

Agnieszka STEC¹
Józef DZIOPAK²

WODA DESZCZOWA W ARCHITEKTURZE KRAJOBRAZU NOWOCZESNYCH MIAST

Rozwój obszarów zurbanizowanych wpływa niekorzystnie na środowisko naturalne, w tym na cykl hydrologiczny, który w wyniku uszczelniania powierzchni terenu zostaje zaburzony. Na terenach nie przekształconych przez człowieka istnieje równowaga pomiędzy zjawiskami opadu, spływu, wsiąkania i parowania wody deszczowej. W wyniku działalności antropogenicznej zmianie ulegają warunki powierzchniowego spływu wód, powodujący wzrost wysokości i intensywności odpływu ze zlewni. Stwarza to liczne problemy, których rozwiązanie wymaga podjęcia wspólnych działań sektora gospodarki wodno-ściekowej, architektury i urbanistyki oraz gospodarki przestrzennej. Współczesne tendencje w projektowaniu przestrzeni miejskiej coraz częściej opierają się na proekologicznych nurtach, takich jak Eco-Urbanism i Green Urbanism, według których miasta powinny być ekologiczne, przyjazne użytkownikom i właściwie korzystające z zasobów naturalnych. Biorąc powyższe pod uwagę zarządzanie wodami opadowymi w miastach powinno być realizowane zgodnie z koncepcją rozwoju zrównoważonego. W ramach tej idei stosowane są rozwiązania techniczne pozwalające m.in. zwiększyć retencję i infiltrację wód opadowych na terenach zurbanizowanych. W artykule zostały scharakteryzowane takie obiekty i urządzenia, jak niecki i zbiorniki infiltracyjne, ogrody deszczowe i dachy zielone, które nie tylko są funkcjonalne, ale także posiadają wysokie walory estetyczne i wprowadzają zieleni do szarych i betonowych przestrzeni miejskich wzbogacając architekturę krajobrazu. Przedstawiono ich zastosowania w zabudowie miejskiej, które pokazały, że możliwe jest zintegrowane podejście do zarządzania wodami opadowymi i planowania przestrzennego. Rozwiązania te przyczyniają się do ochrony zasobów wodnych, uatrakcyjnijają krajobraz miejski, poprawiają mikroklimat i wpływają na poprawę ładu przestrzennego i jakości życia w miastach.

Słowa kluczowe: retencja wód opadowych, infiltracja wód do gruntu, dachy zielone, rozwój zrównoważony, przestrzeń miejska

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Agnieszka Stec, Politechnika Rzeszowska, Katedra Infrastruktury i Gospodarki Wodnej, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; e-mail: stec_aga@prz.edu.pl

² Józef Dziopak, Politechnika Rzeszowska, Katedra Infrastruktury i Gospodarki Wodnej, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; e-mail: jdziopak@prz.edu.pl

1. Wprowadzenie

Obecnie prawie 54% ludności świata mieszka w terenach zurbanizowanych, a przewiduje się, że procent ten wzrośnie do 66% w 2050 roku [1]. Najbardziej zurbanizowane regiony na świecie to Stany Zjednoczone Ameryki Północnej (82%), Ameryka Południowa (80%) i Europa (73%). Postępująca urbanizacja stwarza nowe wyzwania w zakresie zapewnienia szeroko rozumianego bezpieczeństwa mieszkańców i odpowiedniego standardu ich życia. Wzrost migracji ludności do miast wymusza konieczność ich rozbudowy poprzez zwiększanie ich zasięgu terytorialnego lub intensyfikację zabudowy już istniejącej. Wpływa to na zwiększenie stopnia uszczelnienia powierzchni terenu, który dotychczas był słabo zagospodarowany i pokryty roślinnością. Zmiana sposobu zagospodarowania zlewni powoduje zaburzenia w naturalnym cyklu hydrologicznym, w którym istnieje równowaga ilościowa pomiędzy opadem a procesami spływu, wsiąkania i parowania wód opadowych. Wzrost uszczelnienia powierzchni terenu na skutek urbanizacji przyczynia się, poprzez zmniejszenie współczynnika szorstkości podłoża i skrócenie czasu koncentracji spływu, do zmiany warunków odpływu wód deszczowych ze zlewni.

Ingerencja człowieka w naturalny bilans wodny niesie za sobą wiele niekorzystnych skutków, zarówno dla środowiska przyrodniczego, jak i funkcjonowania infrastruktury technicznej miast. Wśród nich najważniejsze to: nadmierne przesuszenie gruntów, obniżenie poziomu wód gruntowych, wezbrania w ciekach będących odbiornikami ścieków deszczowych, występowanie tzw. powodzi miejskich oraz przeciążenie hydrauliczne sieci kanalizacyjnych i oczyszczalni ścieków [2-8]. Miasta stanowią również główne źródło zamieszczeń wód powierzchniowych i podziemnych. Rozwiązanie tych problemów nie będzie możliwe bez zmiany paradygmatu zarządzania zasobami wodnymi, które są podstawą funkcjonowania oraz rozwoju społecznego i gospodarczego obszarów miejskich. Znalazło to odzwierciedlenie między innymi w zapisach Międzynarodowego Programu Hydrologicznego UNESCO na lata 2014-2021, którego jeden z priorytetowych tematów pt. *Woda i osiedla ludzkie przyszłości* odnosi się bezpośrednio do miast [9]. Wody deszczowe w terenach zurbanizowanych nie powinny być postrzegane tylko i wyłącznie jako źródło potencjalnych zagrożeń, ale zwłaszcza jako cenny substytut wody i atrakcyjny element krajobrazu. Współczesne podejście do planowania i zarządzania miastem opiera się na idei zrównoważonego rozwoju, której głównym celem jest zachowanie odpowiednich relacji pomiędzy rozwojem gospodarczym, jakością życia i dbałością o środowisko przyrodnicze. Dlatego też, gospodarowanie wodą zgodnie z koncepcją rozwoju zrównoważonego dzięki m.in., ograniczeniu pojawiania się zagrożeń powodziowych oraz poprawie jakości i ilości dostępnych zasobów wód powierzchniowych i podziemnych przyniesie wiele wymiernych korzyści dla mieszkańców miast. Pełne wykorzystanie usług ekosyste-

mów wodnych umożliwi stworzenie synergii w wielofunkcyjnym zagospodarowaniu przestrzeni miejskiej [10].

Biorąc powyższe pod uwagę w artykule przedstawiono rozwiązania techniczne stosowane w zrównoważonej gospodarce wodami opadowymi, które nie tylko spełniają swoje podstawowe zadania, ale także stanowią ciekawy element miejskiego krajobrazu i wpływają na poprawę jakości życia w mieście.

2. Zrównoważona gospodarka wodami deszczowymi

W Polsce najczęściej stosowanym rozwiązaniem gospodarki wodami opadowymi jest ich zbieranie i odprowadzanie systemem kanalizacji deszczowej lub ogólnospławnej do odbiornika. Taki model zarządzania wodami deszczowymi nie jest jednak kompatybilny ze standardami nowoczesnej i przyjaznej dla środowiska gospodarki wodno-ściekowej. Według wytycznych Ramowej Dyrektywy Wodnej Unii Europejskiej wody deszczowe powinny być zagospodarowane zgodnie z koncepcją zrównoważonego rozwoju [12]. Głównym celem działań w tym zakresie jest zatrzymanie i zagospodarowanie jak największej ilości wód opadowych na terenie, gdzie opad wystąpił oraz ograniczanie spływów powierzchniowych do rzek i jezior. Znajdują tutaj zastosowanie różne obiekty i urządzenia do retencji i infiltracji wód do gruntu, które zaliczane są do zrównoważonych miejskich systemów odwadniających (z ang. Sustainable Urban Drainage Systems – SUDS) [13], które mogą stanowić systemy rozproszonej gospodarki wodami opadowymi lub systemy zbiorcze. Systemy rozproszone to najczęściej indywidualne urządzenia stosowane na poszczególnych działkach inwestorów. Zaliczyć do nich można następujące rozwiązania [14-16]:

- powierzchnie nieuszczelnione i perforowane,
- studnie i niecki chłonne,
- rigole i drenaże rozsączające,
- skrzynki i komory drenażowe,
- ogrody deszczowe,
- dachy zielone i popiętrzone,
- instalacje do gospodarczego wykorzystania wód opadowych.

Z kolei, systemy zbiorcze to rozwiązania, które lokalizowane są na sieciach kanalizacyjnych lub prowadzona jest na nich gospodarka wodami opadowymi obejmująca większe obszary, np. osiedla mieszkaniowe. W tym przypadku stosowane są najczęściej [17-19]:

- zbiorniki retencyjne,
- zbiorniki retencyjno-filtracyjne,
- zbiorniki i niecki chłonne.

Zrównoważone gospodarowanie wodami opadowymi na obszarach miejskich przynosi wiele korzyści społeczno-gospodarczych, hydraulicznych oraz środowiskowych (tab. 1).

Tabela 1. Korzyści wynikające ze stosowania zrównoważonej gospodarki wodami opadowymi (na podstawie: [10, 16])

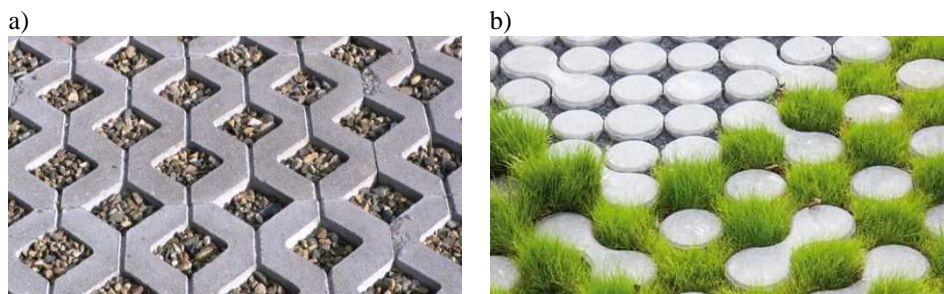
Table 1. The benefits of using sustainable rainwater management (based on: [10, 16])

Korzyści społeczno-gospodarcze
Ograniczenie strat materialnych powstałych w czasie podtopień terenów i budynków
Zmniejszenie deficytów wody pitnej
Obniżenie kosztów utrzymania zieleni miejskiej
Redukcja kosztów przeznaczonych na rozbudowę i modernizację systemów kanalizacyjnych
Poprawa atrakcyjności terenów miejskich
Wytworzenie przestrzeni przyjaznej człowiekowi
Wzrost świadomości ekologicznej społeczeństwa
Korzyści hydrauliczne
Zmniejszenie ilości ścieków odprowadzanych do sieci kanalizacyjnych
Zmniejszenie częstości występowania przeciążenia hydraulicznego sieci kanalizacyjnych i obiektów z nimi współdziałających
Poprawa funkcjonowania oczyszczalni ścieków
Korzyści środowiskowe
Redukcja zanieczyszczeń wód powierzchniowych
Zwiększenie dostępności zasobów wodnych
Ograniczenie wezbrań w ciekach
Poprawa warunków gruntowo-wodnych
Zwiększenie bioróżnorodności na terenie miast i sprzyjanie tworzeniu korytarzy ekologicznych
Poprawa miejskiego mikroklimatu

3. Rozwiązania techniczne stosowane w zrównoważonej gospodarce wodami opadowymi

Jednym z najprostszych i ekonomicznie uzasadnionych sposobów zagospodarowania wód opadowych jest ich powierzchniowe rozsączenie do gruntu przez naturalne lub perforowane nawierzchnie infiltracyjne oraz urządzenia, które umożliwiają również ich okresowe magazynowanie.

Nawierzchnie infiltracyjne, ze względu na ograniczoną zdolność retencyjną, znajdują zastosowanie głównie do rozsączenia niewielkich ilości wód opadowych. Jeżeli teren, na którym realizowany będzie proces infiltracji wód do gruntu pełni również funkcję ciągów komunikacji pieszej i samochodowej, parkingów czy podwórz, jego wierzchnia warstwa pokrywana jest okładzinami perforowanymi. Wykonane są najczęściej w formie płyt betonowych, bruku betonowego lub kamiennego, a także okładzin z tworzyw sztucznych. Otwory perforacyjne wypełniane są materiałem filtracyjnym (rys. 1a) lub gruntem obsianym trawą (rys. 1b). Ciekawym i estetycznym rozwiązaniem nawierzchni infiltracyjnych są lekkie okładziny perforowane wykonane z tworzyw sztucznych (rys. 2). Dzięki zastosowaniu kraty trawnikowej podłoże jest na tyle utwardzone, że możliwy jest na nim ruch pojazdów z zachowaniem możliwości swobodnego przesiąkania wody do gruntu.



Rys. 1. Okładzina perforowana z wypełnieniem otworów a) materiałem filtracyjnym b) gruntem obsianym trawą

Fig. 1. Okładzina perforowana z wypełnieniem otworów a) materiałem filtracyjnym b) gruntem obsianym trawą

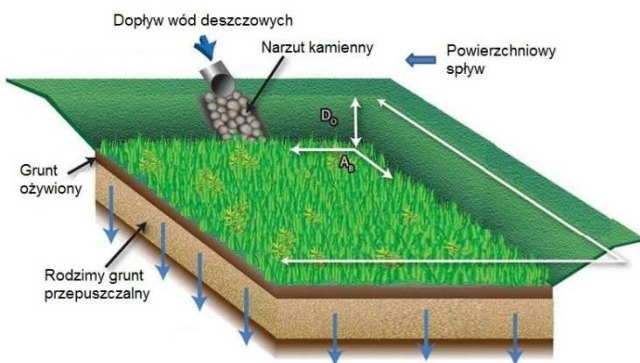


Rys. 2. Nawierzchnia infiltracyjna wykonana z okładzin z tworzywa sztucznego [20]

Fig. 2. Infiltration surface made of plastic grates [20]

Wśród powierzchniowych urządzeń, w których oprócz procesu wsiąkania wód do gruntu realizowany jest także proces ich okresowego retencjonowania, wyróżnić można rowy chłonne, niecki i zbiorniki infiltracyjne.

Niecka infiltracyjna to urządzenie w postaci zagłębienia terenowego, którego powierzchnia obsiewana jest trawą. Zabieg ten stabilizuje grunt, intensyfikuje proces oczyszczania wody opadowej i korzystnie wpływa na estetykę urządzenia. Schemat niecki infiltracyjnej (rys. 3.). Ze względu na to, że niecki infiltracyjne stosowane są głównie na terenach mieszkalnych a wykonywane są najczęściej jako obiekty pozbawione ogrodzenia zaleca się, aby poziom napelnienia w nich nie przekraczał 30 cm. Skarpy niecek powinny być kształtowane w sposób nieregularny, z nachyleniem nie mniejszym niż 1:2, dzięki czemu możliwe będzie łatwiejsze wkomponowanie takich obiektów w otaczający teren. Umiejętnie zaprojektowana niecka infiltracyjna może stanowić efektowny i atrakcyjny element ogrodu, parku lub terenu rekreacyjnego. Przykład wykonania niecki infiltracyjnej na terenie osiedla mieszkaniowego (rys. 4.), zaś na obszarze parku (rys. 5.).



Rys. 3. Schemat ideowy niecki infiltracyjnej (na podstawie: [21])

Fig. 3. Scheme of infiltration basin (based on: [21])



Rys. 4. Przykładowe rozwiązanie niecki infiltracyjnej usytuowanej na obszarze osiedla mieszkaniowego

Fig. 4. An example solution of infiltration basin located in the area of the housing estate

Podobne rozwiązanie stanowią **niecki bioinfiltracyjne**, które nazywane są także ziemnymi ogrodami deszczowymi. Jednak w tym przypadku ich wnętrze wypełnione jest materiałem o wysokim współczynniku filtracji, którego wierzchnia warstwa obsadzana jest roślinnością (rys. 5.). W urządzeniu tym wody deszczowe mogą być przetrzymywane maksymalnie przez dwa dni. Zadaniem roślinności jest spowolnienie odpływu, intensyfikacja procesu ewapotranspiracji oraz usuwanie zanieczyszczeń z dopływających wód opadowych. Choć ogród deszczowy przypomina zwykły ogród, sadzone są w nim szczególnie rośliny hydrofitowe. Ich korzenie bądź kłącza zatrzymują zanieczyszczenia

z pobranej przez siebie wody. Wypełnienie niecki stanowi mieszanka piasku (50-60%), torfu (20-30%) i gruntu rodzimego (20-30%) (rys. 6-7).

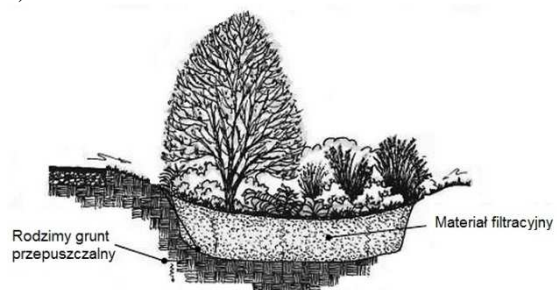


Rys. 5. Przykładowe rozwiązanie niecki infiltracyjnej zlokalizowanej na terenie parku [22]

Fig. 5. An example solution of infiltration basin located in the area of the recreational park [22]

W przypadku większych dopływów wód deszczowych stosowane są **zbiorniki infiltracyjne**, które podobnie jak niecki wykonywane są w formie odpowiednio ukształtowanego zagłębienia terenowego. Powierzchnia zbiornika obsiana jest najczęściej trawą, dzięki czemu w trakcie magazynowania i wsiąkania wody oprócz sedymentacji i filtracji zachodzą także procesy biologicznego oczyszczania wód opadowych. W porównaniu do niecki, zbiornik infiltracyjny jest obiektem bardziej rozbudowanym i wyposażonym w szereg urządzeń wspomagających jego prawidłowe funkcjonowanie. Ze względów estetycznych zaleca się, aby brzegi i dno zbiornika kształtować w sposób naturalny (rys. 8-9).

a)



b)



Rys. 6. Przykładowe rozwiązanie niecki bioinfiltracyjnej a) schemat zaprojektowanej niecki b) widok wykonanej niecki, na podstawie [21]

Fig. 6. An example solution of bioinfiltration basin a) basin scheme b) view of basin, based on [21]



Rys. 7. Niecka bioinfiltracyjna rozsączająca wody opadowe dopływające z terenu usługowego [23]

Fig. 7. Bioinfiltration basin infiltrating rain water from the service area [23]



Rys. 8. Zbiornik infiltracyjny zlokalizowany na terenie osiedla mieszkaniowego, na podstawie [21]

Fig. 8. Infiltration tank located in a housing estate, based on [21]

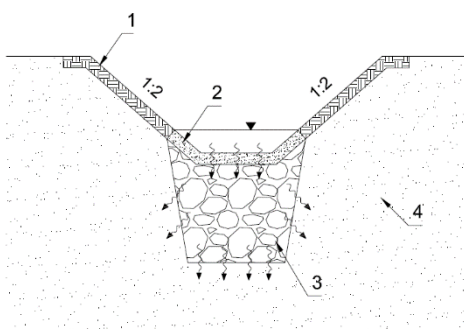


Rys. 9. Zbiornik infiltracyjny zlokalizowany na terenie parku rekreacyjnego, na podstawie [22]

Fig. 9. Infiltration tank located in a recreational park, based on [22]

Proces infiltracji wód opadowych odprowadzanych z powierzchni dróg o małym natężeniu ruchu drogowego lub parkingów realizowany jest w **rowach chłonnych**. Urządzenia te projektowane są w formie podłużnej niecki o przekroju trójkątnym bądź trapezowym lokalizowanej wzdłuż odwadnianego obiektu.

Skarpy rowów usypane są z humusu obsianego trawą, natomiast ich dno wykonane jest z warstwy torfu, pod którą znajduje się materiał o wysokim współczynniku filtracji (rys. 10.). Nachylenie skarp nie powinno być mniejsze od 1:2, zaś spadek podłużny rowu wynosi najczęściej od 0,1% do 3% [16]. Dno rowu infiltracyjnego może być również obsadzone roślinnością, co dodatkowo intensyfikuje procesy oczyszczania wód opadowych (rys. 11-12).



Rys. 10. Budowa rowu chłonnego

Fig. 10. Construction of the infiltration trench



Rys. 11. Przykładowe wykonanie rowu infiltracyjnego

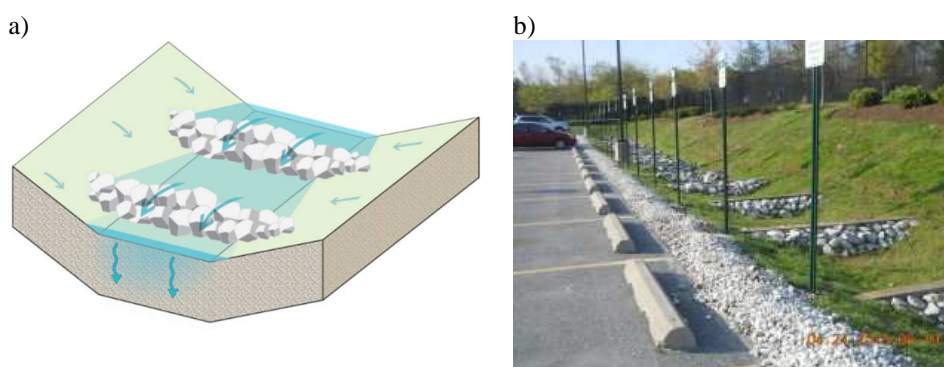
Fig. 11. An example solution of the infiltration trench



Rys. 12. Zastosowanie rowu chłonnego do odwodnienia a) chodnika i parkingu, b) jednocześnie dwóch dróg, na podstawie [24]

Fig. 12. Application of infiltration trench to drainage a) walkway and parking lot b) two Road, based on [24]

Innym rodzajem rowów infiltracyjnych jest rozwiązanie, w którym zastosowano poprzeczne przegrody uformowane w postaci narzutu kamiennego. Ich zadaniem jest spowolnienie przepływu wód deszczowych i intensyfikacja procesu wsiąkania wód do gruntu. System ten przeznaczony jest do zagospodarowania wód opadowych odprowadzanych z powierzchni parkingów lub dróg (rys. 13).



Rys. 13. Rów infiltracyjny z poprzecznymi przegrodami a) zasada działania b) przykład zastosowania, na podstawie [21]

Fig. 13. Infiltration trench with partitions a) idea of operation b) example of application, based on [21]

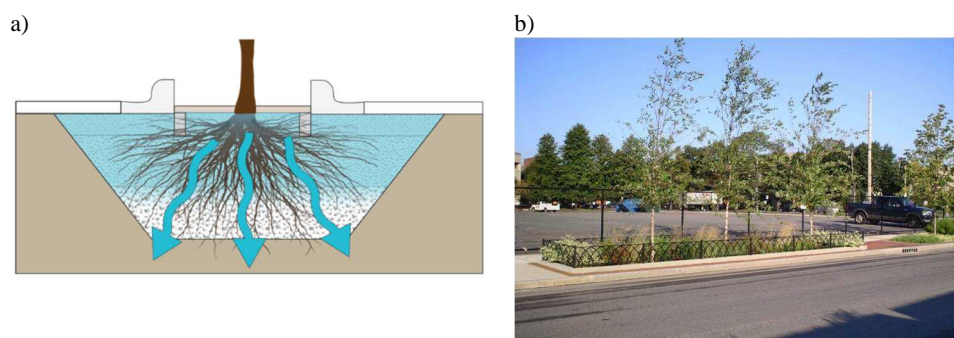
Do odwodnień powierzchni chodników i lokalnych dróg w miastach stosowane są również urządzenia charakteryzujące się niewielkim zagłębieniem, które wypełnione są gruntem o dobrym współczynniku filtracji. Wierzchnia warstwa wypełnienia obsadzana jest roślinnością, co wpływa na podniesienie walorów estetycznych tego rozwiązania oraz poprawia estetykę asfaltowych lub betonowych powierzchni przeznaczonych do ruchu komunikacyjnego. Wody opadowe rozprowadzane są równomiernie na długości całego urządzenia poprzez otwory wlotowe wykonane w jego obudowie (rys. 14).

Podobną funkcję pełnią tzw. **treetrenches**, które stanowią układ drzew połączonych ze sobą podziemną strukturą infiltracyjną. Część podziemna wykonana jest w formie rowu wyścielonego geowłókniną i wypełnionego materiałem strukturalnym umożliwiającym nie tylko stabilizację korzeni drzew, ale również przenikanie wody w głąb gruntu (rys. 15). Obszar wokół pni drzew może być dodatkowo obsadzony roślinnością zwiększającą powierzchnię retencji i parowanie wody. Gatunki drzew są starannie dobrane, tak aby mogły przetrwać zarówno warunki zalania, jak i susze.



Rys. 14. Przykład odwodnienia miejskich chodników [24]

Fig. 14. An example of walkways drainage [24]



Rys. 15. Treetrenches a) konstrukcja rowu b) przykładowe wykonanie [21]

Fig. 15. Tree trenches a) construction b) example of application [21]

Ważnym aspektem zapewniającym prawidłowe funkcjonowanie każdego obiektu budowlanego jest odwodnienie powierzchni jego dachu. W tym celu stosowane są najczęściej tradycyjne systemy rynnowe zewnętrzne bądź wewnętrzne odprowadzające wody opadowe do sieci kanalizacyjnej. Jednak chcąc dostosować te systemy do nowoczesnych standardów gospodarki wodami coraz częściej znajdują zastosowanie rozwiązania wykorzystujące procesy retencji

i infiltracji (rys. 16.). Wody opadowe z dachu budynku kierowane są najpierw na kamienne złoża spowalniające ich przepływ, a następnie poprzez otwór w obudowie złoża odprowadzane są do ogrodu deszczowego usytuowanego wzdłuż ściany budynku (rys. 16a). W przypadku intensywnych opadów deszczu nadmiar wody z tego ogrodu, poprzez kanał chodnikowy, przepływa do drugiego ogrodu deszczowego (rys. 16b). System taki prawidłowo spełnia swoje zadanie i jednocześnie stanowi ciekawy element miejskiego krajobrazu.



Rys. 16. Zagospodarowanie wód opadowych odprowadzanych z dachu budynku, na podstawie [24]

Fig. 16. Rainwater management drainage from the building roof, based on [24]

Wody opadowe, które spływają z powierzchni dachu budynku można również zagospodarować w **pojemnikowych ogrodach deszczowych**. W tym przypadku, obiekty takie lokalizowane są na wylocie z rynny. Ich zasada działania jest bardzo podobna do ziemnych ogrodów deszczowych, z tym że charakteryzują się znacznie mniejszymi rozmiarami. W pojemnikach z tworzywa sztucznego lub drewnianych skrzyniach na specjalnym podłożu filtracyjnym sadzone są rośliny hydrofitowe (rys. 17.). Podłoże ogrodu, dzięki odpowiednio dobranym warstwom piasku i żwiru, zatrzymuje zanieczyszczenia zawarte w wodzie. Proces usuwania zanieczyszczeń intensyfikowany jest dodatkowo przez roślinność.

Bardzo interesujące rozwiązanie pod względem estetycznym stanowią **dachy zielone**, nazywane są również eko-dachami lub żyjącymi dachami. Dzięki zastosowaniu do ich budowy wielu warstw o odpowiednich właściwościach

posiadają szereg zalet, do których należy zaliczyć: retencję wód opadowych [25-27], opóźnienie spływu wód opadowych [28-30], zmniejszenie szczytowej fali odpływu [31, 32], racjonalizację zużycia energii w budynku [33], redukcję hałasu [34], ograniczenie efektu miejskiej „wyspy ciepła” [35, 36] oraz obniżenie poziomu zanieczyszczeń w powietrzu [37, 38].



Rys. 17. Pojemnikowe ogrody deszczowe [39]

Fig. 17. Container rain garden [39]

Bardzo ważnym aspektem zastosowania dachów zielonych jest zwiększenie bioróżnorodności i poprawa mikroklimatu w gęsto zabudowanej przestrzeni miejskiej. Duże znaczenie roślinności w miastach zaczęło być doceniane dość niedawno. Dachy zielone postrzegane są zatem jako istotne elementy zieleni, wprowadzające nowe znaczenie w architekturze i urbanistyce. Wykorzystanie formy dachu zielonego nie jest ograniczone wysokością budynku, ponieważ to rozwiązanie może być stosowane zarówno w budynkach niskich, jak i wysokich. Wykonywane są najczęściej na dachach płaskich (rys. 18.), chociaż znane są również ich zastosowanie na stromej połaci dachu (rys. 19.).

Odpowiednie zagospodarowanie powierzchni dachu formą zieloną pozwala nie tylko uzyskać wymierne efekty w postaci retencji wód opadowych i zachowania komfortu cieplnego wewnątrz budynku, ale także umożliwia wytworzenie przestrzeni użytkowej sprzyjającej odpoczynkowi i rekreacji (rys. 20.).



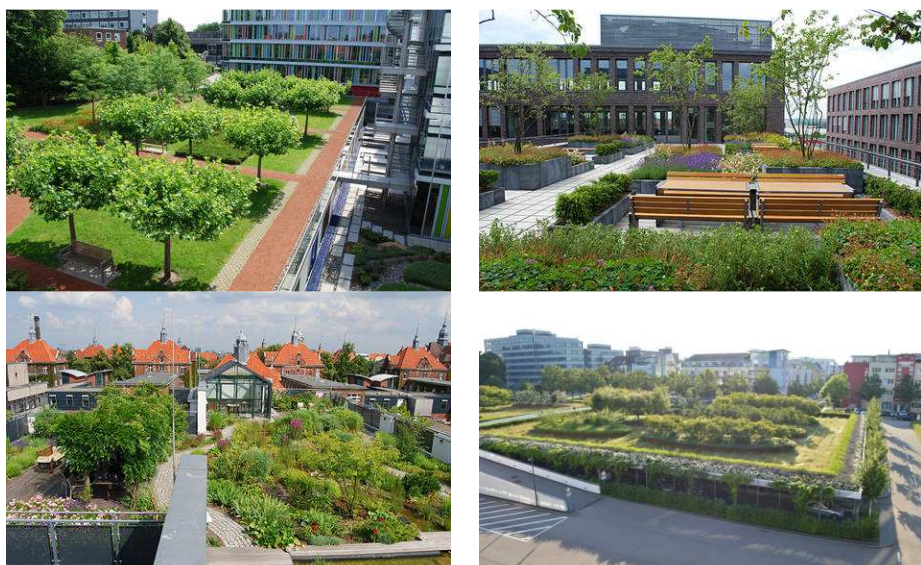
Rys. 18. Tradycyjny dach zielony, na podstawie [40]

Fig. 18. Traditionalgreenroofs, based on [40]



Rys. 19. Skośny dach zielony, na podstawie [40]

Fig. 19. Pitchedgreenroof, based on [40]



Rys. 20. Ogrodowe dachy zielone, na podstawie [40]

Fig. 20. Garden greenroofs, based on [40]

4. Podsumowanie

Obecne miasta charakteryzują się intensywnym rozwojem przestrzennym, który przyczynia się do odsunięcia i izolacji człowieka od środowiska naturalnego. Szybki rozwój budownictwa na przestrzeni ostatnich 20 lat obejmujący tworzenie głównie zatłoczonych betonowych osiedli mieszkaniowych, wielkopowierzchniowych obiektów handlowo-usługowych, wielostanowiskowych parkingów i infrastruktury drogowej spowodował wypieranie form zielonych z krajobrazu miasta. Taka zabudowa przestrzenna nie wpływa pozytywnie na komfort życia i odczucia estetyczne.

Alternatywą dla szarych betonowych krajobrazów miejskich stają się rozwiązania umożliwiające kreowanie zielonej i przyjaznej człowiekowi przestrzeni, która przybliży go do środowiska przyrodniczego. Przedstawione w artykule obiekty i urządzenia stosowane w zrównoważonej gospodarce wodami opadowymi pokazały, że możliwe jest połączenie funkcjonalności i względów estetycznych rozwiązań projektowanych na terenach zurbanizowanych. Zaprezentowane przykłady, takie jak niecki i zbiorniki infiltracyjne, ogrody deszczowe czy zielone dachy stanowią wartościowy architektoniczny akcent w postaci formy zielonej, który w ujęciu lokalnym nadaje miejscu indywidualnego charakteru, a w ujęciu globalnym przyczynia się do ochrony środowiska naturalnego i wzbogaca miejski krajobraz.

W Polsce brak jest szczegółowych wytycznych, ram prawnych i narzędzi ekonomicznych wspierających zintegrowane i proekologiczne podejście do zarządzania wodą i przestrzenią miejską. Coraz częściej jednak architekci i urbaniści, świadomi negatywnych skutków urbanizacji dla środowiska naturalnego, uwzględniają w trakcie kreowania struktury miejskiej aspekt zrównoważonego gospodarowania zasobami wodnymi.

Literatura

- [1] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights.
- [2] Pochwat K., Słyś D., Kordana S.: The temporal variability of a rainfall synthetic hyetograph for the dimensioning of stormwater retention tanks in small urban catchments, *Journal of Hydrology*, dostęp 18 kwiecień 2017, w druku.
- [3] Fletcher T.D., Andrieu H., Hamel P.: Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art., *Advances in Water Resources*, 2013, 51, 261–279.
- [4] Słyś D., Stec A.: Effect of development of the town of Przemyśl on operation of its sewerage system, *Ecol. Chem. Eng. S.*, 2013, 20, 381–396.
- [5] Todeschini S.: Hydrologic and Environmental Impacts of Imperviousness in an Industrial Catchment of Northern Italy, *J. Hydrol. Eng.*, 2016, 21.

- [6] Lu H.W., He L., Du P., Zhang Y.M.: An Inexact Sequential Response Planning Approach for Optimizing Combinations of Multiple Floodplain Management Policies, *Pol J Environ Stud*, 2014, 23, 1245-1253.
- [7] Du J, Qian L., Rui H., Zuo T., Zheng D., Xu Y., Xu C.Y.: Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, China, *J. Hydrol.*, 2012, 464–465, 127–139.
- [8] Kim Y., Kim T., Park H., Han M.: Design method for determining rainwater tank retention volumes to control runoff from building rooftops. *KSCE J. Civ. Eng.*, 2015, 19, 1585–1590.
- [9] UNESCO, 2012. Water security: responses to local, regional, and global challenges. Strategy plan, Paris: UNESCO IHP.
- [10] Januchta-Szostak A.: Usługi ekosystemów wodnych w miastach [w:] *Przyroda w mieście. Usługi ekosystemów - niewykorzystany potencjał miast*, Fundacja Sędzimira 2012.
- [11] Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 roku ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej.
- [12] Elliott A.H., Trowsdale S.A.: A review of models for low impact urban stormwater drainage, *Environmental Modelling & Software*, 2007, 22, 394–405.
- [13] Burszta-Adamiak E., Stec A. Impact of the rainfall height on retention and runoff delay from green roofs. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENT AND ARCHITECTURE*, 2017, 64 (1/17), 81-95.
- [14] Burszta-Adamiak E.: Zielone dachy jako element zrównoważonych systemów odwadniających na terenach zurbanizowanych. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław, 2014.
- [15] Suligowski Z.: Alternatywa dla wód opadowych, *Wodociągi i Kanalizacja*, nr 4/2008.
- [16] Słyś D.: Zrównoważone systemy odwodnienia miast. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2013.
- [17] Starzec M., Dziopak J., Alexeev M.I.: Effect of the sewer basin increasing to necessary useful capacity of multichamber impounding reservoir, *Water and Ecology*, 2015, 1, 41–50.
- [18] Dziopak J.: Modelowanie wielokomorowych zbiorników retencyjnych w kanalizacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004.
- [19] Dziopak J., Słyś D.: Modelowanie zbiorników klasycznych i grawitacyjno-pompowych w kanalizacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007.
- [20] Materiały firmy Hauraton Polska Sp. z o.o. <http://www.hauraton.com/pl/> (dostęp: kwiecień 2017).
- [21] Materiały firmy Minnesota Pollution Control Agency https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=Minnesota_Stormwater_Manual_test_page_1 (dostęp: kwiecień 2017).
- [22] Jane Irwin Landscape Architecture <http://www.jila.net.au/> (dostęp: kwiecień 2017).

- [23] Materiały firmy Stormwater Maintenance and Consulting <http://swmaintenance.com/> (dostęp: kwiecień 2017).
- [24] <https://landperspectives.com/2011/06/02/rivereast-center-a-sustainable-site/> (dostęp: kwiecień 2017).
- [25] Speak A.F., Rothwell J.J., Lindley S.J., Smith, C.L.: Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof, *Sci. Total Environ.*, 2013, 461–462, 28–38.
- [26] DeNardo J.C., Jarrett A.R., Manbeck H.B., Beattie D.J., Berghage R.D.: Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs, *Trans. ASAE*, 2005, 48 (4), 1491–1496.
- [27] Sims A.W., Robinson C.E., Smart C.C., Voogt J.A., Hay G.J., Lundholm J.T., Powers B., O'Carroll D.M.: Retention performance of green roofs in three different climate regions, *Journal of Hydrology*, 2016, (w druku).
- [28] Spolek G.: Performance monitoring of three ecoroofs in Portland, Oregon. *Urban Ecosyst.* 2008, 11, 349–359.
- [29] Carter T.L., Rasmussen T.C.: Hydrologic behaviour of vegetated roofs, *Journal of the American Water Resources Association*, 2006, 42, 1261–1274.
- [30] Wong N.H., Chen Y., Ong C.L., Sia A.: Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment, *Build Environ*, 2003, 38, 261–70.
- [31] Palla A., Gnecco I., Lanza L.G.: Hydrologic Restoration in the Urban Environment Using Green, *Water* 2010, 2, 140-154.
- [32] Voyde E., Fassman E., Simcock R.: Hydrology of an extensive living roof under sub-tropical climate conditions in Auckland, New Zealand. *J. Hydrol.*, 2010, 394, 384–395.
- [33] Ouldboukhitine S., Belarbi R., Jaffal I., Trabelsi A.: Assessment of green roof thermal behavior: a coupled heat and mass transfer model, *Build Environ* 2011, 46, 2624–31.
- [34] Van Renterghem T., Booteldooren D.: Reducing the acoustical façade load from traffic with green roofs, *Build. Environ.*, 2009, 44, 1081–1087.
- [35] Alexandri E., Jones P.: Temperature decreases In an Urban canyon due to Green walls and green roofs In diverse climates, *Building and Environment*, 2008, 43, 480-493.
- [36] Bowler D.E., Buyung-Ali L., Knight T.M., Pullin A.S.: Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence, *Landscape and Urban Planning*, 2010, 97, 147-155.
- [37] Yang J., Yu Q., Gong P.: Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago, *Atmos. Environ.*, 2008, 42, 7266–7273.
- [38] Jian-feng Li, Onyx W.H. Wai, Y.S. Li, Jie-min Zhan, Y. Alexander Ho, James Li, Eddie Lam. Effect of green roof on ambient CO2 concentration, *Building and Environment*, Volume 45, 2010, 2644–2651.
- [39] <http://sendzimir.org.pl/> (dostęp: kwiecień 2017).
- [40] Materiały firmy Optigruen <http://www.optigruen.pl/> (dostęp: kwiecień 2017).

RAINWATER IN LANDSCAPE ARCHITECTURE OF MODERN CITIES

Summary

The development of urbanized areas adversely affects the environment, including the hydrological cycle, which is affected by the sealing of the surface of the terrain. In the areas not transformed by a man, there is a balance between the phenomena of precipitation, runoff, soaking and evaporation of rainwater. As a result of the anthropogenic activity, the surface water flow is altered, resulting in an increase in the height and intensity of drainage from the catchments. This creates many problems, which require the joint efforts of the water and wastewater sector, architecture and urban planning and spatial management. Contemporary trends in urban space design are increasingly based on environmental trends such as Eco-Urbanism and Green Urbanism, which suggest that cities should be environmentally friendly, user-friendly and should utilize natural resources properly. Taking into account the above, the management of rainwater in cities should be implemented in accordance with the concept of sustainable development. Within this idea, technical solutions are used which allow to increase the retention and infiltration of precipitation waters in urbanized areas. The objects, such as baskets and infiltration tanks, rain gardens and green roofs, which are not only functional but also have aesthetic qualities and bring green to gray and concrete urban spaces, enrich the landscape architecture. Their urban development applications have been featured to show that an integrated approach to rainwater management and spatial planning is possible. These solutions contribute to the protection of water resources, make the urban landscape more attractive, improve the microclimate and the spatial order and quality of life in cities.

Keywords: rainwater retention, infiltration to the ground, green roofs, sustainable development

Przesłano do redakcji: 10.05.2017 r.

Przyjęto do druku: 01.09.2017 r.

