



MARZENA SUCHOCKA
marzena_suchocka@sggw.pl



MARTYNA MAGDZIAK
magdziak1205@gmail.com

Szkoła Główna
Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie

Nawierzchnie wodoprzepuszczalne jako element wspomagający zrównoważony rozwój – ekorozwój na terenach zurbanizowanych

W XX wieku zaczęto analizować związki pomiędzy rozwojem społeczeństwa, gospodarką oraz środowiskiem przyrodniczym w warunkach miejskich. Zaistniała konieczność przewartościowania i zmiany poglądów na temat równowagi pomiędzy człowiekiem i jego otoczeniem. Środowisko traktowane było przedmiotowo, co podkreślone zostało na I Konferencji ONZ 1972 r. w Sztokholmie. Wtedy też po raz pierwszy padło hasło „ekorozwój” oraz „polityka ochrony środowiska”. Dziesięć lat później została powołana specjalna komisja, która kilka lat później przedstawiła

poprzez ograniczenie zjawiska spływu powierzchniowego i na stan drzew oraz roślinność miejską, a także na podniesienie komfortu życia mieszkańców miast.



Rys. 1. Definicja zrównoważonego rozwoju (ekorozwoju) – czynniki warunkujące

raport „Nasza wspólna przyszłość” (z ang. „Our common future”). W dokumencie skupiono się na pojęciu zrównoważonego rozwoju. Raport „Nasza wspólna przyszłość” stał się podstawą do opracowania „Deklaracji z Rio w sprawie środowiska i rozwoju” oraz „Globalnego Programu Działań – Agenda 21” (Konferencja ONZ, Rio de Janeiro, 1992 r.). Wymienione dokumenty wskazały konieczność ograniczenia wykorzystywania zasobów naturalnych oraz dbania o środowisko przyrodnicze [19].

Koncepcja Zrównoważonego Rozwoju

Najogólniejsza definicja zrównoważonego rozwoju (ekorozwoju) przedstawia to zjawisko jako „rozwój lub wzrost społeczno-gospodarczy uwzględniający wymogi ekologiczne”. Ekorozwój kształtowany jest przez trzy czynniki (rys.1):

1. przyrodniczy (ekologiczny),
2. ekonomiczny,
3. cywilizacyjny.

Czynnik ekologiczny mówi o jak najlepszym zachowaniu środowiska naturalnego i jego zasobów. Czynniki ekonomiczny to rozwój gospodarczy, który powinien być stymulowany poprzez rozwój technologii i efektywność w wykorzystywaniu zasobów ludzkich. Ostatni czynnik cywilizacyjny wskazuje na poprawę warunków, jakości oraz bezpieczeństwa życia społeczeństwa [19].

W artykule rozważany jest czynnik przyrodniczy warunkujący ekorozwój na terenach zurbanizowanych, czyli efektywna gospodarka wodna wpływająca na mikroklimat miasta,

Główne zagrożenia ekosystemów w mieście

Sztucznie ukształtowana strefa miejska, charakteryzująca się wysoką zabudową, szczelnymi nawierzchniami i ubogą roślinnością sprawia, iż klimat miasta jest specyficzny i cechują go zupełnie inne właściwości w porównaniu z klimatem lokalnym.

Zjawisko miejskiej wyspy ciepła

Charakterystycznym elementem klimatu miasta jest miejska wyspa ciepła. Zjawisko to polega na wzroście temperatury na terenie zurbanizowanym w stosunku do obszarów sąsiadujących [6]. Miejska wyspa ciepła jest następstwem m.in:

- zmniejszonego wskaźnika albedo różnych powierzchni (nawierzchnie, dachy, ściany budynków, itd.) oraz geometrii i ukształtowania miasta (odbijanie promieniowania słonecznego), prowadzących do intensywnego pochłaniania promieni słonecznych i nagrzewania się podłoża,
- zwiększonego dopływu promieniowania cieplnego od nagranych powierzchni,
- nikłego udziału powierzchni biologicznie czynnych i destabilizacji balansu cieplnego [6].

Dla mieszkańców dużych miast zjawisko miejskiej wyspy ciepła jest najbardziej odczuwalne i doskwierające w porze letniej. W czasie letniego upału w ciągu dnia temperatury

miejscowo dochodzą do nawet 50°C [30]. Ze względu na dużą ilość szczelnych i sztucznych powierzchni miasto gromadzi ogromne pokłady ciepła i zdecydowanie wolniej niż tereny zieleni oddaje je do atmosfery. Przewaga nawierzchni uniemożliwiających infiltrację wody do podłoża oraz znikomy udział terenów zieleni sprawiają, iż woda szybko spływa do kanalizacji miejskiej, przez co parowanie, czyli naturalny proces chłodzący, jest ograniczone do minimum. Zjawiska miejskiej wyspy ciepła nie da się całkowicie wyeliminować [6]. Można jedynie wpłynąć na jego intensywność poprzez odpowiednie działania, przykładowo przez ograniczenie stosowania tradycyjnych nawierzchni szczelnych na rzecz nawierzchni przepuszczających wodę.

Zjawisko spływu powierzchniowego

W momencie, gdy opady deszczu przewyższają zdolność podłoża do absorpcji wody, mówi się o zjawisku spływu powierzchniowego [5]. Uszczelnianie miast, czyli wykorzystywanie tradycyjnych nawierzchni wodoszczelnych, jest następstwem szybko i intensywnie postępującego procesu urbanizacji. Skutkiem tego działania jest pojawienie się lub zwiększenie efektu spływu powierzchniowego.

W środowisku naturalnym występuje równowaga pomiędzy ilością i intensywnością opadów atmosferycznych, a ich odprowadzaniem poprzez infiltrację, parowanie i spływ [11]. Objętość i szybkość spływu powierzchniowego na terenach biologicznie czynnych jest dużo mniejsza niż na terenach uszczelnionych nawierzchniami. W takich warunkach około 40% wody pochodzącej z opadu atmosferycznego jest odparowywana, aż 50% infiltruje w ziemię, zasilając tym samym podziemne rezerwuary wodne, a zaledwie 10% stanowi odpływ powierzchniowy. Najgorsza sytuacja panuje w ścisłych centrach miast, gdzie udział powierzchni szczelnych przekracza zwykle 75%. W takim przypadku jedynie 15% wody deszczowej jest infiltrowane, ponad połowa opadu spływa do kanalizacji.

Odbiór nadmiaru wody po obfitych opadach w mieście odbywa się zwykle w sposób kontrolowany przez inżynierskie budowle odwadniające [11]. Jednak przy nagłych i bardzo obfitych opadach prowadzi to do przeciążenia systemu kanalizacji, przez co rośnie ryzyko lokalnych podtopień i powodzi. Obniża się poziom wód gruntowych [13]. Odpływ wody opadowej, bez możliwości infiltracji w podłoże, to bardzo duży problem dotyczący miasta. Minimalizacja zagrożenia powodziowego odbywa się głównie na drodze rozbudowy istniejących systemów kanalizacyjnych oraz zwiększaniu ich pojemności i wydajności w odbieraniu wody z opadów. Jest to działanie kosztowne, często nieskuteczne, a dodatkowo niesprzyjające zrównoważonemu rozwojowi miasta [11].

Zanieczyszczenia

Zanieczyszczenia przedostające się do gruntu z wodą pochodzą często z niezidentyfikowanych źródeł, przez co zagrażają jeszcze bardziej środowisku. Utrudnia to także zwalczanie źródła powstawania zanieczyszczeń i kontroli nad nimi. Opad ulega zanieczyszczeniu pyłami, dymami,

substancjami chemicznymi już w kontakcie z powietrzem. Jednak do największego skażenia wody dochodzi w czasie kontaktu z nawierzchnią podczas spływu powierzchniowego. Opad wędrujący do kanalizacji miejskiej charakteryzuje się zawartością zanieczyszczeń m.in. takich jak: zawiesiny, metale ciężkie, substancje chemiczne, nawozy. Tylko z obszaru lewobrzeżnej Warszawy, w ciągu dnia, bez wcześniejszego oczyszczenia mechaniczno-biologicznego, do Wisły trafia około 320 000 dm³ ścieków, z czego 10% stanowią ścieki przemysłowe [8].

Rośliny pobierają zanieczyszczenia przez korzenie, liście, łodygi, korę. Substancje ropopochodne hamują wzrost istniejących korzeni oraz rozwój nowych, blokują proces pobierania i przewodzenia wody. Prowadzi to do redukcji wzrostu pędów i gałęzi oraz chlorozy liści, ich obumierania [2]. Według Rozporządzenia Ministra Środowiska [31] dotyczącego warunków wprowadzania ścieków do wód i ziemi, limitowane są stężenia zawiesin oraz węglowodorów ropopochodnych. Wody przekazane kanalizacją do naturalnych odbiorników między innymi z terenów: miejskich, transportowych i przemysłowych oraz parkingów o powierzchni powyżej 0,1 ha nie mogą zawierać więcej niż 100 mg/dm³ zawiesin oraz 15 mg/dm³ węglowodorów [21].

Badania pod kątem rozpoznania zawartości zawiesin ogólnych w wodzie ze spływu powierzchniowego z dróg miejskich wykazały znaczne przekroczenie dozwolonych wg Rozporządzenia [31] progów stężeń. Oznacza to, iż woda trafiająca do kanalizacji może poważnie skażać środowisko naturalne [21].

Woda a roślinność

W celu umożliwienia drzewom (ogólnie terenom zieleni) w mieście spełniania ich zadań – dostarczania odpowiednich usług, należy ułatwić roślinom dostęp do wody, a najważniejszym źródłem wody odnawialnej na terenie zurbanizowanym jest opad. Drzewo o wysokości około 10 m pobiera minimum 133 l wody dziennie [16]. Badania przeprowadzone w szwedzkim Malmö w okresie letnim wykazały, iż drzewo z koroną o średnicy około 14 m potrzebuje mniej więcej 670 l wody w ciągu dnia. Woda ta pobierana jest systemem korzeniowym z gleby i transportowana wysoko do gałęzi oraz liści, na koniec uwalniana w procesie ewapotranspiracji [26]. Opad często kojarzy się mieszkańcom dużych miast z problemem podtopień, powodzi i idącymi za tym kłopotami finansowymi, co rzeczywiście jest realnym zagrożeniem. Z drugiej strony deszcz jest źródłem życia i należy go jak najlepiej zagospodarować. Jednym z kluczy do sukcesu mogą okazać się nawierzchnie wodoprzepuszczalne.

Stres roślin, zamieranie tkanki zielonej miasta

Zaburzenia w równowadze środowiskowej wywierają piętno na tkance zielonej miasta. Flora wypełniająca wolne od zabudowy przestrzenie w mieście jest narażona na niekorzystne działanie wielu czynników wywołujących tzw. stres. Najpowszechniej występującymi stresorami w środowisku

miejskim są m.in.: bardzo ograniczony dostęp do zasobów wodnych, susza, nadmiernie zagęszczona gleba, niedostatek tlenu w podłożu, zbyt wysoka temperatura powietrza [2].

Na terenach zurbanizowanych notuje się do 30% większe opady niż w przypadku otwartych terenów sąsiednich, ale około 80% pochodzącej z nich wody jest odprowadzana prosto do kanalizacji [30]. Pierwsze skutki niedostatku wody zaobserwować można w koronie drzewa. Liście takiego drzewa mają mniejszą powierzchnię, zmniejsza się ich ilość, zahamowany jest rozwój pędów i gałęzi. Przy dłuższym braku dostępu do wody liście na drzewie szybciej się starzeją i opadają [2].

Brak wystarczającej ilości tlenu w podłożu jest skutkiem zagęszczonej gleby, długotrwałego występowania pokrywy śnieżnej lub lodowej czy zalania wodą (szczególnie groźnego w połączeniu z czynnikiem zbytniego zagęszczenia warstw glebowych). W takich warunkach wytwarza się toksyczne, niesprzyjające korzeniom roślin środowisko beztlenowe. W takiej sytuacji wzrost korzeni jest zahamowany. Nad ziemią gromadzi się kwas absycynowy prowadzący do zamykania się szparek, drzewa zaczynają zrzucać liście [2], [25].

Problem zasolenia gleby spowodowany jest zimowym odśnieżaniem i odladzaniem chodników i ulic miejskich. Konsekwencją nadmiernego zasolenia jest wymieranie organizmów żywych, co prowadzi do zaburzeń bioróżnorodności. Problem dotyczy płazów żyjących w rowach przydrożnych, ryb bytujących w rzekach i stawach zlokalizowanych przy drogach. Obecność soli drogowej znacząco zaburza cały cykl życiowy organizmów takich jak drzewa. Najczęstsze objawy to zahamowanie wzrostu czy zmniejszony rozmiar oraz ilość liści i korzeni. Wraz ze wzrostem liczby pojazdów mechanicznych na miejskich ulicach powstało zjawisko aerozolu solnego. Aerosol solny działa zewnętrznie i zaburza wzrost i rozwój części roślin występujących ponad ziemią [7]. Rozbryzgiwany roztwór solny osadza się na pąkach, drobnych liściach, pędach oraz konarach drzew, powodując efekt tzw. odwróconej osmozy, co prowadzi do zasychania i obumierania powyższych organów [7]. Redukcja chlorofilu wpływają niekorzystnie na przebieg procesu fotosyntezy, a u drzew iglastych zahamowany jest proces mikoryzy. Dodatkowo z gleby wymywane są składniki odżywcze, a wiosną uwalniane metale ciężkie. Sól wpływa na pH gleby. Obecność chlorków doprowadza do zakwaszenia ziemi, co osłabia aktywność mikrobiologiczną i zmienia strukturę mikroflory i mikrofauny glebowej [18].

Roślinność żyjąca w warunkach stresu wymaga nakładów finansowych na pielęgnację, m.in. poprzez nawadnianie [30]. Z tego powodu pogląd, iż łatwiej i taniej jest tworzyć przestrzenie wybetonowane, zamiast rozszczenia nawierzchnie powodując poprawę warunków siedliskowych, jest błędny. Zastosowanie wodoprzepuszczalnych nawierzchni zmniejsza ilość stosowanej do odladzania soli oraz pozwala infiltrującej wodzie przepłukiwać sól w glebie.

Nawierzchnie wodoprzepuszczalne

Nawierzchnia wodoprzepuszczalna (ang. *permeable*) to typ nawierzchni, który umożliwia wodzie oraz powietrzu

przenikanie do głębiej położonych warstw podbudowy i dalej do gruntu [22]. Infiltrowane płyny i gazy przechodzą przez warstwę ścieralną i wędrują kolejno przez wszystkie warstwy podbudowy prosto do podłoża. W przypadku nawierzchni wodoprzepuszczalnych budowanych na gruntach nieprzepuszczalnych lub słabo przepuszczalnych, zalegająca w podbudowie woda możliwa jest do odprowadzania systemem rur do kanalizacji [24]. Nawierzchnia wodoprzepuszczalna w warunkach polskich to warstwa ścieralna, ewentualnie warstwa ścieralna i wiążąca, jednak wnika ją w nie woda jest zazwyczaj odprowadzana bez przesączania się przez warstwy konstrukcyjne. W artykule skoncentrowano się na zaczerpniętych z literatury przykładach nawierzchni wodoprzepuszczalnych budowanych w sposób pozwalający na przesączanie wody i jej infiltrację do gruntu. Natomiast w typowych konstrukcjach nawierzchni nieprzepuszczalnych warstwa ścieralna jest mało porowata, praktycznie całkowicie szczelna, wskutek czego infiltracja płynów i gazów jest niemożliwa. Woda opadowa pozostaje na powierzchni, dzięki spadkom podłużnym i poprzecznym nadanym drodze odprowadzana jest w postaci spływu powierzchniowego do najbliższego odbiornika, jakim mogą być studzienki kanalizacyjne lub sąsiadujące tereny biologicznie czynne, np. trawnik. W przypadku nawierzchni z przepuszczalną warstwą ścieralną oraz podbudową następuje wertykalna penetracja wody deszczowej do gruntu [24].

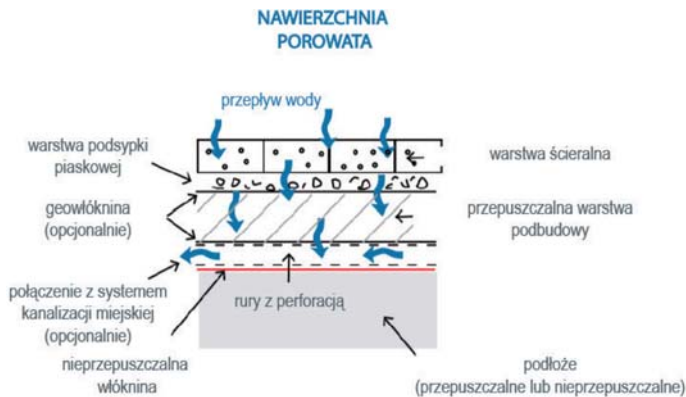
Przechwytywanie wody opadowej w momencie jej kontaktu z nawierzchnią przynosi więcej korzyści w porównaniu z tradycyjnymi rozwiązaniami w odprowadzaniu wody. Takie warunki stworzyć można poprzez stosowanie nawierzchni przepuszczalnych i porowatych. Aktualnie najczęściej stosowanymi rozwiązaniami w miastach są; beton asfaltowy, mastyks grysowy oraz kostki brukowe z trudno przepuszczalnym wodę wypełnieniem szczelin lub nieprzepuszczalną podbudową. W opinii projektujących je inżynierów drogownictwa za popularność nawierzchni tradycyjnych odpowiadają dostępność surowca, obowiązujące przepisy oraz niższy koszt wykonania w porównaniu do mało rozpowszechnionych w naszym kraju nawierzchni wodoprzepuszczalnych.

Nawierzchnia porowata, a nawierzchnia przepuszczalna

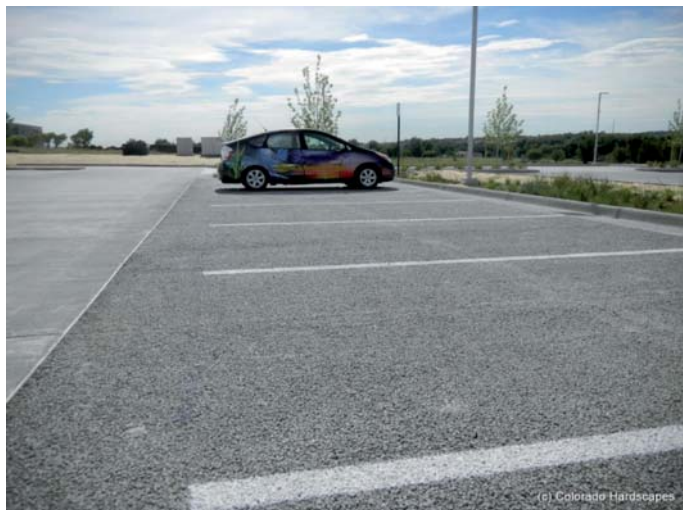
Określenie nawierzchnia wodoprzepuszczalna jest ogólne dla wszystkich typów nawierzchni mających zdolność do pochłaniania cieczy i gazów. Istnieje różnica pomiędzy nawierzchniami o charakterze przepuszczalnym (rys. 3) oraz porowatym (rys. 2). Określenia te z reguły używane są zastępczo, co w przypadku właściwości warstwy ścieralnej nawierzchni jest błędem. Oba typy nawierzchni pozwalają płynom i gazom na przenikanie kolejno przez warstwy konstrukcji do gruntu. Charakteryzują się jednak odmiennymi właściwościami, co wpływa na dobór pod kątem zastosowania w terenie [28].

Warstwa ścieralna nawierzchni typu porowatego stanowi zwykle jednolitą taflę (fot. 1, rys. 2). Opcjonalnie może być wyposażona w dylatacje. W materiale, który ją tworzy,

występuje duży udział wolnych przestrzeni (porów), dzięki czemu nawierzchnia infiltruje wodę całą swoją powierzchnią [28].



Rys. 2. Przekrój przez nawierzchnię o charakterze porowatym (schemat) [32]



Fot. 1. Widok parkingu z nawierzchnią porowatą (porowaty beton); źródło: Google Grafika



Fot. 2. Widok parkingu z nawierzchnią przepuszczalną (betonowa kostka z dylatacjami); źródło: Google Grafika

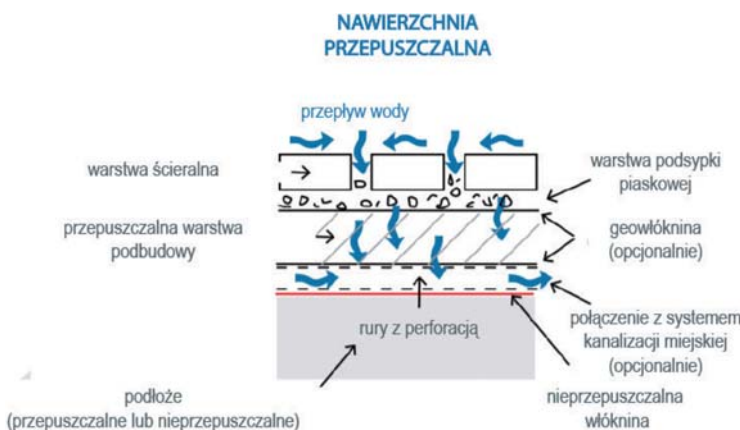
W przypadku nawierzchni przepuszczalnej warstwa ścierna wyposażona jest w szczeliny/dylatacje, zwykle wypełnione kruszywem, roślinnością lub przepuszczalną dla wody fugą (fot. 2, rys. 3). Płyny dostają się do głębszych warstw podbudowy właśnie przez te szczeliny w powierzchni [28].

Funkcje nawierzchni wodoprzepuszczalnych

Nawierzchnie wodoprzepuszczalne stanowią proekologiczną alternatywę dla tradycyjnych nawierzchni szczelnych. Zastosowanie tego rodzaju nawierzchni na terenach zurbanizowanych w ramach zrównoważonego rozwoju zapewnia szereg korzyści. Poniżej przedstawiono analizę korzyści w zakresie redukcji lub ograniczenia hałasu komunikacyjnego oraz zjawiska spływu powierzchniowego, poprawy jakości wody, wpływu na stan flory miejskiej, zmniejszenia intensywności zjawiska powstawania miejskich wysp ciepła.

Redukcja lub ograniczenie hałasu komunikacyjnego

Hałas drogowy to bardzo poważny problem na terenach silnie zurbanizowanych, takich jak np. aglomeracja warszawska. Hałas generowany jest przede wszystkim przez pojazdy kołowe na styku opona–nawierzchnia, a rodzaj dźwięku jest uzależniony od typu materiału z jakiego wykonana została nawierzchnia [20]. Nawierzchnie wodoprzepuszczalne o charakterze porowatym stanowią jedno z rozwiązań w walce z hałasem w mieście. Dużą popularnością cieszy się asfalt porowaty, który jest stosowany jako nawierzchnia dróg i autostrad, a także płyt lotniskowych. W wielu krajach Europy Zachodniej a także w Stanach Zjednoczonych stanowi często stosowane rozwiązanie [15]. Na podstawie zrealizowanych odcinków dowiedziano, iż stosowanie nawierzchni asfaltowych o dużym udziale wolnych przestrzeni w warstwie ściernej umożliwia redukcję hałasu drogowego o nawet 7 dB. Zmniejszenie hałasu nawet o 3 dB jest równe podwojeniu odległości pomiędzy źródłem hałasu, a jego odbiorcą [29]. W efekcie badań terenowych nad redukcją



Rys. 3. Przekrój przez nawierzchnię o charakterze przepuszczalnym – kostka ze szczelinami (schemat) [32]

hałasu przez nawierzchnię z asfaltu porowatego stwierdzono, iż warstwa ścieralna o grubości 80 mm wykonana z kruszywa o uziarnieniu do 9,5 mm redukuje hałas o 4–8 dB [27]. Stąd wniosek, iż zdolność do redukcji hałasu komunikacyjnego jest ściśle powiązana z udziałem wolnych przestrzeni w warstwie ścieralnej nawierzchni. Niska zawartość wolnych przestrzeni w warstwie ścieralnej, względnie ich częściowe zatkanie w wyniku zanieczyszczeń, prowadzi do spadku efektywności nawierzchni w redukcji hałasu [15]

Redukcja lub ograniczenie zjawiska spływu powierzchniowego

Nawierzchnie wodoprzepuszczalne wymieniane są jako jedno z efektywnych rozwiązań problemu spływu powierzchniowego na terenach zurbanizowanych wg *The Runoff Reduction Methods*, narzędzia opracowanego w 2008 r. przez organizację *The Center for Watershed Protection* z amerykańskiego stanu Wirginia (tab. 1) [3]. Zebrane przez powyższą organizację dane wskazują, iż nawierzchnie wodoprzepuszczalne pozwalają na zmniejszenie spływu o 75%. Większą skuteczność mają tylko naturalna infiltracja (do 90%) oraz bioretencja (do 80%).

W związku z powyższym, poprzez przechwytywanie wody opadowej przez nawierzchnie wodoprzepuszczalne uzyskuje się efektywne narzędzie pomocne przy zasilaniu wód podziemnych. Jak podano wcześniej, na drodze redukcji spływu powierzchniowego na rzecz natychmiastowej infiltracji w miejscu opadu nawierzchnie porowate i przepuszczalne mają potencjał do rekompensowania utraty wody w podziemnych zasobach wodnych [12].

Tabela 1. Rozwiązania problemu zjawiska spływu powierzchniowego *The Runoff Reduction Methods* wg *The Center for Watershed Protection*. Dane opracowane na podstawie średnich opadów deszczu na terenie Virginia Piedmont w stanie Wirginia, USA [3]

Rozwiązanie	Redukcja spływu powierzchniowego [%]
Zielone dachy	45–60
Rynny dachowe (odprowadzanie wody na tereny biologicznie czynne)	25–50
Zbiorniki i cysterny na wodę opadową	40
Nawierzchnie wodoprzepuszczalne	45–75
Rowy	10–20
Bioretencja	40–80
Niecka sucha	40–60
Niecka mokra	0
Infiltracja	50–90
Zbiorniki retencyjne	0–15

Poprawa jakości wody

Intensywny rozwój urbanistyczny wywiera negatywny wpływ na jakość wód powierzchniowych i gruntowych. Opad deszczu zmywa nagromadzone na powierzchni zanieczyszczenia, które wraz z wodą są transportowane i rozprowadzane dalej. Pory w nawierzchniach porowatych

oraz wolne przestrzenie wypełnione przepuszczalnym materiałem w nawierzchniach brukowych charakteryzują się mikroekosystemem, który ma zdolność do filtracji i rozkładu zanieczyszczeń. W tym przypadku grunt znajdujący się pod konstrukcją nawierzchni jest jedynie zapasowym filtrem oczyszczającym [1].

Badania dowodzą, iż nawierzchnie o charakterze wodoprzepuszczalnym pomagają w podniesieniu jakości wody na terenach miejskich oraz zapobiegają przedostawaniu się różnego pochodzenia zanieczyszczeń do gleby oraz wód gruntowych. Zanieczyszczenia zatrzymują się w większości w porach i wolnych przestrzeniach w warstwie ścieralnej oraz warstwach podbudowy, częściowo także na geowłókninie separującej kruszywo podbudowy od gruntu rodzimego (jeśli została użyta) [9]. W kanadyjskim mieście Calgary podczas badań terenowych wykazano, iż nawierzchnie z asfaltu porowatego oraz kostek brukowych z wolnymi przestrzeniami potrafią zredukować ilość zawiesiny ogólnej (z ang. *total suspended solids*) o 90% do 96%. Wynik potwierdzono późniejszymi analizami laboratoryjnymi. W Waszyngtonie zaobserwowano zmniejszenie udziału metali ciężkich (miedzi, cynku) oraz substancji oleistych w wodzie przefiltrowanej przez przepuszczalną nawierzchnię brukową obciążoną intensywnym ruchem w okresie 6 lat [9]. Na podstawie analiz porównawczych nad nawierzchniami w Waszyngtonie ustalono, iż w 100% próbek wody opadowej spływającej po tradycyjnej nawierzchni asfaltowej przekroczony został standard zawartości cynku i miedzi. Dla porównania, jedynie w 17% próbek wody przefiltrowanej przez nawierzchnię przepuszczalną z kostek brukowych zanotowano przekroczenie limitów w przypadku miedzi i cynku [9].

Zanieczyszczeniami stanowiącymi największe zagrożenie dla wód gruntowych są azotany, pestycydy, węglowodory aromatyczne, enterowirusy oraz sole [23]. Nawierzchnie w mieście nie są zwykle groźnym źródłem azotanów, pestycydów czy enterowirusów, co podano w rozdziale o zagrożeniach dla ekosystemów w miastach. Duże niebezpieczeństwo dla roślinności miejskiej niesie ze sobą stosowanie chlorku sodu (*sol*) do odladzania w okresie zimy, zwłaszcza ze względu na dużą mobilność chlorków w glebie. Gleba posiada zdolność do mechanicznego filtrowania, biodegradacji i zatrzymywania zanieczyszczeń wędrujących z wodą. Mimo to, woda ze spływu powierzchniowego, która dostaje się bezpośrednio do zbiorników retencyjnych, niecek czy rowów przydrożnych pochodzi z terenów charakteryzujących się różnym użytkowaniem i zawiera więcej zanieczyszczeń różnorodnego pochodzenia niż ta sama woda przefiltrowana przez nawierzchnię wodoprzepuszczalną [9].

Korzystny wpływ na stan flory miejskiej

Nawierzchnie wodoprzepuszczalne to przede wszystkim jeden ze sposobów rozwiązania problemu utrzymania drzew w centrach miast. Zastępowanie tradycyjnych nawierzchni uszczelnionych nawierzchniami wodoprzepuszczalnymi zwiększa korzeniom drzew dostępność do czystej wody oraz powietrza. Ponadto odpowiednia instalacja wodoprzepuszczalnej podbudowy nawierzchni może ograniczyć

zniszczenia wywoływane wzrostem korzeni. W momencie, gdy korzenie roślin i drzew mają zapewnioną odpowiednią dla potrzeb ich rozwoju przestrzeń bogatą w tlen i zaopatrywaną okresowo w wodę nie mają tendencji do nadmiernego wypływania, co niemal całkowicie eliminuje sytuację, kiedy uszkodzona jest infrastruktura [25].

Zmniejszenie intensywności zjawiska miejskiej wyspy ciepła

Materiały ażurowe, porowate charakteryzują się niskim wskaźnikiem pojemności cieplnej, dlatego promieniowanie ciepłe przez nie odbierane jest oddawane w głąb nawierzchni, nie magazynowane jak w przypadku materiałów szczelnych. Nawierzchnie wodoprzepuszczalne mogą być efektywnym rozwiązaniem łagodzącym zjawisko miejskiej wyspy ciepła, dlatego często nazywa się je nawierzchniami chłodnymi. Nawierzchnie przepuszczalne i porowate będące w stanie wilgotnym, tj. po opadach deszczu są w stanie obniżyć temperaturę powietrza przy pomocy zjawiska ewapotranspiracji, czyli parowania z powierzchni organów roślinnych oraz z gruntu. Efekt chłodzenia poprzez parowanie uzależniony jest od czasu kontaktu nawierzchni z wilgocią oraz od wskaźnika ewapotranspiracji [17]. Stąd można przypuszczać, iż tymczasowe magazynowanie wody w warstwach podbudowy nawierzchni wodoprzepuszczalnych może zwiększać zdolność do obniżania temperatury powietrza przy powierzchni.

Tradycyjne nawierzchnie asfaltowe względnie betonowe odbijają od 5% do 40% promieniowania światła słonecznego (z ang. *solar reflectances*, *albedo*), co oznacza, iż absorbują one od 60% do 90% energii, która do nich dociera [10]. Powierzchnia 4 m² pokryta tradycyjnym asfaltem o albedo 8% może osiągnąć temperaturę ponad 70°C, o 10°C–25°C większą, niż w przypadku tradycyjnego betonu o albedo 18%–29% [14].

W celu zwiększenia efektu nawierzchni chłodnej w mieszankach wykorzystuje się kruszywo o wysokim wskaźniku odbicia światła słonecznego, np. beton cementowy o albedo 30%–50%. W przypadku mieszanki asfaltowej stosuje się kolorowe powłoki o albedo około 50%. W przypadku innych mieszanek (np. w nawierzchniach mineralno-żywnicznych) wprowadzono transparentne lub delikatnie barwienie spoiwa jasnymi kolorami [4]. Trzeba mieć na uwadze, iż z czasem właściwości materiałów będących pod wpływem użytkowania oraz warunków atmosferycznych zmieniają się. Nawierzchnie betonowe ciemnieją, przez co zmniejsza się ich zdolność do odbijania promieniowania słonecznego. W przypadku nawierzchni asfaltowych kolor zmienia się na jaśniejszy w wyniku utleniania się lepiszcza, co prowadzi do większej ekspozycji kruszywa [4].

Podsumowanie

W miastach ingerencja człowieka sprawia, że równowaga w przyrodzie zostaje zachwiana. Zabudowa powierzchni prowadzi do zmniejszenia ilości wody wsiąkającej w grunt.

W przypadku nawierzchni szczelnych przesiąkanie wody jest równe zeru. Obecnie wypracowano wiele rodzajów nawierzchni wodoprzepuszczalnych, które mogą pełnić istotne funkcje wspomagające zrównoważony rozwój miast. Nawierzchnie te są ciągle niedoceniane, uważane za droższe oraz kłopotliwe w utrzymaniu zimowym. Opinie te nie są słuszne a usługi ekosystemów w zakresie oczyszczania wody, poprawy mikroklimatu miast, stanu zieleni miejskiej, zmniejszaniu poziomu hałasu i niebezpieczeństwa podtopień stawiają zastosowanie wodoprzepuszczalnych nawierzchni w nowym, korzystnym świetle.

Bibliografia

- [1] Amirjani M., 2010: *Clogging of permeable pavements in semi-arid areas*, Delft University of Technology
- [2] Bach A., Frazik-Adamczyk M., 2006: *Charakterystyka zagrożeń zieleni miejskiej ze szczególnym uwzględnieniem zieleni w ciągach komunikacyjnych*, Kraków
- [3] Battiatia J., Collins K., 2010: *The runoff reduction method*, http://ucowr.org/files/Achieved_Journal_Issues/146/3.pdf [dostęp: 23.06.2017]
- [4] Berkeley Lab, 2017: *Cool pavements*, <https://heatisland.lbl.gov/coolscience/cool-pavements> [dostęp: 28.05.2017]
- [5] Bielasik-Rosińska M. i in., 2013: *Dobra praktyka ograniczania zanieczyszczenia wód powierzchniowych środkami ochrony roślin w wyniku spływu powierzchniowego i erozji*, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa
- [6] Błażejczyk K. i in., 2014: *Miejska wyspa ciepła w Warszawie*. Informator, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa
- [7] Borowski J., Pstrągowska M., 2010: *Wpływ warunków przyulicznych, w tym aerozolu solnego, na wzrost lip drobnolistnych*, Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego, 58, 15-24
- [8] Borowski M., Latała J., 2014: *Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta stołecznego Warszawy*. Uwarunkowania zagospodarowania przestrzennego miasta stołecznego Warszawy ze zmianami, Wydział Polityki Przestrzennej Biura Architektury i Planowania Przestrzennego Miasta Stołecznego Warszawy
- [9] Brattebo B., Booth D., 2003: *Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems*, https://www.icpi.org/sites/default/files/resources/technical-papers/1004_0.pdf [dostęp: 25.04.2017]
- [10] Climate Protection Partnership Division, 2005: *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies*. *Cool pavements*,
- [11] Gradkowski K., 2011: *Kontrola spływu powierzchniowego wód z pasów drogowych cz. 1*, http://www.kgradkowski.il.pw.edu.pl/pliki/63_67_PI_01.pdf [dostęp: 04.03.2017]
- [12] Guruji A., Rana A., 2015: *Ground water recharging through pervious concrete pavement*, The M.S.University, Vadodara
- [13] Januchta-Szostak A., 2012: *Usługi ekosystemów wodnych w miastach*, http://ww.sendzimir.org.pl/images/zrz_3_pl/05_uslugi_ekosystemow_wodnych_w_miastach.pdf [dostęp: 16.03.2017]
- [14] Kalaugher L., 2013: *Permeable pavements could cool cities and help prevent flooding*, <http://environmentalresearchweb.org/cws/article/news/53166> [dostęp: 28.05.2017]
- [15] Kayhanian M. i in., 2015: *The application of permeable pavement with emphasis on successful design, Wwter quality benefits, and identification of knowledge and data gaps*, The National Center for Sustainable Transportation, <https://ncst.ucdavis.edu/wp-content/uploads/2014/08/09-30-2015-NCST-SR-Permeable-Pavement-FINALv5.pdf> [dostęp: 05.05.2017]
- [16] Krauze K., Wagner I., 2014: *Jak bezpiecznie zatrzymać wodę opadową w mieście? Narzędzia techniczne*, http://sendzimir.org.pl/images/zrz-5-pl/ZRZ5_06Jak_bezpiecznie.pdf [dostęp: 13.05.2017]
- [17] Li H., Harvey J., Holland T., Kayhanian M., 2013: *The use of*

- reflective and permeable pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management, <http://iop-science.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/1/015023> [dostęp: 25.04.2017]
- [18] Mazur N., 2015: *Wpływ soli do odladzania dróg na środowisko przyrodnicze*, Kielce
- [19] Mazur-Wierzbicka E., 2012: *Miejsce zrównoważonego rozwoju w polskiej i unijnej polityce ekologicznej na początku XXI wieku*, http://www.univ.rzeszow.pl/pliki/Zeszyt8/23_mazur-wierzbicka.pdf [dostęp: 12.05.2017]
- [20] McDaniel R. S. i in., 2005: *Field Evaluation of a Porous Friction Course for Noise Control. 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, DC, <https://ncst.ucdavis.edu/wp-content/uploads/2014/08/09-30-2015-NCST-SR-Permeable-Pavement-FINALv5.pdf> [dostęp: 05.05.2017]
- [21] Ociepa E. i in., 2010: *Zanieczyszczenia wód opadowych spływających do systemów kanalizacyjnych*, http://tchie.uni.opole.pl/eco-proc10b/OciepaKisielLach_PECO10_2.pdf [dostęp: 15.04.2017]
- [22] Pineo R. i in., 2009: *Permeable vs. impermeable surfaces*, University of Delaware, <http://extension.udel.edu/factsheets/permeable-vs-impermeable-surfaces/> [dostęp: 13.02.2017]
- [23] Pitt R., Parmer K., Clark S., Field R., 1996: *Groundwater Contamination from Stormwater Infiltration*, <https://pdfs.semanticscholar.org/323c/03685aa190febbf049734fc16850d7ead993.pdf> [dostęp: 25.04.2017]
- [24] Shaffer P. i in., 2009: *Understanding permeable and impermeable surfaces. Technical report on surfacing options and cost benefit analysis*, Department for Communities and Local Government, London, http://www.wamitab.org.uk/useruploads/files/waste/waste_resources/other_documents/understanding_permeable_and_impermeable_surfaces.pdf [dostęp: 13.02.2017]
- [25] Suchocka M., 2011: *Wpływ zmiany warunków siedliskowych na stan drzewostanu na terenach inwestycji*, *Człowiek i środowisko*, 35 (1-2), 73-91
- [26] Suchocka M., 2013: *Podłoża strukturalne i inne metody ułatwiające rozwój drzew w trudnych warunkach siedliskowych miast*, <http://sendzimir.org.pl/sites/default/files/wzr4/wzr4-3.pdf> [dostęp: 13.05.2017]
- [27] Tian B., Liu Y., Niu K., Li X., 2014: *Reduction of tire-pavement noise by porous concrete pavement. The Abstract*, <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0000809> [dostęp: 08.09.2017]
- [28] Walker M., 2013: *Are pervious, permeable, and porous pavers really the same?*, <http://stormwater.wef.org/2013/10/pervious-permeable-porous-pavers-really/> [dostęp: 13.02.2017]
- [29] World Road Association, 2013: *Quiet pavement technologies*, Francja, <http://driveasphalt.org/noise> [dostęp: 08.09.2017]
- [30] Woźny A., 2015: *Wpływ warunków siedliskowych na stan zieleni przyulicznej*, file:///C:/Users/magdz/Downloads/11.pdf [dostęp: 02.02.2017]
- [31] Dziennik Ustaw z 2006 r. Nr 137, poz. 984 - Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.
- [32] <http://www.aucklandcouncil.govt.nz>

KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA: NOWOCZESNE TECHNOLOGIE W PROJEKTOWANIU, BUDOWIE I EKSPLOATACJI INFRASTRUKTURY DROGOWEJ MIAST, METROPOLII I REGIONÓW NOVDROG'19

28 marca – 29 marca 2019 r., Hotel Nawigator w Szczawnicy

TEMATYKA KONFERENCJI

1. Problemy projektowania, budowy i eksploatacji dróg i ulic.
2. Problemy projektowania, budowy i eksploatacji parkingów kubaturowych oraz parkingów P+R.
3. Problemy projektowania, budowy i eksploatacji infrastruktury rowerowej.
4. Ocena uwarunkowań technicznych, ekonomicznych i prawnych w realizacji inwestycji w trybie "zaprojektuj i wybuduj".
5. Miejsce PPP w budownictwie infrastrukturalnym.
6. Nowe technologie w drogownictwie, w tym BIM.
7. Zagadnienia transportu drogowego i drogownictwa w kształceniu na uczelniach technicznych.

PATRONAT MEDIALNY



Organizator Konferencji
Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP Oddział w Krakowie

<http://www.sitk.org.pl/nowoczesne-technologie-w-projektowaniu-budowie-i-eksploatacji-infrastruktury-drogowej-miast-metropolii-i-regionow-2019/>

kontakt: anna.bujak@sitkrp.org.pl

Zapraszamy do udziału!