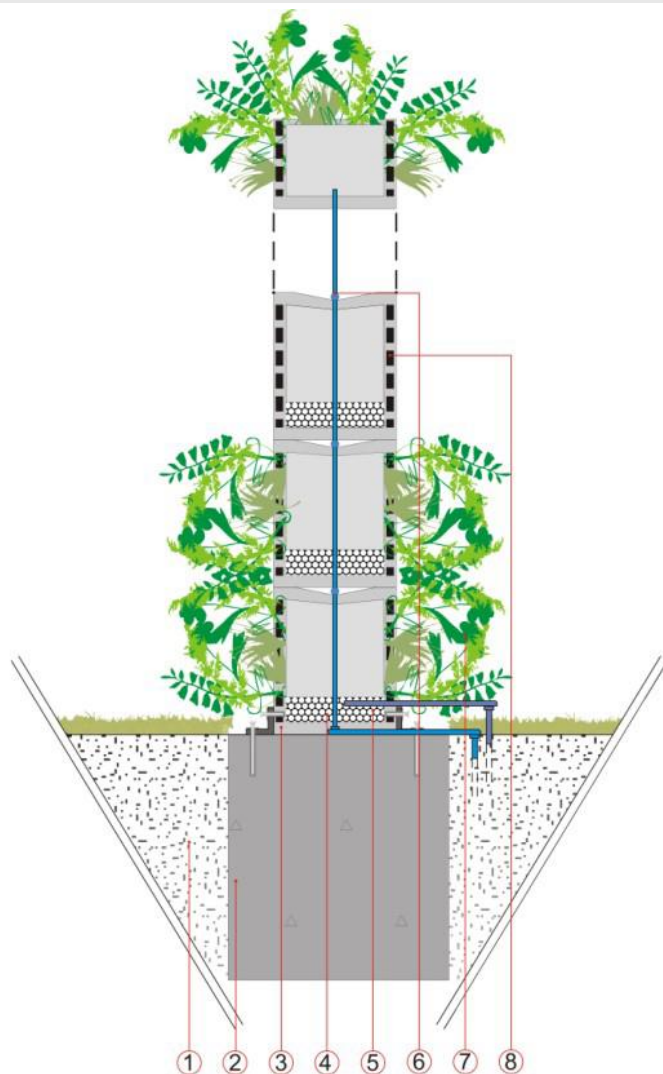


Zazielenienie fasady winobluszczem pięciolistkowym zasadzonym w gruncie w Berlinie-Schönebergu (Zdjęcie: D. Kaiser)



Systemowe zazielenienie elewacji w kontenerach, Instytut Fizyki w Berlinie Adlershof (zdjęcie: M. Schmidt)





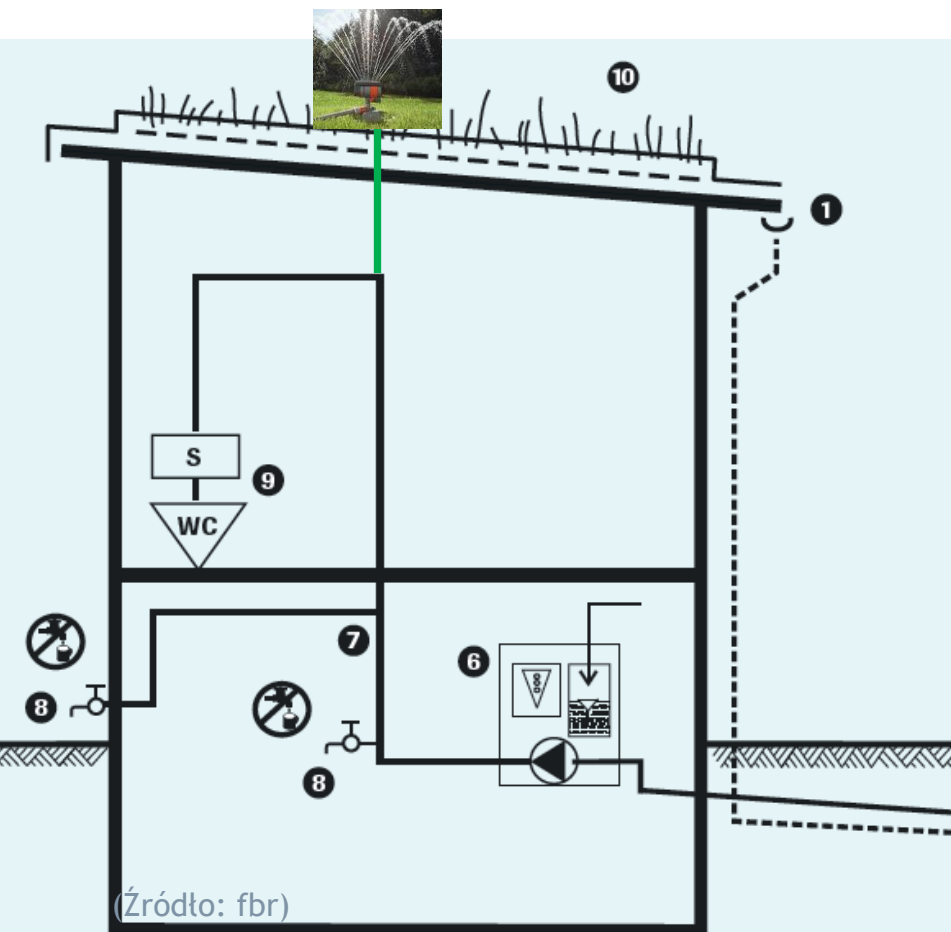
Widok boczny systemowego zazielenienia elewacji
(tu z funamentem)

- 1 ziemia
- 2 fundament
- 3 konstrukcja ramowa
- 4 drenaż i podłoże
- 5 kanał odwadniający
- 6 dopływ nawadniający
- 7 nasadzenie
- 8 obsadzone konstrukcje ścienne

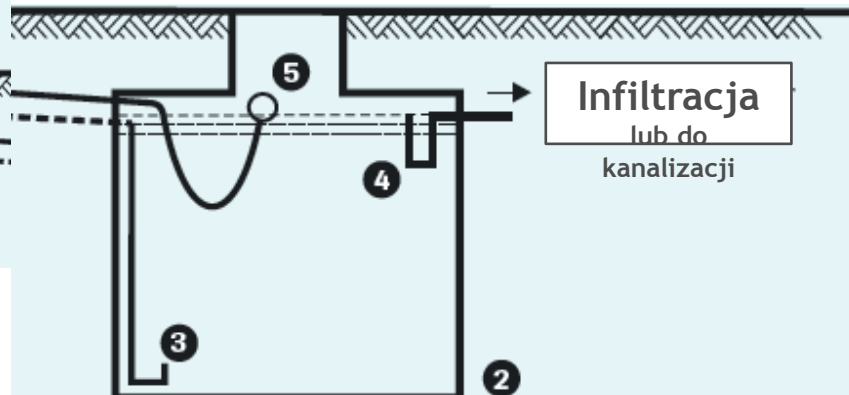


(Źródło: Köhler et al., 2012)

POŁĄCZENIE ZBIERANIA WODY OPADOWEJ Z ZIELONYMI DACHAMI



- 1 rynna dachowa
- 2 Zbiornik wody opadowej (np. z betonu lub tworzywa sztucznego)
- 3 Otwór wlotowy uspokajający strumień wody
- 4 Przelew z syfonem
- 5 Filtr ssawny (ekstrakcja pływająca)
- 6 System zasilania w wodę opadową wraz z pompą i panelem sterowania oraz zapasowy system wody pitnej
- 7 Rury wody użytkowej
- 8 Punkt poboru
- 9 Toaleta
- 10 Zielony dach



Infiltracja
lub do
kanalizacji



ZBIERANIE I PAROWANIE WODY OPADOWEJ



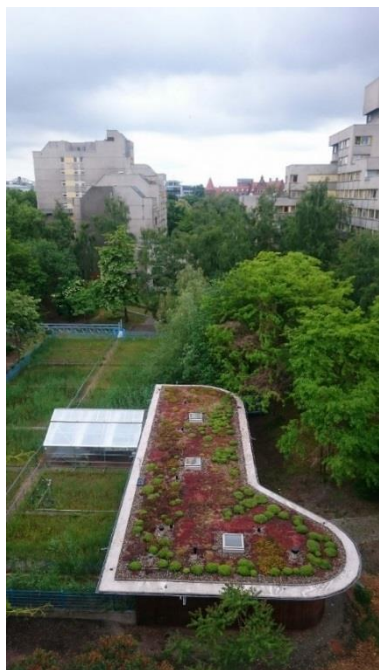
Połączenie zbierania i
parowania wody opadowej



(Źródło: city tree/drzewo miejskie)

TAKING COOPERATION FORWARD

Blok 6 - Berlin: 100% odłączenie od kanalizacji Zielone dachy, parowanie, infiltracja i różnorodność biologiczna



Staw retencyjny



2.2 Stawy retencyjne i tereny podmokłe

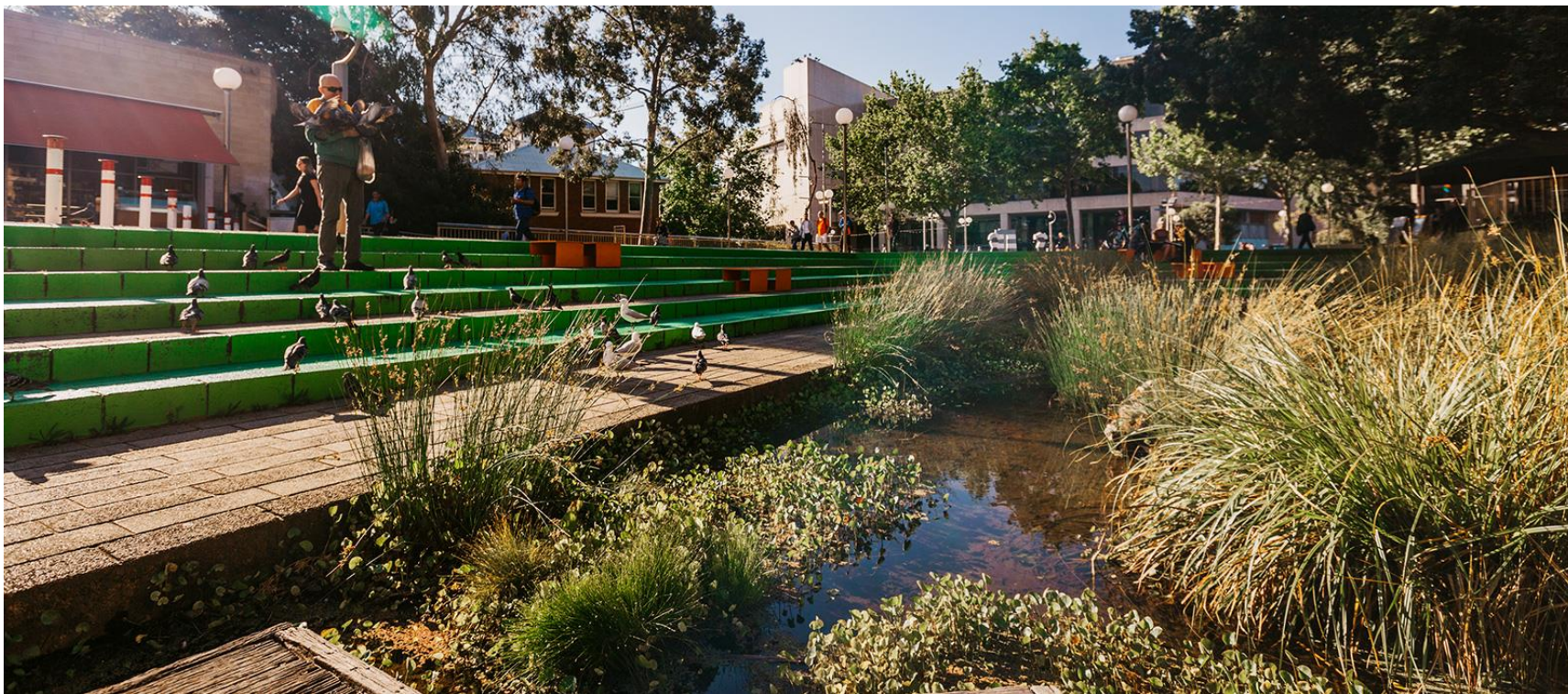
- Są to stosunkowo płytkie stawy i mokradła, które w całości pokryte są roślinnością wodną
- Mają dużą pojemność powodziową
- Mogą być zaprojektowane tak, aby zatrzymać znaczne ilości wody podczas ulewy (wystarczający czas detencji)
- Roślinność (rośliny i algi) biologicznie oczyszcza i usuwa składniki odżywcze
- Zapewniają siedliska dla dzikich zwierząt na obszarach miejskich
- Roślinność wymaga uprawy i pielęgnacji
- Zastosowanie studzienek wlotowych i wylotowych zwiększa wydajność poprzez zatrzymywanie mułów i zapobiega zatykaniu się wylotu
- Są to ekonomiczne rozwiązania dla obszarów o dużej przestrzeni



Sztuczne tereny podmokłe w centrum Berlina



Sztuczne tereny podmokłe - Miasto Perth



(Źródło: <https://www.visitperth.com.au/see-and-do/parks-gardens-and-reserves/Venues/urban-wetland>)



Sztuczne elementy wodne



Sztuczny zbiornik wodny do gromadzenia wody deszczowej na Potsdamer Platz, Berlin (Zdjęcie: Andreas Süß)

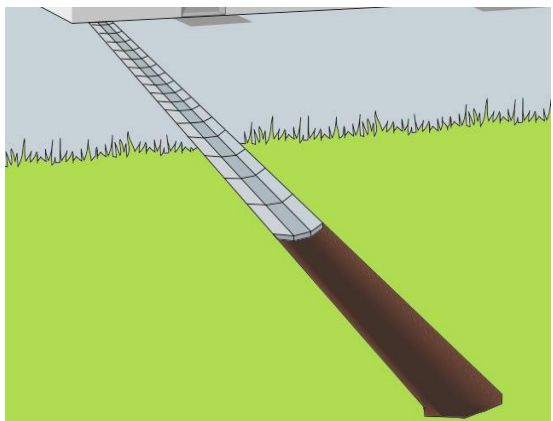


Rów wodny w dzielnicy miejskiej Arkadien, Winnenden (Zdjęcie: Ramboll Studio Dreiseitl)

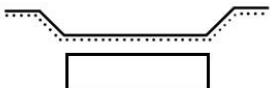
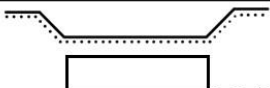
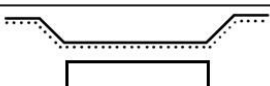


3. Infiltracja

Muldy chłonne z nasadzeniami i infiltracja powierzchniowa



Wybór technologii infiltracji w zależności od warunków glebowych i powierzchniowych

Permeability				Selection procedure for rainwater management system	
Class	Permeability	k_f from	k_f to	Low area availability ⁽¹⁾	High area availability ⁽²⁾
II	high	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	 Swale infiltration	 Swale infiltration 10 : 1
II	medium	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	 Swale-trench infiltration without discharge	 Swale infiltration 6 : 1
III	moderate	$2 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-7}$	 Swale-trench infiltration with partly throttled discharge	 Swale infiltration 4 : 1
IV	low	$7 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-7}$	 Swale-trench infiltration with throttled discharge ⁽³⁾	 Swale infiltration 2 : 1

(1) Stosunek połączonego obszaru uszczelnionego do obszaru infiltracji wynosi 10:1

(2) Stosunek połączonego obszaru uszczelnionego do obszaru infiltracji jak podano

(Zródło: Adaptacja z Londong i Nothgnagel, 1999)

(3) Wartość k_f bez dolnej granicy



Ogólna charakterystyka

- Infiltracja pozwala na powolne przenikanie wody deszczowej do podziemia przez wierzchnią warstwę gleby pokrytą roślinnością
- Znacznie ogranicza dostęp zanieczyszczeń do wód powierzchniowych
- Przyczynia się do zasilania wód gruntowych
- Woda deszczowa jest oczyszczana podczas infiltracji przez górną warstwę gleby za pomocą kilku procesów, takich jak adsorpcja, wytrącanie, degradacja mikrobiologiczna i filtracja, zanim przedostanie się do wód gruntowych
- Najbardziej odpowiednia dla obszarów, gdzie spływ jest stosunkowo mało zanieczyszczony
- W procesie planowania należy uwzględnić spadek tempa infiltracji z upływem czasu w wyniku utwardzania się gleby



Charakterystyka ogólna (2)

- Warunki wód gruntowych i rodzaje gleb mogą stanowić czynniki ograniczające, zwłaszcza w przypadku wysokiego poziomu wód gruntowych i występowania gleb gliniastych o niskiej przepuszczalności
- Zaleca się, aby odległość od wód gruntowych wynosiła co najmniej 1 - 1,5 m, tak aby filtracja wody opadowej następowała przed dotarciem do wód gruntowych
- Zaleca się zachowanie odległości od budynków co najmniej 6 m w celu uniknięcia wpływu na fundamenty
- Zazwyczaj na całym obwodzie stosuje się geowłókninę lub inną warstwę filtracyjną, którą należy umieścić na głębokości 15 - 30 cm w celu przechwycenia osadów



Wybór technologii

Istnieje kilka technologii infiltracji wody opadowej, które można stosować indywidualnie lub w połączeniu z innymi technikami.

Na wybór technologii w dużej mierze wpływ mają:

- Topografia terenu
- Przepuszczalność gleby
- Bliskość zwierciadła wód gruntowych
- Dostępność przestrzeni



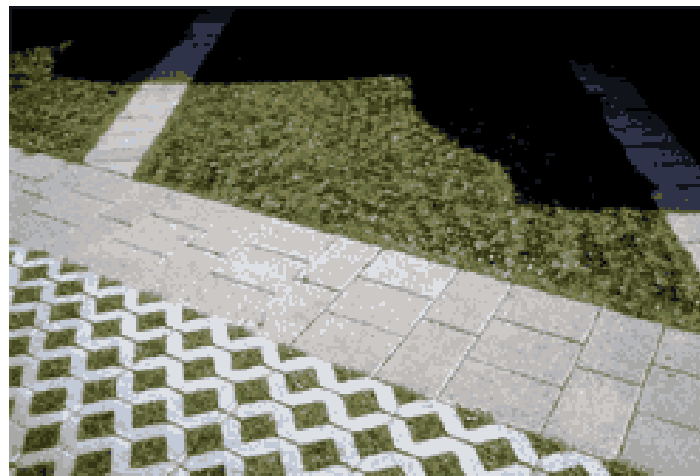
Przepuszczalność gleby

- Głównym czynnikiem determinującym czy w danym miejscu można zastosować infiltrację jest przepuszczalność gleby, która jednocześnie wpływa na wybór odpowiedniej technologii
- Przepuszczalność gleby jest określana jako **współczynnik filtracji k_f**
- Technicznie istotny zakres k_f dla infiltracji wody deszczowej wynosi od **1×10^{-3} (86 m/d)** do zaledwie **1×10^{-6} m/s (86 mm/d)**

Na przykład, przy wartościach k_f większych niż 10^{-3} , woda opadowa ulega infiltracji w warstwie wierzchniej gleby bez jej dostatecznego oczyszczenia w procesach fizycznych/chemicznych i biologicznych. Przy wartościach k_f mniejszych niż 10^{-6} , woda deszczowa gromadzi się w glebie i sphywa bardzo powoli.



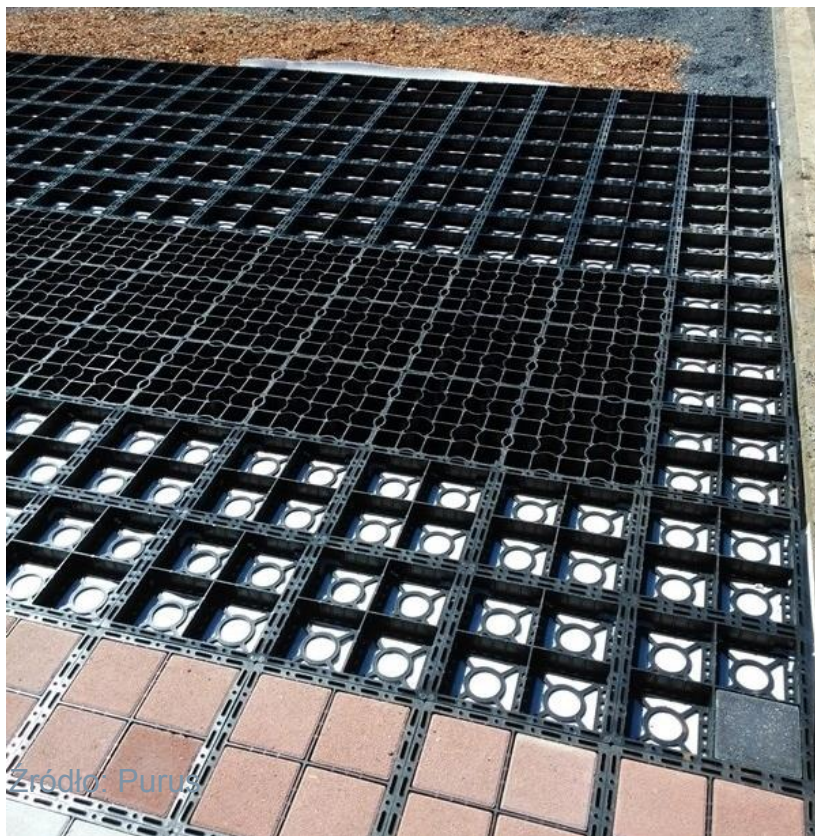
3.1 Przepuszczalne chodniki (powierzchnie przepuszczalne/porowate)



(Źródło: Sieker)



Nieuszczelniony chodnik



Połączenie z brukiem lub roślinnością



Przepuszczalne chodniki

Permeable Pavers



Permeable Concrete



Permeable Asphalt



(Źródło: USGS Wisconsin Water Science Center)



Przepuszczalne chodniki

- Wody burzowe infiltrują do podłoża przez przepuszczalną warstwę chodnika wykonaną z porowatych bloków betonowych, kruszonych kamieni, porowatego asfaltu lub bloczków z trawy i betonu
- W zależności od warunków gruntowych, woda może infiltrować bezpośrednio do podglebia lub być przechowywana (retencjonowana) w podziemnym rezerwuarze (np. z pokruszonej warstwy kamienia) zanim powoli wsiąknie w ziemię
- Jeśli infiltracja nie jest możliwa, można zastosować nieprzepuszczalną membranę z przelewem, aby na chodniku nie zalegała woda
- Obszary zastosowań: parkingi, chodniki, ulice dla ruchu lekkiego

Priorytetem jest wymiana (odszczelnienie) szczelnych powierzchni oraz uwzględnienie problemu uszczelniania na obszarach miejskich podczas planowania nowych konstrukcji !



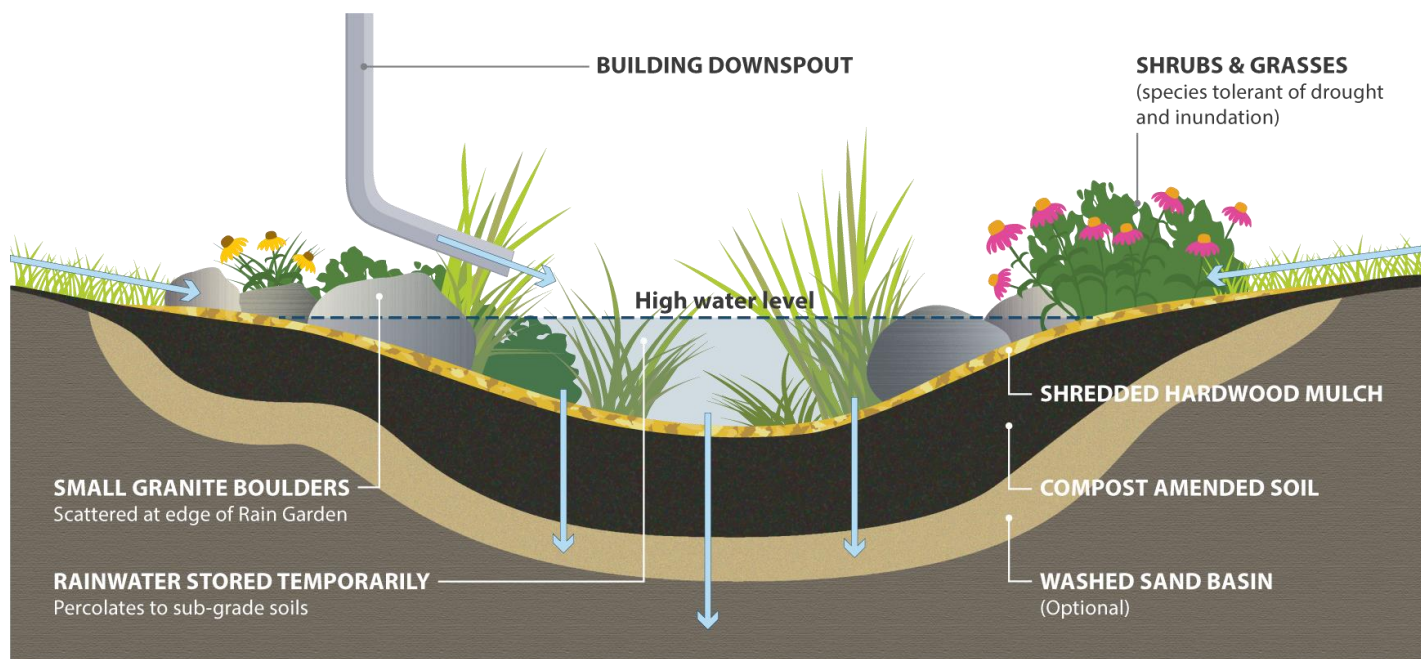
3.2 Ogrody deszczowe



(Źródło: <https://www.surfrider.org/coastal-blog/entry/cape-fear-chapter-installs-york-residential-rain-garden-in-north-carolina>)



Przekrój poprzeczny przez ogród deszczowy



(Źródło: Urząd Ochrony Miasta i Regionu Toronto; <https://trca.ca/news/complete-guide-building-maintaining-rain-garden/>)



Ogrody deszczowe

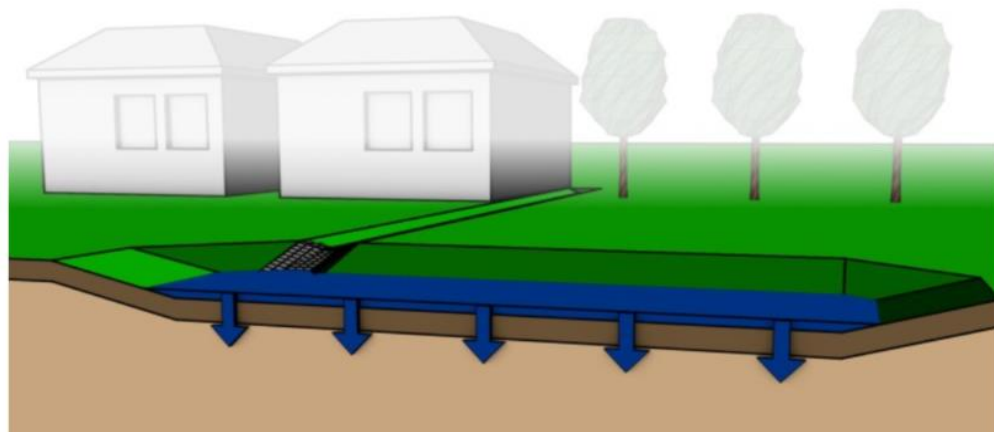
- Elementy krajobrazu przeznaczone do zbierania spływów z nieprzepuszczalnych powierzchni, takich jak dachy, chodniki i parkingi, zapewniające ich infiltrację do gruntu
- Strategicznie rozmieszczone z lekkim zagłębieniem w celu tymczasowego zebrania spływu, który powoli infiltruje do warstwy gleby znajdującej się pod spodem
- Wykorzystują gleby techniczne lub mieszane składające się z mieszanki piasku, warstwy wierzchniej i kompostu w celu gromadzenia i infiltracji spływu
- Ogrody deszczowe są obsadzone drzewami, krzewami i bylinami przed wyłożeniem warstwy ściółki
- Prawidłowo skonstruowane ogrody deszczowe umożliwiają przelewanie się wody podczas dużych opadów i utrzymanie stojącej wody nie dłużej niż 48 godzin
- Są źródłem pożywienia i siedliskiem dla dzikich zwierząt
- Tani środek wymagający regularnej konserwacji



3.3 Muldy chłonne z roślinnością



Muldy chłonne z nasadzeniami w Rummelsburger Bucht, Berlin (Zdjęcie: Sieker)



Schemat muldy chłonnej: z dopływem, nadziemną przestrzenią retencyjną i infiltracją (Źródło: Sieker)



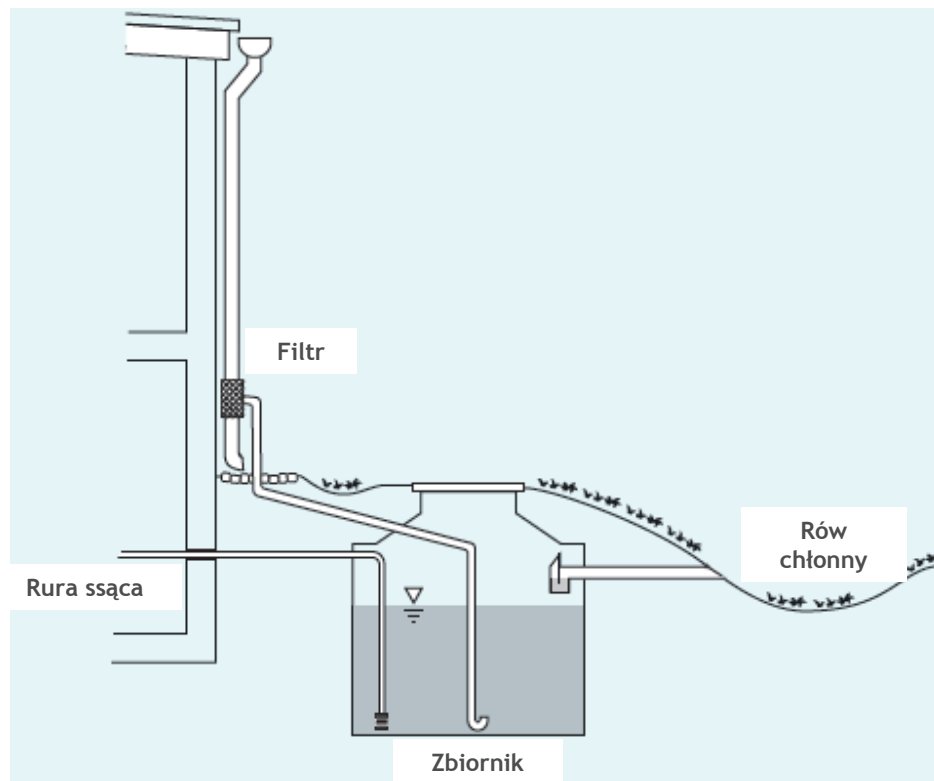
Muldy chłonne z roślinnością



(Źródło: Sieker)



Zbiórka wody opadowej w połączeniu z rowem chłonnym



(Źródło: fbr)



Muldy chłonne z roślinnością

- Długie, płytkie i łagodnie nachylone kanały porośnięte roślinnością, które zapewniają tymczasowe magazynowanie wody deszczowej
- Woda deszczowa przenika do gruntu w ciągu kilku dni (max. 72 h)
- Ograniczają szczytowy przepływ wód burzowych do wód przyjmujących
- Zwiększają sedimentację, rozkład mikrobiologicznego i filtrację zanieczyszczeń
- Zapewniają ewapotranspirację
- Wymagają mniej przestrzeni i mniejszej przepuszczalności gleby w porównaniu z infiltracją powierzchniową
- Łatwa konstrukcja i tania technologia
- Zapewniają efektywny drenaż chodników, autostrad, parkingów, fundamentów budynków i innych brukowanych obszarów



3.4 Niecki filtracyjne



(Źródło: https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/BMPs_for_stormwater_infiltration)



(Źródło: Schueler, 1987)



Niecki filtracyjne

- Obsadzone zielenią, naturalne lub zbudowane wgłębienia, które tymczasowo magazynują spływ wody i pozwalają na jej powolną infiltrację do gruntu
- Wymagają dużej przestrzeni
- Redukują przepływy szczytowe
- Promują filtrację zanieczyszczeń i rozkład mikrobiologiczny w podglebiu
- Zazwyczaj suche, z wyjątkiem okresów silnych opadów deszczu
- Prosta i ekonomiczna technologia



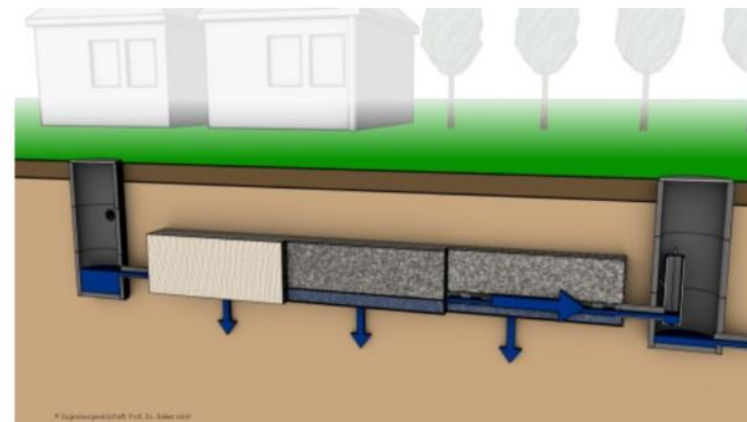
3.5 Rowy infiltracyjne



Widok dna studni chłonnej
(Zdjęcie: Sieker)



Rów infiltracyjny z materiałem
wypełniającym (Zdjęcie: Sieker)



Schemat rowu infiltracyjnego z komorą
sedymencyjną po stronie dopływu i odpływem
dławionym (Źródło: Sieker)



Rowy infiltracyjne



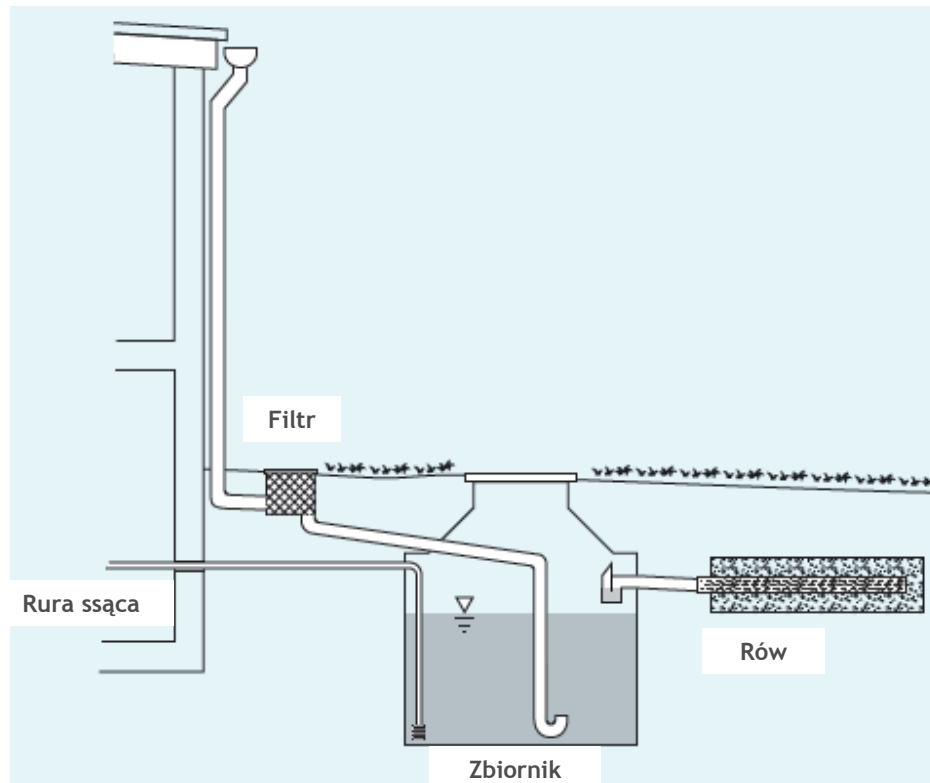
(Źródło: <https://sustainablestormwater.org/2007/05/23/infiltration-trenches/>)



(Źródło: Minnesota Stormwater Manual)



Zbiórka wody opadowej połączona z rowem infiltracyjnym



(Źródło: fbr)



Rów infiltracyjny

- Płytki, wykopany rów zasypany bardzo porowatym materiałem, takim jak żwir lub elementy syntetyczne, pozwalający na tymczasowe magazynowanie spływu w pustych przestrzeniach porowatego materiału
- Woda jest odprowadzana poprzez stopniową infiltrację do gruntu
- Brak oczyszczania przez żywą warstwę gleby, dlatego nadaje się wyłącznie do infiltracji mało zanieczyszczonej wody deszczowej
- Ograniczone do stosunkowo małych obszarów zlewni (zwykle w połączeniu z innymi środkami)
- Tkanina filtracyjna (geowłóknina) jest zazwyczaj stosowana do ochrony otaczającego gruntu
- Długowieczność jest zwiększona poprzez zastosowanie taśmy filtracyjnej, wpustu lub wanny spustowej w celu usunięcia nadmiaru substancji stałych na wlocie
- Na terenie nie należy sadzić żadnych drzew, a przestrzeń nie powinna być intensywnie użytkowana
- Tradycyjnie spotykane w przydomowych ogródkach i wzdłuż dróg, które przyjmują spływy z nieprzepuszczalnych powierzchni, takich jak dachy i drogi



Wysoki potencjał zatykania bez skutecznego podczyszczania

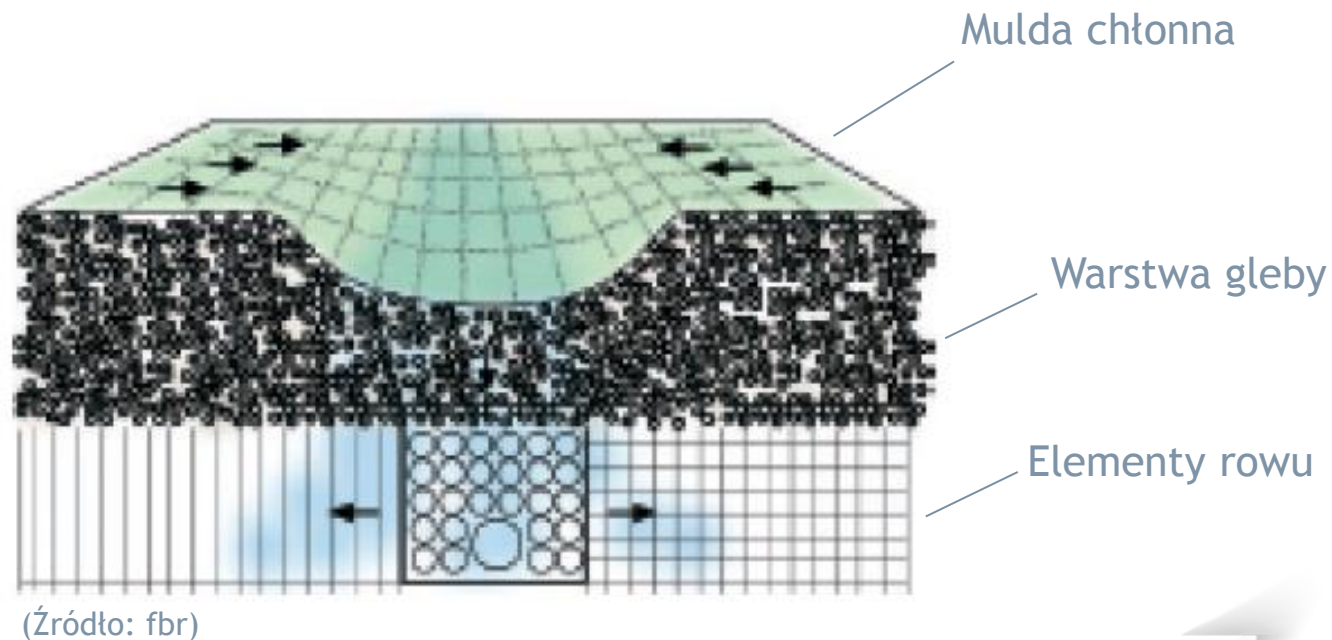
3.6 System mieszany mulda chłonna+rów infiltracyjny



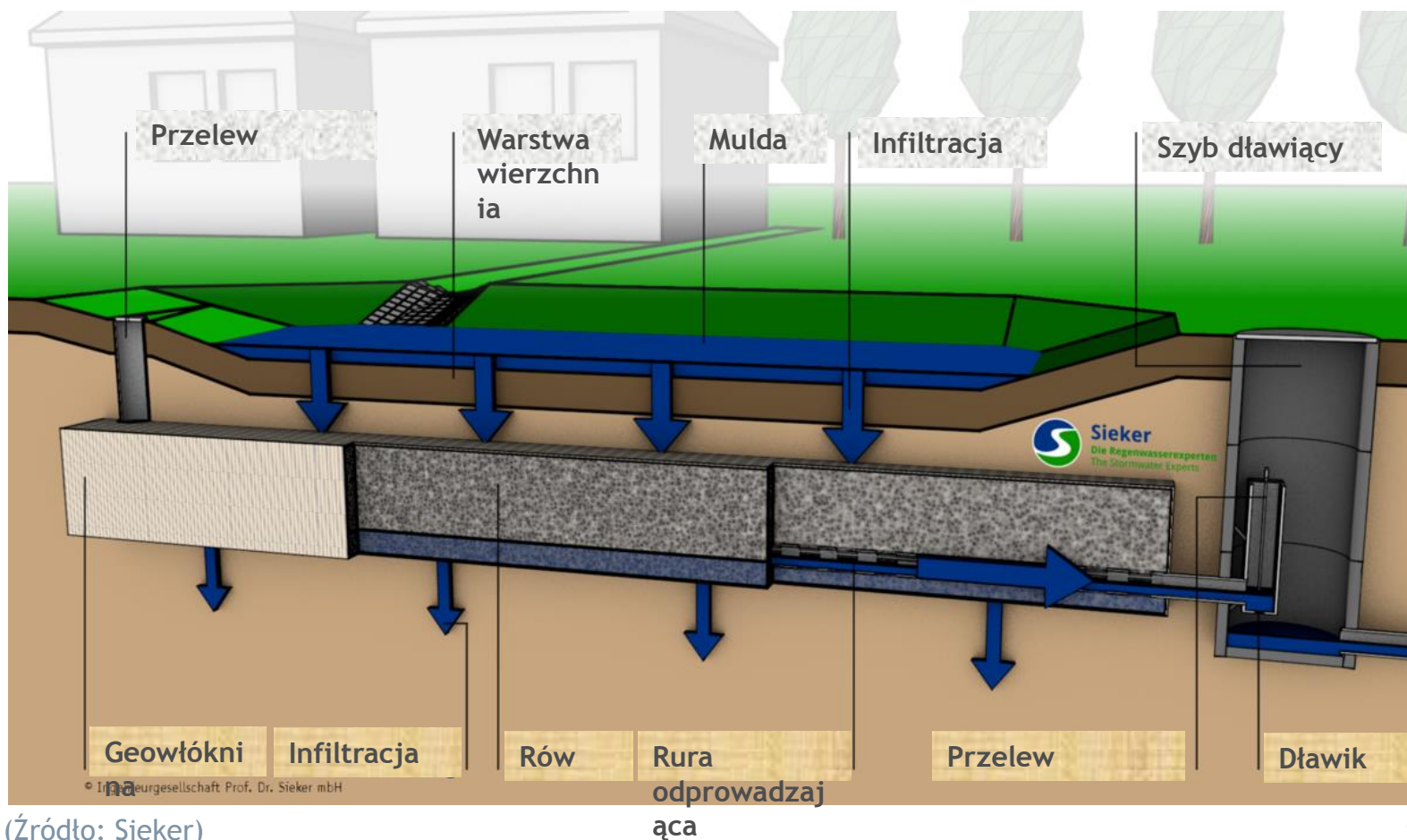
(Źródło: Sieker)



Przekrój poprzeczny przez system mieszany



Przekrój poprzeczny przez system mieszany



(Źródło: Sieker)



Elementy systemu mieszanego



(Źródło: Sieker)



Materiał wypełniający do systemów mieszanych



(Źródło: ENREGIS)



System mieszany mulda chłonna + rów infiltracyjny

- Połączenie retencji powierzchniowej i właściwości czyszczących muldy chłonnej oraz podziemnej rowu
- Zaprojektowane i umiejscowione w taki sposób, aby umożliwić jak największą infiltrację spływu wód burzowych. Jest to możliwe dzięki krótkoterminowemu magazynowaniu w porośniętej roślinami muldzie chłonnej oraz długoterminowym magazynowaniu w rowie infiltracyjnym
- Umożliwa przepływ wody przez górną warstwę gleby muldy chłonnej do przepuszczalnej strefy rowu infiltracyjnego, gdzie woda jest rozsączana do głębszych warstw, albo spływa w sposób regulowany do rzeki lub systemu drenażowego
- Zazwyczaj stosowane na glebach o niskiej przepuszczalności
- Zapewnia dobre możliwości czyszczenia i wymaga mniej przestrzeni niż system infiltracji powierzchniowej czy za pomocą rowu konturowego



Inne systemy łączone



Mulda chłonna i rów infiltracyjny w Birkenstein, Brandenburgia (Zdjęcie: Sieker)

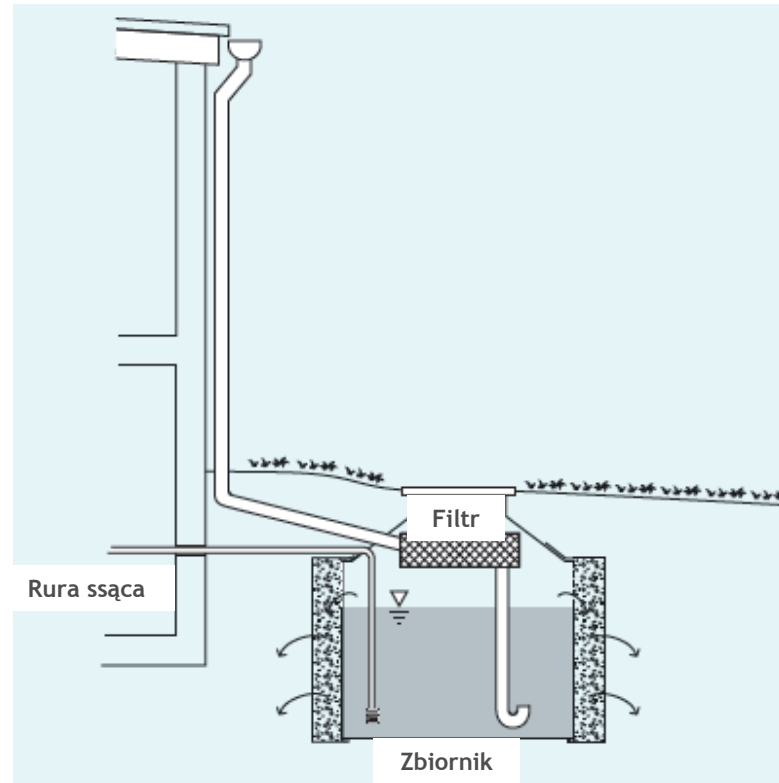
Połączenie nawadniania, parowania i infiltracji



Schemat rowu infiltracyjnego z drzewem (Źródło: Sieker)



Zbieranie wody opadowej w połączeniu ze zbiornikiem infiltracyjnym



(Źródło: fbr)



Korzyści wynikające z decentralizacji gospodarki wód opadowych

- Ograniczenie skutków powodzi poprzez retencję, magazynowanie i ochronę gleby
- Zwiększenie zasilania wód gruntowych poprzez sztuczną infiltrację
- Odciążenie ogólnospławnych systemów kanalizacyjnych i oczyszczalni ścieków
- Zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska/zniszczeń wynikających z przepełnienia kanałów ściekowych
- Poprawa mikroklimatu i promowanie chłodzenia ewaporacyjnego
- Promowanie żywotności obszarów miejskich
- Zwiększenie wydajności rolnictwa i tym samym zwiększenie bezpieczeństwa żywnościowego
- Zwiększenie dostępu do wody pitnej i użytkowej
- Większa odporność i samowystarczalność społeczności i środowiska naturalnego
- Zapewnienie zintegrowanego podejścia do problemów związanych z projektowaniem systemów wód powierzchniowych oraz uwzględnienie w równym stopniu aspektów jakościowych i ilościowych



Jaka technologia najlepiej nadaje się do mojego projektu?

- Zazwyczaj nie jest to pojedynczy środek, ale połączenie kilku różnych rozwiązań w celu uzyskania najlepszych wyników w danych warunkach
- W tym miejscu przydatna jest analiza ekonomiczna, która oprócz kosztów uwzględnia także cele niefinansowe. Ocena efektywności ekonomicznej nie powinna opierać się wyłącznie na wielkości inwestycji, lecz powinna również obejmować przyszłe koszty operacyjne i poczynione oszczędności.

Patrz Moduł 5: Narzędzie do podejmowania decyzji

