



MARTA SIEDLECKA

marta.siedlecka.ms@gmail.com



MARZENA SUCHOCKA

marzena\_suchocka@sggw.pl

Szkoła Główna  
Gospodarstwa Wiejskiego  
w Warszawie

## Wodoprzepuszczalne nawierzchnie a zrównoważony rozwój terenów miejskich

Utwardzanie i uszczelnianie powierzchni w miastach oraz postępujące ograniczanie terenów zieleni skutkują powstawaniem problemów związanych z obecnością wód opadowych i roztopowych na terenach zurbanizowanych. Zjawisko to jest uciążliwe szczególnie na osiedlach mieszkaniowych, a także wzdłuż ciągów komunikacyjnych. W ostatnich latach nasiliło się występowanie ekstremalnych zjawisk meteorologicznych, takich jak długotrwałe, trwające kilka dni opady atmosferyczne lub nagłe intensywne deszcze typu burzowego, spadające na powierzchnię w stosunkowo krótkim czasie. Nieprzepuszczalne nawierzchnie, utrudniające naturalną infiltrację do gruntu, powodują konieczność kierowania wód do systemów kanalizacji, względnie do sztucznych odbiorników. Okazało się również, że konwencjonalna kanalizacja deszczowa i kanalizacja ogólnospławna nie są przystosowane do przejęcia pojawiających się okresowo dużych objętości wody. Skutkuje to zalaniem budynków, podtopieniami całych fragmentów miast, a w wymiarze ponadlokalnym zwiększa się ryzyko wystąpienia powodzi. Równocześnie zwiększenie spływu powierzchniowego i eliminowanie wody opadowej z przestrzeni miejskiej uniemożliwiają uzupełnianie poziomu wód gruntowych oraz wpływają na wysychanie tych terenów, zaburzając naturalną równowagę obiegu wody w środowisku naturalnym.

Skutecznym rozwiązaniem wydaje się być przekształcanie lub zastępowanie dotychczas stosowanych, konwencjonalnych metod budowy nawierzchni drogowych innymi rozwiązaniami, które pozwolą na zrównoważone i racjonalne gospodarowanie wodą opadową. Szereg innowacyjnych rozwiązań technicznych i instalacyjnych opisanych zostało w technicznej literaturze, także polskiej, jako zrównoważone systemy drenażu (ang. *sustainable drainage systems*). Ważnym narzędziem służącym poprawie retencji w miastach są nawierzchnie wodoprzepuszczalne.

Poniżej przedstawione zostały przykłady nawierzchni wodoprzepuszczalnych, które należy brać pod uwagę przy projektowaniu ciągów pieszych i rowerowych, ulic, placów, parkingów, boisk sportowych czy placów zabaw. Równocześnie wskazano zalety oraz problemy związane z ich stosowaniem.

Poniżej przedstawione zostały przykłady nawierzchni wodoprzepuszczalnych, które należy brać pod uwagę przy projektowaniu ciągów pieszych i rowerowych, ulic, placów, parkingów, boisk sportowych czy placów zabaw. Równocześnie wskazano zalety oraz problemy związane z ich stosowaniem.

### Ażurowe systemy budowy nawierzchni

W miejscach o niewielkim natężeniu ruchu można z powodzeniem zastosować ażurowe systemy wzmocnienia nawierzchni. Na rynku dostępne są aktualnie elementy betonowe, klinkierowe, względnie wykonane z tworzyw sztucznych, umożliwiające układanie półprzepuszczalnych nawierzchni.

Betonowe płyty ażurowe (ang. *openwork concrete slabs*) mogą być stosowane przy wykonaniu dróg dojazdowych, podjazdów oraz przy zabezpieczaniu skarp. Mają kształt kratki o szerokich spoinach. Wycięte w środku otwory wypełnia się piaskiem, żwirem lub żyzną ziemią i obsiewa trawą. Ażurowa forma przepuszcza wody deszczowe, zabezpieczając grunt przed osuwaniem się [17]. Popularne stają się kostki betonowe z wypustkami dystansowymi wzdłuż krawędzi, umożliwiające ułożenie zapewniające pozostanie między kostkami odpowiednio szerokich odstępów (fot. 1) [31].



Fot. 1. Nawierzchnia z kostki betonowej z wypustkami dystansującymi [31]

Rozwiązanie alternatywne dla elementów betonowych stanowią kratki wykonane z tworzywa PE – polietylenu (ang. *grid pavers*), które analogicznie można wypełnić żwirem lub ziemią urodzajną (fot. 2). Kratki mają kształt kwadratu lub prostokąta o zróżnicowanych wymiarach (najczęściej o kilkudziesięciocentymetrowych bokach). Różnią się między sobą wysokością, strukturą oraz wielkością komór, co wpływa na ich przeznaczenie. Poszczególne elementy systemu łatwo można połączyć za pomocą zaczepów. Pomimo że kratki z tworzywa wyglądają na dość delikatne, po wypełnieniu stanowią nawierzchnię odporną na znaczne obciążenia. Producenci

podają wartość dopuszczalnego obciążenia statycznego od 250 do 400 t/m<sup>2</sup>, zależnie od modelu kratki. Elementy są odporne na temperaturę od -30 do +85°C oraz są stosunkowo lekkie (przewaga nad elementami betonowymi). Trawnik założony na takim stabilizowanym podłożu zaliczany jest do powierzchni biologicznie czynnej, a ponieważ powierzchnia przepuszczalna stanowi około 96%, można stwierdzić, że prawidłowo wykonana konstrukcja zapewnia niezakłócony obieg wody. Dużą zaletą jest fakt, iż tego rodzaju trawnik można kosić standardową kosiarką.



Fot. 2. Kratka z tworzywa PE z przykładowymi wypełnieniami, Geosystem [30]

Na polskim rynku dostępne są obecnie dedykowane specjalne mieszanki nasion traw wytrzymałych na wydeptywanie oraz tolerujących niedobory wody i składników pokarmowych. W ofercie znaleźć można także specjalne kratki o konstrukcji plastra miodu, do podstawy których zostały wprasowane arkusze porowatej geowłókniny budowlanej. Takie rozwiązanie zapobiega przedostawaniu się żwiru pod elementy systemu oraz wgniataniu go w podłoże, co zapobiega również przeraśnianiu chwastów przez nawierzchnię [20] [29].

## Nawierzchnie o podłożu mineralnym

Wodoprzepuszczalne, naturalnie stabilizowane nawierzchnie mineralne, wykonane z różnych frakcji żwiru, przeznaczone są do stosowania w alejach parkowych, na ścieżkach edukacyjnych i leśnych, placach zabaw czy na terenie siłowni usytuowanych na wolnym powietrzu. Koszt wykonania tego rodzaju nawierzchni jest stosunkowo nieduży, znacznie mniejszy od nawierzchni z kostki betonowej. Aby zapewnić trwałość nawierzchni o podłożu mineralnym, należy zwrócić uwagę na prawidłowo wykonaną podbudowę, a także zastosować krawężniki względnie obrzeża. Ograniczenie w stosowaniu nawierzchni żwirowych stanowi spadek terenu większy niż 5%. W przypadku znacznego spadku terenu może dojść do obsypywania się i wymywania kruszywa. Nawierzchnie o podłożu mineralnym charakteryzują się stosunkowo małą trwałością – kruszywo przemieszcza się, ubytki i nierówności na jego powierzchni z czasem powiększają się, a po opadach deszczu zamieniają w kałuże, które następnie przerastają chwastami i trawą. W związku

z powyższym powstała konieczność produkcji nawierzchni syntetycznych, które będą pozbawione tych wad. Do dyspozycji mamy obecnie między innymi nawierzchnie mineralno-żywiczne oraz różnego typu betony przepuszczalne [17].

## Nawierzchnie mineralno-żywiczne

Wodoprzepuszczalne nawierzchnie mineralno-żywiczne (tzw. beton żywiczny) przypominają do złudzenia gładkie nawierzchnie żwirowe. Są one wykonane z naturalnego kruszywa, np. grysu lub żwiru, związanego niewielką ilością żywicy epoksydowej. To spoiwo poliuretanowe, przechowywane w postaci dwóch komponentów, których zmieszanie w odpowiednich proporcjach przy użyciu mieszadła mechanicznego powoduje powstanie zastygającej masy. Masę łączy się następnie z wybranym kruszywem i w całości wylewa na przygotowane wcześniej podłoże. Czas wiązania, po którym nawierzchnia nadaje się do użytkowania, wynosi około ośmiu godzin przy temperaturze otoczenia ok. 15°C. Całkowite obciążenia nawierzchnia może przenosić po około 1–3 dniach.

Nawierzchnie mineralno-żywiczne charakteryzują się bardzo wysoką wytrzymałością na czynniki mechaniczne, nie mają tendencji do przemieszczania się. Możliwe jest ich ułożenie na powierzchniach o znacznym nachyleniu, nawet do 45°, ponadto są odporne na promieniowanie UV, mróz oraz sól drogową. Do zalet należy także odporność na przeraśnianie chwastami oraz niekorzystne warunki do osiedlania przez owady. Konserwacja tego rodzaju nawierzchni polega na okresowym oczyszczaniu wodą za pomocą myjki ciśnieniowej. W przypadku uszkodzeń, które zdarzają się rzadko, naprawa nawierzchni polega na wycięciu zniszczonego fragmentu za pomocą przecinarki z tarczą diamentową oraz wypełnieniu nową mieszanką. Żywica epoksydowa jest nietoksyczna i może podlegać procesom recyklingu [8].



Fot. 3. Zdjęcie prezentuje właściwości wodoprzepuszczalne nawierzchni „Terraway” [14]

Żywica epoksydowa ma właściwości wodoprzepuszczalne, a przy tym nie wyflukuje się (fot. 3). Cząstki kruszywa zostają połączone (sklejone) za jej pomocą punktowo na kra-

wędziach, tworząc porowatą strukturę, przez którą swobodnie przedostaje się powietrze i przepływa woda. Producenci zapewniają o przepuszczalności na poziomie 1,2 dm<sup>3</sup> wody/min/m<sup>2</sup>, pod warunkiem prawidłowego wykonania podbudowy. Powinna się ona składać minimum z dwóch warstw zagęszczanych, dolnej (odsączającej) wykonanej z piasku kopanego oraz warstwy górnej (nośnej) z kruszywa łamanego frakcji 4–31,5 mm. Dzięki odpowiedniej wodoprzepuszczalności na powierzchni nie tworzą się kałuże, a boiska, względnie place zabaw, mogą być używane bezpośrednio po opadach deszczu [2]. Komórkowa struktura nawierzchni mineralno-żywnicznych pozwala równocześnie na gromadzenie się niewielkich ilości cieczy w porach między drobkami kruszywa, tworząc rezerwuuar dla znajdujących się w pobliżu drzew i krzewów. Możliwe jest wykonywanie tych nawierzchni nawet w bezpośredniej odległości od pni drzew. Z tego powodu można wykorzystywać takie rozwiązanie do mechanicznej ochrony korzeni drzew rosnących wzdłuż ciągów pieszych i pieszo-jezdnych (fot. 4) [19]. Pierwsze nawierzchnie mineralno-żywniczne w Polsce zaczęły być wykonywane już kilkanaście lat temu na drogach rowerowych i bieżniach sportowych, jako niemiecka technologia znana pod marką TerraWay<sup>®</sup>. Obecnie wiadomo, że mieszanki kruszywa z żywicą sprawdzają się doskonale również na alejach parkowych, placach zabaw i parkingach. Takie nawierzchnie można wykonywać nawet na dużych placach, bez konieczności budowania dodatkowych elementów systemu odprowadzania wody opadowej – spadków, względnie odwodnień. Możliwe jest również utwardzanie płaszczyzn o dużym kącie nachylenia takich jak drogi podjazdowe, skarpy czy budowanie skateparków. Są przyjazne dla osób niepełnosprawnych, wózków dziecięcych oraz kobiecych szpilek [14].



Fot. 4. Nawierzchnia mineralno-żywniczna wykonana nad korzeniami drzewa przyulicznego [14]

Istotny jest łatwy montaż nawierzchni mineralno-żywnicznych w połączeniu z innymi materiałami, np. kostką betonową. Ceny wykonania nawierzchni zależą od jej przeznaczenia (przewidywane obciążenie), głębokości przemarzania gruntu (konieczność wykonania grubszej warstwy drenażowej) oraz rodzaju użytego kruszywa.

## Wodoprzepuszczalny beton cementowy

Beton przepuszczalny, nazywany także komórkowym lub jamistym (ang. *permeable concrete*, *pervious concrete*, *porous concrete*), jest materiałem o wielu zaletach ekologicznych i ekonomicznych. Od roku 1960 jest koncepcją obecną w kręgu zainteresowań badawczych Agencji Ochrony Środowiska (EPA). Beton przepuszczalny stanowi ważny element systemu zrównoważonego budownictwa, jako jedna z technik stosowanych w celu podniesienia poziomu i ochrony wód gruntowych, zmniejszenia deficytu wody w środowisku oraz ograniczenia częstości i skali powodzi na terenach zurbanizowanych [18].

Beton komórkowy to specyficzny rodzaj betonu lekkiego, całkowicie pozbawionego piasku lub o jego niskiej zawartości, zbudowany z kruszyw o grubszym uziarnieniu, tj. żwiru i tłucznia (frakcje powyżej 4 mm). Ziarna kruszywa zostają połączone trwale za pomocą cementu, tworząc agregat o wysokiej porowatości – wolne przestrzenie pomiędzy ziarnami stanowią 15–25% objętości (fot. 5). Prędkość przepływu wody przez beton wynosi zazwyczaj około 0,34 cm/s, co daje 200 l/m<sup>2</sup>/min [33]. Beton przepuszczalny powinien być umieszczony na 3–5 cm warstwie kruszywa [6].

Zastosowanie wodoprzepuszczalnych nawierzchni wpisuje się w trendy zrównoważonego rozwoju terenów zurbanizowanych takich jak programy Low Impact Development (LID) czy Water Sensitive Urban Design (WSUD). Koncepcja LID zakłada zabudowę terenów zurbanizowanych o niskim oddziaływaniu na środowisko naturalne, natomiast koncepcja WSUD zakłada planowanie rozwoju miast ukierunkowane na wodę. Użycie mieszanek z przepuszczalnego betonu, w kontekście systemów LID, można rozpatrywać pozytywnie co najmniej w kilku kategoriach takich jak: racjonalne gospodarowanie wodą, budownictwo i rozwój zrównoważony, innowacyjność w projektowaniu, użycie naturalnych i miejscowych materiałów. Wykorzystywanie betonu przepuszczalnego do wykonywania nawierzchni utwardzonych, w opinii amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (EPA), należy do najlepszych praktyk gospodarowania wodą. W wielu przypadkach eliminuje potrzebę budowy kanalizacji burzowej czy rowów infiltracyjnych. Zastosowanie nawierzchni z betonu jamistego przyczynia się do zmniejszenia całkowitych kosztów projektu już na samym początku prac projektowych. Równocześnie beton przepuszczalny stanowi swego rodzaju pierwotny filtr w przypadku zanieczyszczeń zawartych w wodzie. Właści-



Fot. 5. Właściwości wodoprzepuszczalne porowatego betonu [26]

cielo nieruchomości i deweloperzy mogą liczyć w dalszych kalkulacjach na niższe koszty związane z amortyzacją nawierzchni z betonu komórkowego. Prawdłowo wykonana nawierzchnia pozwala na ciągłe użytkowanie nawet przez 20–40 lat [1].

Beton jamisty jest coraz powszechniej stosowany na parkingach, lotniskach, osiedlach mieszkaniowych, ciągach pieszo-jezdnych oraz podjazdach. Wykorzystywany jest również do budowy nawierzchni w obrębie kortów tenisowych, płyt dennych fontann względnie podłóg w szklarniach i cieplarniach. Przy zachowaniu infiltracji technologia pozwala na wykonanie nawierzchni o nachyleniu do 12%. Koszt budowy jest zazwyczaj wyższy o około 15% niż w przypadku tradycyjnego betonu oraz cztery razy wyższy niż w przypadku mieszanek mineralno-asfaltowych.

Należy wspomnieć również o poprawie bezpieczeństwa kierowców, jaki stwarza wykonanie nawierzchni z zastosowaniem betonu komórkowego. Przepuszczalność uniemożliwia gromadzenie się wody deszczowej i śniegu na jezdni, a porowata powierzchnia zapewnia pojazdom zwiększoną szorstkość, zmniejszając ryzyko poślizgu. Brak kałuż eliminuje tzw. zjawisko olśnienia podczas jazdy w porze nocnej. Niektórzy badacze uważają także, że nawierzchnie przepuszczalne są łatwiejsze w odśnieżaniu, a ich puste przestrzenie pozwalają na szybsze rozmrażanie oblodzenia [1].



Fot. 6. Porównanie nawierzchni dwóch odśnieżonych parkingów – mokra nawierzchnia asfaltowa (u góry) oraz sucha nawierzchnia z betonu komórkowego (u dołu) [33]

Przepuszczalna nawierzchnia betonowa nie powinna być wykonywana w miejscach narażonych na wycieki niebezpiecznych substancji. Wadą betonu przepuszczalnego w naszym klimacie może okazać się ograniczona przydatność zimą, gdy stopy zgniatanego śniegu oraz niewłaściwe przeprowadzanie odladzania (stosowanie piasku) mogą zablokować puste przestrzenie i znacznie zmniejszać prędkość filtracji. W okresie występowania dużych mrozów, w przypadku kiedy woda nie wsiąknie w zamrożone podłoże, a pozostanie w wolnych przestrzeniach betonu, może to spowodować uszkodzenia nawierzchni. Również pługi odśnieżające mogą uszkodzić powierzchnię betonu.

Przepuszczalny beton został wprowadzony na rynek przez Towarzystwo Betonowe Florydy (USA), gdzie cieszy się największą popularnością [6]. W Polsce beton jamisty posiada w swojej ofercie m.in. firma Lafarge (materiał występuje pod nazwą Hydromedia). Podobne rozwiązanie proponuje producent materiałów budowlanych w Wielkiej Brytanii, firma Tarmac. Rodzaj betonu, który nazwano Topmix Permeable, charakteryzuje się porowatością na poziomie 20-35% i przesącza wodę, w zależności od wariantu, z prędkością od 150 do nawet 1 000 l/godz/m<sup>2</sup> [7] [37].

W Denver (USA) przeprowadzono badania w obrębie dwóch parkingów – jeden parking wykonano z warstw asfaltowych, drugi z betonu komórkowego. Obserwacji dokonywano po opadach śniegu (fot. 6). Zaobserwowano, iż parking wykonany z betonu jamistego został osuszony dużo szybciej a sucha nawierzchnia znacznie zmniejsza ryzyko związane z ponownym zamrożeniem zastoisk wody, co zwiększa trwałość nawierzchni i bezpieczeństwo użytkowania [33].

## Asfalt porowaty

W grupie nawierzchni wodoprzepuszczalnych wykonywane jest rodzaj nawierzchni określany jako asfalt porowaty PA [40] (ang. *porous asphalt*, *permeable asphalt*).

Składniki asfaltu porowatego obejmują wysokiej jakości kruszywa, środek stabilizujący oraz lepiszcze – wyłącznie asfalt modyfikowany. Zaprojektowana mieszanka o dużej zawartości wolnych przestrzeni umożliwia drenowanie wody opadowej, która odprowadzana jest po dolnej szczelnej warstwie – do krawędzi jezdni.

W celu zapewnienia odpowiedniej wodoprzepuszczalności asfalt porowaty do warstwy ścieralnej powinien mieć co najmniej 18% wolnych przestrzeni [40] lub 16% zgodnie z [6] [9].

Asfalt porowaty nie wymaga specjalistycznych urządzeń do jego wytworzenia. Sposób wykonywania jest również zbliżony do układania tradycyjnych warstw asfaltowych. Ruch pojazdów dopuszcza się po ok. 48 godzinach od ułożenia nawierzchni. Okresowa konserwacja polega na usuwaniu przy użyciu specjalnych urządzeń drobnych osadów, w celu optymalizacji przepuszczalności [38]. Na całkowity koszt wykonania wpływają takie czynniki jak: łatwość uzyskania odpowiednich materiałów (cena materiału i transportu), warunki terenowe (obecność zboczy, odległość do budynków, dostęp maszyn), ewentualna potrzeba wykonania dodatkowych elementów odbioru wody. Średni koszt ułożenia metra kwadratowego nawierzchni z asfaltu porowatego w USA wynosi 5 do 10 dolarów [10].

Asfalt porowaty był i jest stosowany od kilkudziesięciu lat na drogach w Stanach Zjednoczonych, a także i innych krajach np. Japonii, najczęściej jako warstwa ścieralna, układana na nieprzepuszczalnej warstwie lub specjalnym uszczelnieniu. Zasadniczym celem jest uzyskanie dobrej szorstkości, a także obniżenie poziomu emitowanego hałasu. Asfalt porowaty układany dwuwarstwowo zalecany jest na drogi, po których poruszają się pojazdy o niższym ciężarze oraz z mniejszą prędkością. Projekty pilotażowe wykorzystują jednak takie rozwiązanie również przy budowie autostrady w Stanach Zjednoczonych [5].

Asfalt porowaty stosowany jest również na powierzchniach parkingowych, boiskach, placach, chodnikach, a także w przypadku jezdni ulic wymagających wyciszenia. Możliwe są także zastosowania jedynie dotyczące pewnej części projektu, w połączeniu z nawierzchnią nieprzepuszczalną, na przykład wzdłuż poboczy, czy na fragmentach chodnika.

Ograniczenia w stosowaniu asfaltu przepuszczalnego występują na obszarach narażonych na ekstremalne naciski od kół pojazdów oraz wszędzie tam, gdzie istnieje możliwość wycieku paliwa lub innych niebezpiecznych substancji (ryzyko skażenia wód gruntowych) [3]. Główną przyczyną uszkodzeń nawierzchni w polskim klimacie są występujące cykle zamrażania i rozmrażania. Istnieją poglądy, że dobre odprowadzanie wody z nawierzchni porowatej umożliwiłoby użycie asfaltu porowatego zamiast zastosowania konwencjonalnej nawierzchni asfaltowej [4]. Żywotność nawierzchni parkingów wykonanych z tradycyjnych mieszanek asfaltowych wynosi około 15 lat, podczas gdy w przypadku właściwie zbudowanej i konserwowanej nawierzchni z asfaltu porowatego okres ten określa się na około 15–20 lat. W Stanach Zjednoczonych, przy tamtejszym Stanowym Rezerwacie Przyrody Stawu Walden (*Walden Pond State Reservation*) w hrabstwie Boulder (Massachusetts), znajduje się jeden z najstarszych parkingów o nawierzchni z asfaltu porowatego, zbudowany dla pojazdów odwiedzających rezerwat w 1977 r. Nawierzchnia na tym parkingu wciąż jest w dobrym stanie i w dalszym ciągu skutecznie odprowadza wodę. Od początku istnienia parkingu nie było potrzeby wykonania dodatkowej kanalizacji burzowej [22] [24] [32]. W naszym kraju przyjmuje się, że żywotność nawierzchni porowatej obliczona jest na 8–10 lat, a standardowej na 12 lat. W przypadku nawierzchni przepuszczalnych, w zasadzie nie występuje zjawisko gołoledzi i zamrażania miejsc, w których gromadzi się woda [4]. Parking przy uniwersytecie New Hampshire (USA) [16] jest również przykładem trwałości

ści nawierzchni wykonanej z asfaltu porowatego, pomimo że zimowe utrzymanie nawierzchni tego parkingu następuje z użyciem chlorku sodu.

## Nawierzchnie porowate z odpadowego szkła

Na przestrzeni kilku ostatnich lat, głównie w USA, Wielkiej Brytanii, Irlandii i Niemczech, rozpoczęto testowanie nawierzchni porowatych z wykorzystaniem odpadowego szkła (ang. *recycled glass porous pavement*). Proces wykonania zbliżony jest do nawierzchni mineralno-żywiczych, w których spoiwem jest żywica epoksydowa. Kruszywo mineralne zostaje zastąpione mieszanką, której składnikiem jest odpad szklany (fot. 7 i 8). Mieszanka może składać się nawet w 100% ze szkła, względnie ze szkła i kruszywa w różnych proporcjach (do 20% szkła i 80% kruszywa w miejscach narażonych na ruch pojazdów ciężkich) [25].

Nawierzchnie wykonane ze szkła cechuje bardzo wysoka porowatość (39-47% wolnych przestrzeni), tzn. jest dwukrotnie wyższa niż w przypadku asfaltu porowatego [28]. Na wykonanych odcinkach zaobserwowano stosunkowo wolniejsze zamykanie się porów w nawierzchni, z czym związane są niższe koszty oczyszczania. Podobnie jak w przypadku innych przepuszczalnych nawierzchni, okresowe usuwanie zanieczyszczeń jest konieczne do utrzymania wysokiego poziomu filtracji. Badania wykazały, że nawierzchnie z użyciem odpadów szklanych funkcjonują bardzo dobrze w okresie do pięciu lat – bez wykonania zabiegu. Należy jednak podkreślić, że mieszanki o większej zawartości szkła (powyżej 50%) wymagają co dwa, trzy lata ułożenia cienkiego pokrowca na bazie żywicy [39].

Opisana innowacyjna technologia jest niezwykle ważna z punktu widzenia ochrony środowiska. Szacuje się, że ak-



Fot. 7. Mieszanka recyklingowanego szkła [28]



Fot. 8. Budowa nawierzchni z recyklingowanego szkła [28]

tualnie recyklingowi poddawane jest jedynie około 25% zużytych szklanych opakowań, reszta natomiast trafia na wysypiska śmieci. Do wykonania jednego metra kwadratowego nawierzchni (z mieszanki zawierającej 100% szkła) wykorzystuje się aż około 900 butelek po napojach. W USA inwestycje, które obejmują wykonanie nawierzchni z odpadowego szkła, otrzymują z tego tytułu dodatkowe punkty przyznawane w systemie LID [25] [27].

Nawierzchnie porowate z wykorzystaniem odpadowego szkła mogą znaleźć zastosowanie na parkingach, ulicach, chodnikach, w przestrzeni publicznej, a także w strefach pod koronami drzew rosnących na obszarach miejskich (fot. 9.). Amerykańskie Stowarzyszenie Przedsiębiorstw, Właścicieli Nieruchomości i Instytucji na Rzecz Zrównoważonego Miasta „ABC – A Better City” szacuje, że koszt wykonania opisanej nawierzchni zawiera się w przedziale pomiędzy 85 a 180 dolarów za metr kwadratowy. Żywotność takiej nawierzchni określa się na minimum 15 lat [25].

Jednym z czołowych wykonawców opisywanych nawierzchni jest amerykańska firma FilterPave. W ofercie tej firmy są nawierzchnie składające się z mieszanki odpadowego szkła oraz żwiru pochodzącego z miejscowych żwirowni, wykonane w stosunku 50/50 lub odpowiednio 20/80 oraz spoiw pigmentowych. Wariant nr 1 przeznaczony jest



Fot. 9. Przykłady zastosowania nawierzchni z odpadowego szkła – otoczenie drzew w przestrzeni miejskiej oraz parking samochodowy [27] [36]

do ciągów pieszo-jezdnych i przy lekkim obciążeniu ruchem pojazdów, drugi stosowany jest w miejscach obsługujących bardziej intensywny ruch kołowy. Możliwe jest wykonywanie mniejszych powierzchni, nawet oddalonych od siebie i późniejsze ich łączenie, co zapewnia elastyczność w projektowaniu i wykonywaniu. Zastosowanie różnokolorowych kamieni naturalnych, np. granitu oraz szkła, pozwala na wyznaczenie ciągów pieszych lub terenów o różnym sposobie użytkowania.

Do największych zalet nawierzchni szklanych zalicza się porowatość na poziomie 38%, wykorzystywanie w produkcji do 96% materiałów pochodzących z recyklingu oraz zmniejszanie efektu tworzenia się tzw. wysp ciepła w centrach dużych miast w okresie letnim [28].

## Nawierzchnie z płyt i kostek gumowych

Dzięki metodzie recyklingu możliwe jest również wykonywanie nawierzchni z płyt i kostek gumowych. Spośród technologii dostępnych na polskim rynku warto wspomnieć o dwuwarstwowej nawierzchni syntetycznej w formie gumowych płyt (fot. 10). Dolna warstwa wykonana jest z granulatu SBR, natomiast warstwa górna wykonywana jest na bazie granulatu EPDM. Warstwa EPDM, w porównaniu do SBR, jest bardziej odporna na promieniowanie UV. Poza tym ten rodzaj granulatu jest barwiony w całej masie, dlatego ulegając ścieraniu podczas użytkowania kolor warstwy nie ulega zmianie [21].

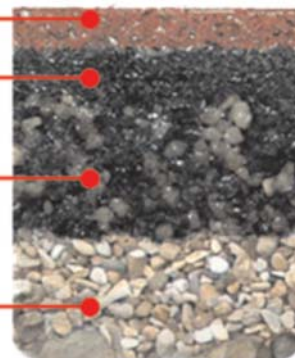
### Przekrój nawierzchni ELTAN 2S

Warstwa użytkowa, granulatu EPDM

Warstwa nośna  
granulatu gumowego SBR

Warstwa stabilizująca ELTAN PET

Podbudowa mineralna  
przepuszczalna dla wody



Fot. 10. Przekrój przez przykładową nawierzchnię gumową [21]

Płyty gumowe najczęściej znajdują zastosowanie na placach zabaw, gdzie mają amortyzować i zmniejszać ryzyko urazu przy upadku z wysokości. Większość z nich spełnia wymagania normy PN-EN 1177:2009 – tzn. tłumią siłę uderzenia i hałas. Materiał ten jest przystosowany do układania zarówno na podłożu twardym, jak i na nawierzchni asfaltowej czy betonowej, względnie na podłożu przepuszczalnym z kruszywa, żwiru lub piasku. Nawierzchnia dodatkowo zapewnia izolację termiczną. Z uwagi na to, że płyty nie odkształcają się pod wywieranym naciskiem, sprawdzą się także jako nawierzchnie bieżni i boisk sportowych. Mogą być stosowane również

na balkonach i tarasach – są odporne na różnego rodzaju naciski. Tworzywo posiada właściwości antypoślizgowe, jest odporne na ścieranie, mróz i inne oddziaływania. Kostki i płyty gumowe są proste w montażu i demontażu, z powodzeniem mogą być przenoszone i montowane w kolejnym miejscu. Nie wymagają konserwacji, a okres żywotności wynosi około 10–15 lat. Nawierzchnia w pełni przepuszcza wodę opadową, zapobiegając tworzeniu się zastoisk wody. Z tego względu umożliwia korzystanie z obiektów sportowych i placów zabaw nawet bezpośrednio po opadach deszczu [23] [34] [35].

## Zastosowanie nawierzchni wodoprzepuszczalnych

Poszczególne nawierzchnie różnią się między sobą m.in. parametrami technicznymi, takimi jak zawartość wolnych przestrzeni i przepuszczalność wody (tab. 1).

Największą porowatością charakteryzują się ażurowe systemy wzmacniania nawierzchni, które są najmniej inwazyjne dla podłoża naturalnego. Uniwersytet w Centralnej Florydzie (University of Central Florida, UCF), który prowadził badania wybranych rodzajów nawierzchni przepuszczalnych, jako cechującą się największą porowatością, wskazał nawierzchnię

Tabela 1. Parametry techniczne nawierzchni przepuszczalnych

Rodzaj nawierzchni	Parametry techniczne	
	Porowatość [%]	Przepuszczalność
Kostka betonowa*	10*	niewielka (konieczność odprowadzania wody deszczowej z terenu)*
Ażurowe systemy wzmacniania	96	zależna od rodzaju gruntu
Warstwy mineralno-żywiczone		1,2 dm <sup>3</sup> wody/min/m <sup>2</sup>
Wodoprzepuszczalny beton cementowy	15-25 (produkcji podają nawet do 35%)	średnia prędkość przepływu wody około 0,34 cm/s, co daje 3,4 dm <sup>3</sup> /min/m <sup>2</sup> (w zależności od wariantu prędkość może wynosić od 150 do nawet 1000 dm <sup>3</sup> /godz./m <sup>2</sup> )
Asfalt porowaty	16	bd
Nawierzchnia z użyciem odpadowego szkła	39-47	bd
Strukturalne mieszanki kamienno-glebowe stosowane jako podbudowa pod nawierzchnie przepuszczalne	26	0,6 m/godz. (infiltracja 15 cm na jedn. pow./dobę)

\* dane dotyczą nawierzchni z kostki betonowej użytej jako wzorzec  
bd – brak danych

wykonaną z użyciem odpadowego szkła. Według danych UCF, nawierzchnie z użyciem szkła cechuje porowatość na poziomie 39–47% co oznacza, że jest ona dwukrotnie wyższa niż w przypadku asfaltu porowatego i betonu przepuszczalnego [15].

Znaczne zwiększenie zdolności retencyjnych, dzięki zastosowaniu nawierzchni wodoprzepuszczalnych, uzyskuje się w przypadku zastosowania jako warstwy nośnej podłoża strukturalnych opartych na mieszance kamienno-glebowej, względnie innych systemów antykompresyjnych. W takim przypadku możliwe jest uzyskanie przyjaznego dla rozwoju korzeni drzew środowiska pod nawierzchnią chodnika, drogi, względnie parkingu, co znacząco przedłuża ich okres żywotności [12] [13].

Analizy wskazują, że zastosowanie przepuszczalnych nawierzchni takich jak beton porowaty, względnie beton żywiczny wpływa na zwiększenie bezpieczeństwa kierowców poruszających się po drogach, zmniejszenie poziomu hałasu, poprawę warunków rozwoju korzeni drzew i innej roślinności oraz zwiększa poziom małej retencji na terenach zurbanizowanych. Nawierzchnie stabilizujące skutecznie zatrzymują część zanieczyszczeń w swych górnych warstwach, poprawiając jakość wody przenikającej w głąb gruntu, dzięki redukcji ilości rozpryskiwanej wody i fakt, że woda wsiąka zamiast zamarać na powierzchni. Zastosowanie nawierzchni wodoprzepuszczalnych pociąga za sobą określone korzyści gospodarcze, ekohydrologiczne i społeczne. Można do nich zaliczyć np. redukcję ryzyka podtopień i powodzi, obniżenie kosztów utrzymania zieleni i poprawę warunków jej rozwoju, poprawę mikroklimatu i zwiększenie bioróżnorodności miast, poprawę estetyki dróg poprzez obecność drzew, zmniejszenie liczby ekranów dźwiękochłonnych, podniesienie społecznej i turystycznej atrakcyjności dróg i miast, przez które przebiegają, względnie kreowanie wizerunku terenu.

Problemami mogą być obniżenie trwałości, zatykanie porów (zmniejszenie stopnia redukcji hałasu w miarę użytkowania) lub obniżenie wodoprzepuszczalności przez zanieczyszczenia i przy niskich temperaturach. Obniżenie trwałości może następować na skutek starzenia lepiszcza (ang. *ravelling*), lub odmywania lepiszcza (ang. *stripping*), czemu w pewnym stopniu może zapobiegać zaprojektowanie składu mieszanki zawierającej wystarczającą ilość lepiszcza. Zanieczyszczeniu (ang. *clogging*) można zapobiegać przez czyszczenie lub samooczyszczenie na odcinkach dróg z większą prędkością a zatykanie porów lodem i śniegiem zimą przez wczesne reagowanie przy zimowym utrzymaniu (Ruttmar i in. 2010<sup>1</sup>).

Chociaż większość z przedstawionych alternatywnych metod gospodarowania wodami opadowymi może być z powodzeniem stosowana w naszym kraju na terenach zurbanizowanych, ich wdrożenie spotyka się w praktyce wciąż z wieloma barierami i problemami różnego pochodzenia, m.in. natury technologicznej, prawnej, ekonomicznej, czy partykularnej.

<sup>1</sup> Ruttmar I., Oracz T., Dudek A., Król J., 2010: Eksploatacja i utrzymanie nawierzchni z asfaltu porowatego. Prezentacja na Seminarium: Zastosowanie nowoczesnych technologii w konstrukcjach drogowych. Zakopane (nie publikowane).

W świetle problemów z którymi borykają się współczesne miasta i ich mieszkańcy, konieczne jest wdrażanie technik zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi (deszczowymi oraz roztopowymi), których celem nie będzie jak najszybsze odprowadzanie wody z terenów miejskich, lecz ich kontrolowane wykorzystanie. Głównym działaniem mającym na celu poprawę gospodarowania wodami opadowymi oraz umożliwienie rozwoju drzew i innej roślinności powinno być ograniczanie spływu powierzchniowego oraz zmniejszenie ilości wody wprowadzanej do kanalizacji, a więc stworzenie warunków wsiąkania wody jak najbardziej zbliżonych do tych, występujących w środowisku naturalnym. Najlepiej spełnią swoją rolę pod tym kątem powierzchniowe systemy infiltracyjne, umożliwiające natychmiastowe przesiąkanie i infiltrację wód deszczowych na obszarze opadu atmosferycznego. Nawierzchnie przepuszczalne, pomimo zastrzeżeń dotyczących ich eksploatacji, umożliwiają uzyskanie znacznych oszczędności. Przykładowo, zastosowanie cichych nawierzchni z asfaltu porowatego pozwala na obniżenie ilości ekranów, co zmniejsza koszty ich budowy i eksploatacji. Oszczędności tego rodzaju są dodatkowym argumentem przemawiającym za stosowaniem nawierzchni wodoprzepuszczalnych.

#### Bibliografia

- [1] Bury M. A., Mawby Ch. A., Fisher D. 2006: *Making Pervious Concrete Placement Easy*, Concrete in Focus Magazine, Gainesville: 55-59
- [2] Duszyński A., Jasiński W., 2014: *Bezpieczeństwo użytkowania wodoprzepuszczalnych cienkich nawierzchni mineralno-żywicznych*, Logistyka 6/2014
- [3] Grabowski L., Stankiewicz B., 2011: *Modernizacja nawierzchni drogowych i mostowych*, Wydział Budownictwa, Politechnika Opolska
- [4] Gunderson J., 2008: *Pervious Pavements: New Findings About Their Functionality and Performance in Cold Climates*, Stormwater, September 2008
- [5] Hossain M., Scofield L.A., Meier W.R., 1992: *Porous Pavement for Control of Highway Runoff in Arizona: Performance to Date*, Transportation Research Record No. 1354, Transportation Research Council, Washington D.C.: 45-54
- [6] Kravčík M., Varga P., Hronský J., Pajtková J., Kravčíková D., 2010: *Zyskaj chroniac środowisko, Część I, Rozdz. II, Zatrzymaj wodę tam, gdzie żyjesz*, Żywiecka Fundacja Rozwoju, Żywiec: 16-36
- [7] Kudelski A., 2015: *Przepuszczalny beton zapobiegnie zalaniu „betonowej dżungli”*, WhatNext, Warszawa
- [8] Maliński J., 2014: *Nawierzchnie monolityczne*, Warszawa, BzG 3/2014
- [9] National Asphalt Pavement Association (NAPA), 2008: *Porous Asphalt Pavements for Stormwater Management: Design, Construction, and Maintenance Guide*, Lanham
- [10] National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), 2005: *Evaluation of Best Management Practices for Highway Runoff Control: Low Impact Development Design Manual for Highway Runoff Control*, Project 25-20(01)
- [11] Rakowska J. [red.], 2012: *Usuwanie substancji ropopochodnych z dróg i gruntów*, Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowodziowej, Państwowy Instytut Badawczy, Józefów
- [12] Suchocka M., 2013: *Podłoża strukturalne i inne metody ułatwiające rozwój drzew w rudnych warunkach siedliskowych miast [w:] Zrównoważony rozwój – zastosowania*, Numer 4/2013, Przyroda w mieście – rozwiązania, Fundacja Sendzimira, Kraków
- [13] Suchocka M., Milanowska, A., 2013: *Przegląd technik poprawy warunków siedliskowych dla drzew miejskich pod kątem możliwości zastosowania ich w warunkach polskich*, Człowiek i Środowisko 37 (4), IGPI: 75-96

- [14] TerraWay – nawierzchnie wodoprzepuszczalne, karta produktu, ERBIS Krajewski – Wieczorek Sp. j. Wrocław, www.terraway.pl (dostęp 28.08.2015r.)
- [15] University of Central Florida (UCF), 2012, *The Eco-Elegance Defined, Performance Testing*, Stormwater Management Academy at the University of Central Florida, Copyright Filter Pave Products LLC, Columbia, USA
- [16] University of New Hampshire Stormwater Center (UNHSC), 2007: *University of New Hampshire Stormwater Center, Annual Report*
- [17] Wagner I., 2014: *Metody zwiększania retencji wody deszczowej do gruntu*, Fundacja Sendzimira, www.uslugiekosystemow.pl
- [18] Wagner I., Krauze K., 2014: *Jak bezpiecznie zatrzymać wodę opadową w mieście? Narzędzia techniczne [w:] Zrównoważony rozwój – zastosowania*, Numer 5/2014, Woda w mieście, Fundacja Sendzimira, Kraków
- [19] Wieczorek R., 2003: *Ekologiczne nawierzchnie TerraWay*, BzG 4/2003, Warszawa
- [20] <http://coregravel.pl>
- [21] [www.arim.com.pl](http://www.arim.com.pl)
- [22] [www.asphaltpavement.org](http://www.asphaltpavement.org)
- [23] [www.bezpiecznanawierzchnia.pl](http://www.bezpiecznanawierzchnia.pl)
- [24] [www.bouldercounty.org](http://www.bouldercounty.org)
- [25] [www.challengeforsustainability.org](http://www.challengeforsustainability.org)
- [26] [www.crmca.com](http://www.crmca.com)
- [27] [www.excavservices.com](http://www.excavservices.com)
- [28] [www.filterpave.co.uk](http://www.filterpave.co.uk)
- [29] [www.hortnas.pl](http://www.hortnas.pl)
- [30] [www.kratkatrawnikowa.pl](http://www.kratkatrawnikowa.pl)
- [31] [www.lowimpactdevelopment.org](http://www.lowimpactdevelopment.org)
- [32] [www.pavegreen.org](http://www.pavegreen.org)
- [33] [www.perviouspavement.org](http://www.perviouspavement.org)
- [34] [www.playtime.pl](http://www.playtime.pl)
- [35] [www.semag.pl](http://www.semag.pl)
- [36] [www.sustainableisgood.com](http://www.sustainableisgood.com)
- [37] [www.tarmac.com](http://www.tarmac.com)
- [38] [www.water.epa.gov](http://www.water.epa.gov)
- [39] [www.wzsupply.com](http://www.wzsupply.com)
- [40] Wymagania techniczne. WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2014

### Z serwisu GDDKiA

#### Bezpieczeństwo na drogach priorytetem. GDDKiA i Policja zacieśniają współpracę

W Komendzie Głównej Policji podpisano porozumienie między Komendantem Głównym Policji i Generalnym Dyrektorem Dróg Krajowych i Autostrad w sprawie współdziałania jednostek organizacyjnych Policji i Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w zakresie działań na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego. Zakres współdziałania obejmuje w szczególności:

- wymianę i weryfikację danych o drogach i zdarzeniach drogowych,
- wymianę analiz i opracowań dotyczących stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego,
- identyfikację miejsc szczególnie niebezpiecznych na drogach,
- podejmowanie działań z zakresu profilaktyki bezpieczeństwa ruchu drogowego,
- prowadzenie wspólnych kontroli stanu technicznego dróg, oznakowania poziomego i pionowego, sygnalizacji świetlnej, urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz miejsc szczególnie niebezpiecznych.

Obie instytucje od wielu lat współpracują w zakresie wymiany informacji o wypadkach drogowych oraz wymieniają się doświadczeniami w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego. Dynamiczny rozwój sieci dróg w Polsce, nowe technologie zarządzania ruchem, wymagają stałego współdziałania wszystkich podmiotów odpowiedzialnych za organizację i bezpieczeństwo ruchu na drogach.

25.01.2017

(<http://www.gddkia.gov.pl>)