

Innowacyjne rozwiązania w nowoczesnej infrastrukturze odwodnieniowej

tekst: prof. dr hab. inż. DANIEL SŁYŚ, dr inż. AGNIESZKA STEC, dr inż. KAMIL POCHWAT,

prof. dr hab. inż. JÓZEF DZIOPAK, Politechnika Rzeszowska, Katedra Infrastruktury i Gospodarki Wodnej

Tereny nieprzekształcone w wyniku działalności człowieka charakteryzują się tym, że istnieje na nich dynamiczna i naturalna równowaga ilościowa występująca pomiędzy zjawiskami opadu z jednej strony a procesami spływu, wsiąkania i parowania wody opadowej z drugiej. Urbanizacja i rozwój terenów miejskich powoduje ekspansję powierzchni uszczelnionych na obszary do niedawna słabo zagospodarowane i pokryte roślinnością. Wpływa to na zwiększenie intensywności odpływu wód opadowych, oddziałujące niekorzystnie na funkcjonowanie infrastruktury miejskiej i odbiorniki wód. Problem okresowego nadmiaru wód wymaga podjęcia szeregu działań mających na celu ich zagospodarowanie, a w przypadku, gdy są one zanieczyszczone, również utylizację.

1. Wprowadzenie

Racjonalne zarządzanie wodami opadowymi na terenach miejskich nabiera tym większego znaczenia, że mamy obecnie do czynienia z intensywnym rozwojem procesów urbanizacyjnych. Wzrost migracji ludności do miast wymusza konieczność ich rozbudowy przez zwiększanie zasięgu terytorialnego lub intensyfikację zabudowy już istniejącej. Obecnie prawie 54% ludności świata mieszka w terenach zurbanizowanych, a przewiduje się, że procent ten wzrośnie do 66% w 2050 r. [1]. Najbardziej zurbanizowane regiony na świecie to Stany Zjednoczone Ameryki Północnej (82%), Ameryka Południowa (80%) i Europa (73%). Według prognoz, w 2025 r. liczba miast, które będą zamieszkałe przez co najmniej 1 mln mieszkańców, wyniesie ponad 400 [2].

Dotychczasowa polityka miast w zakresie projektowania i budowy infrastruktury odwodnieniowej obarczona jest wieloma konsekwencjami wynikającymi z ingerencji człowieka w naturalny bilans wodny zlewni. Wśród tych negatywnych skutków najważniejsze to: przeciążenie hydrauliczne sieci kanalizacyjnych i oczyszczalni ścieków, występowanie tzw. powodzi miejskich, wezbrania wód odbiorników powierzchniowych

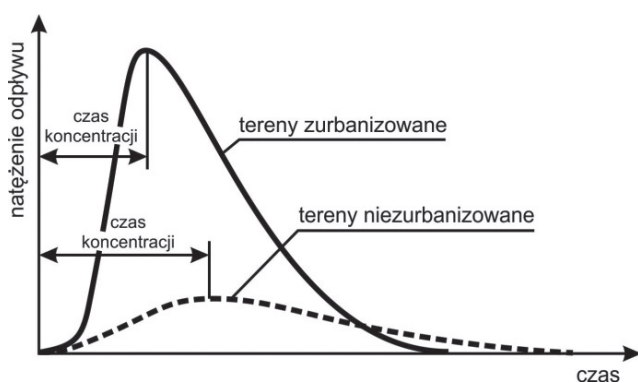
ścieków i ich zanieczyszczenie, a także obniżanie się poziomu wód gruntowych [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Na rycinie 1 pokazano różnicę w kształtowaniu się odpływu ze zlewni w zależności od sposobu jej zagospodarowania.

Na terenach o naturalnym pokryciu roślinnością wody opadowe w zasadniczej części infiltrują do gruntu. Natomiast tereny przekształcone przez człowieka charakteryzują się krótkimi czasami koncentracji odpływów wód opadowych oraz dużą ich dynamiką. Ze względu na redukcję ilości wód wsiąkających w grunt oraz zmniejszenie współczynnika szorstkości podłoża odpływ ten ma często charakter gwałtowny i prowadzi do przeciążenia systemów odwodnieniowych oraz cieków będących odbiornikami wód opadowych.

2. Zrównoważone gospodarowanie 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 [11]. 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. Równie ważne są także działania zmierzające do ograniczania ilości zanieczyszczeń odprowadzanych wraz z wodami deszczowymi do odbiorników. Realizacja tej polityki w zlewniach miejskich powinna być zatem ukierunkowana na [10]:

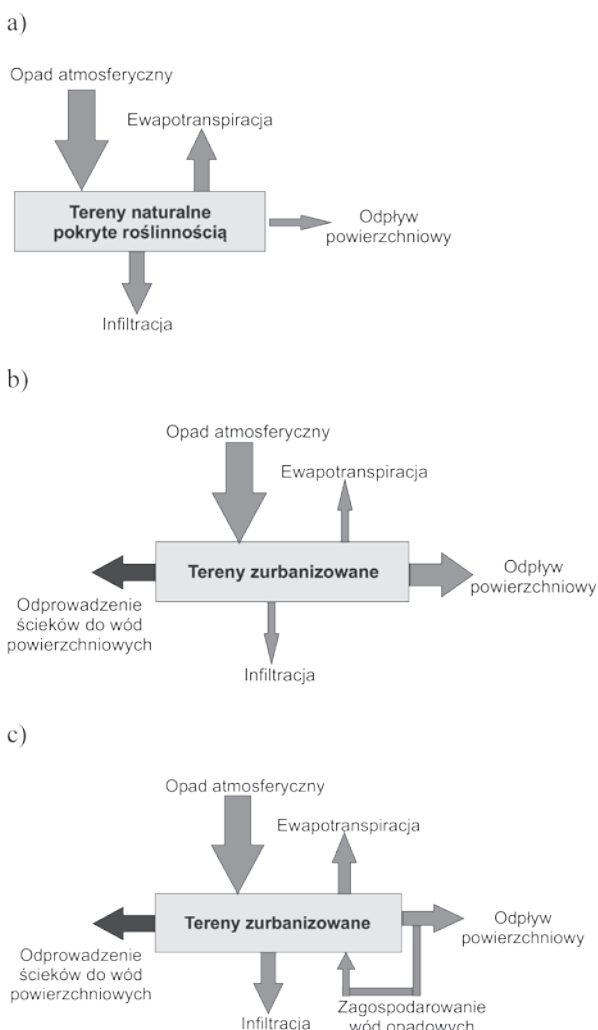
- redukcję spływu ścieków ze zlewni systemami kanalizacyjnymi przez stosowanie urządzeń i obiektów do retencjonowania i infiltracji wód opadowych do gruntu,



Ryc. 1. Hydrogram odpływu wód opadowych z terenów niezurbanizowanych i terenów przekształconych przez człowieka [10]

- wykorzystanie retencji kanałowej i zbiornikowej służącej do zmniejszenia natężenia i częstości odpływu ścieków opadowych do odbiorników,
- redukcję ładunków zanieczyszczeń odprowadzanych wraz z wodami do odbiorników przez ich podczyszczenie w urządzeniach oczyszczających,
- poprawę stanu technicznego istniejących systemów kanalizacyjnych odprowadzających wody opadowe w celu ograniczenia zjawiska infiltracji wód gruntowych do tych systemów,
- odprowadzanie ścieków opadowych o wysokim stężeniu zanieczyszczeń do systemów kanalizacyjnych i oczyszczalni ścieków,
- wielopunktowy odpływ wód opadowych do odbiorników wodnych przeciwdziałający zanikowi przepływów wód, szczególnie w małych ciekach, w wyniku zachwiania równowagi w naturalnych warunkach wodnych w zlewni i przebiegu cieków.

Gospodarka wodami opadowymi prowadzona jest na różnych etapach zbierania, transportu i utylizacji wód i ścieków opadowych. Należy jednak zawsze dążyć do stosowania rozwiązań systemowych oraz rozpatrywania gospodarki wodami opadowymi w ujęciu szerszym, tj. całościowego bilansu wód w danej zlewni. Schemat obrazujący ideę zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi w zlewniach miejskich na tle terenów o naturalnym bilansie wód przedstawiono na rycinie 2.



Ryc. 2. Idea zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi w zlewniach miejskich na tle terenów o naturalnym bilansie wód (na podstawie: [10])

W gospodarowaniu wodami opadowymi zgodnie z ideą zrównoważonego rozwoju znajdują zastosowanie różne obiekty i urządzenia do retencji i infiltracji wód do gruntu, które zaliczane są do zrównoważonych miejskich systemów odwadniających (*sustainable urban drainage systems – SUDS*) [12]. Mogą stanowić one 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 [13, 14, 10, 15]: powierzchnie nieuszczelnione i perforowane, studnie i niecki chłonne, rigole i drenaże rozsączające, skrzynki i komory drenażowe, ogrody deszczowe, dachy zielone i podpiętrzone oraz 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 zastosowanie znajdują [16, 17, 18]: zbiorniki retencyjne, zbiorniki retencyjno-filtracyjne oraz zbiorniki i niecki chłonne.

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

3. Innowacyjne rozwiązania techniczne stosowane w zagospodarowaniu wód deszczowych

3.1. Urządzenia do podczyszczenia wód opadowych

Odprowadzenie wód opadowych do wód powierzchniowych lub do gruntu wymaga spełnienia określonych przepisami prawnymi lub wymaganiami technicznymi standardów jakościowych. Dotyczy to przede wszystkim zanieczyszczeń wód opadowych zawiesziną, substancjami ropopochodnymi i metalami ciężkimi.

Procesy oczyszczania wód opadowych mogą być realizowane na różnych etapach ich zagospodarowywania i transportu. Biorąc to pod uwagę, rozwiązania techniczne stosowane w tych procesach można podzielić na te, które są lokalizowane w miejscu ujmowania odpływu wód opadowych, oraz te, które są sytuowane bezpośrednio przed ich wprowadzeniem do odbiornika lub gruntu. Do obiektów stosowanych na etapie ujmowania wód opadowych można zaliczyć urządzenia instalowane we wpustach drogowych, koryta filtracyjne i sedymentacyjne koryta odwodnieniowe. Natomiast do rozwiązań stosowanych poza miejscem ujmowania wód opadowych zakwalifikować można filtry gruntowe, rowy filtracyjne, pasaże roślinne, osadniki wód deszczowych, stawy sedymentacyjne, separatory piasku, separatory substancji lekkich, hydroseparatory, urządzenia kompaktowe.

Ze względu na to, że urządzenia te charakteryzują się odmiennymi sprawnościami oczyszczania wód deszczowych, ich dobór powinien być poprzedzony szczegółową analizą jakości tych wód.

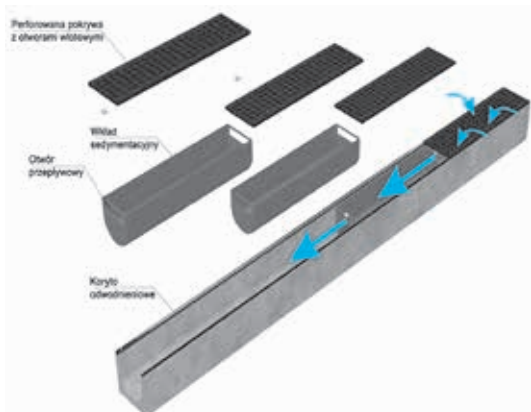
Wody opadowe w trakcie spływu po powierzchni terenu unoszą ze sobą znaczne ilości zanieczyszczeń i odpadków. Zasadniczą część z nich stanowią zawiesziny mineralne w postaci pyłów, piasków i żwiru, które można odseparować od wody w prostych procesach osadzania.

Zawiesiny mineralne charakteryzują się najczęściej porowatą budową oraz mają tendencję do kumulowania na własnej powierzchni innych zanieczyszczeń, np. metali ciężkich. Ilość zanieczyszczeń związanych z zawiesiną mineralną wynosi często ponad 80% wszystkich zanieczyszczeń transportowanych przez wody opadowe [19]. Zatem usunięcie zanieczyszczeń mineralnych, które w dużej części posiadają ciężar właściwy umożliwiający przeprowadzenie procesu ich sedimentacji, pozwala na znaczną redukcję zanieczyszczeń w wodach pochodzenia opadowego oraz zdecydowaną poprawę ich jakości.

Redukcja zanieczyszczeń mineralnych w ściekach ma również istotne znaczenie z punktu widzenia funkcjonowania systemów kanalizacyjnych. Zmniejszenie stężenia zanieczyszczeń mineralnych wpływa korzystnie na ograniczenie procesów ścierania wnętrza przewodów kanalizacyjnych oraz elementów konstrukcyjnych pomp ściekowych. Problem ten jest szczególnie istotny w przypadku systemów odwadniających tereny o znacznym zanieczyszczeniu powierzchni domieszkami mineralnymi, np. baz transportowych i przeładunkowych, parków maszyn budowlanych, myjni samochodowych, parkingów oraz wszędzie tam, gdzie korzystne jest separowanie zanieczyszczeń mineralnych już na etapie zbierania wód deszczowych.

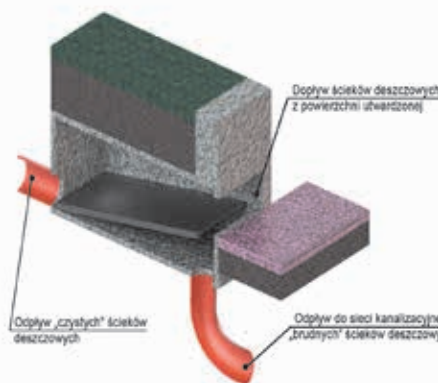
Podczyszczanie wód opadowych jest również istotne ze względu na coraz powszechniejsze stosowanie urządzeń do podziemnego rozsączania tych wód. Separacja zawiesin przed wprowadzeniem wód opadowych do takich urządzeń ogranicza procesy ich kolmatacji, co z kolei przyczynia się do wydłużenia okresu ich sprawnego działania i ograniczenia zabiegów konserwacyjnych.

Biorąc to pod uwagę, wskazane jest więc separowanie zanieczyszczeń już na etapie zbierania wód deszczowych. W tym celu może być stosowane innowacyjne rozwiązanie koryta sedimentacyjnego opatentowane przez Słysia [20]. Idea działania tego koryta polega na wydzieleniu w jego przestrzeni części zapewniającej proces osadzania zawiesin łatwo opadających oraz części przepływowej, która służy do transportu ścieków. We wnętrzu koryta odwodnieniowego przewidziano zastosowanie wkładu sedimentacyjnego o kształcie dopasowanym do koryta wykonanego z tworzywa sztucznego. Wkład ten dzieli koryto odwodnieniowe na komory, które sprzyjają sedimentacji i umożliwiają zabieranie zanieczyszczeń transportowanych przez wody opadowe oraz ich usunięcie na zewnątrz. Przykład wykonania koryta odwodnieniowego wyposażonego we wkład sedimentacyjny przedstawia rycina 3.



Ryc. 3. Sedymentacyjne koryto odwodnieniowe

Wśród rozwiązań służących do podczyszczania wody deszczowej również na etapie jej zbierania z powierzchni odwadnianych dostępne są urządzenia instalowane we wpustach ulicznych. Przykładem takiego obiektu może być odwodnieniowy wpust separacyjny, który stanowi nowatorskie opatentowane rozwiązanie [21] stosowane w celu ujęcia i odprowadzenia wody opadowej z różnego rodzaju powierzchni komunikacyjnych. Jest to krawężnikowy wpust drogowy, w którym następuje rozdział przepływającej strugi ścieków na ścieki o mniejszym i większym stopniu zanieczyszczenia. Wpust ten posiada w ścianie bocznej otwory wlotowe ścieków, komorę ściekową oraz niezależnie dwa otwory odpływowe: jeden do sieci kanalizacyjnej dla ścieków charakteryzujących się wysokim stężeniem zanieczyszczeń i drugi odprowadzający ścieki w niewielkim stopniu zanieczyszczone. Taki rozdział ścieków deszczowych umożliwia zagospodarowanie tej części odpływu, np. przez rozsączanie w podziemnych urządzeniach infiltracyjnych. Pozwala to na ograniczenie ilości ścieków transportowanych sieciami kanalizacyjnymi do rzek, co bardzo korzystnie wpływa na funkcjonowanie sieci kanalizacyjnych oraz na sam odbiornik. Zaletą tego urządzenia jest zatem zmniejszenie nakładów inwestycyjnych przeznaczonych na budowę sieci odwodnieniowych, ograniczenie zanieczyszczenia cieków i poprawa – przez odprowadzenie części ścieków do gruntu – warunków gruntowo-wodnych. Na rycinie 4 przedstawiono ideę rozwiązania wpustu separacyjnego.



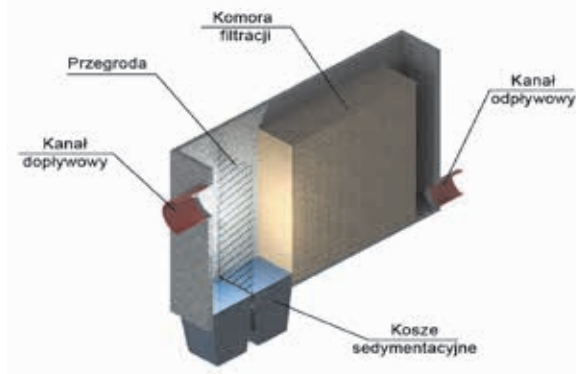
Ryc. 4. Odwodnieniowy wpust separacyjny

Badania przeprowadzone w Polsce i na świecie wykazały, że nawet do 90% zawiesiny ogólnej stanowi zawiesina mineralna w postaci piasku, żwiru i drobin gruntu, która absorbuje na swojej porowatej powierzchni inne zanieczyszczenia. Stwierdzono ścisłe zależności pomiędzy ilością zawiesiny a chemicznym i biochemicznym zapotrzebowaniem na tlen oraz stężeniem metali ciężkich, tj. cynku, miedzi, ołowiu, niklu i chromu. Również substancje ropopochodne sorbuje się na cząstkach zawiesiny, zwłaszcza na jej najdrobniejszych frakcjach.

W spływach wód opadowych z połaci dachowych występują duże ilości cząstek farb i metali ciężkich, których stężenie zależy od rodzaju pokrycia dachowego. Wody te mogą stanowić poważne zagrożenie dla odbiorników wód deszczowych z uwagi na trwałość i zdolność kumulowania się metali ciężkich w środowisku wodnym. Badania potwierdzają, że w czasie deszczowej pogody w ściekach ogólnospławnych cynk w ponad 90% pochodzi z wód spływających z dachów. Natomiast ładunek miedzi w tych wodach średnio dwukrotnie przekracza

ładunek miedzi dostarczany do kanałów wraz ze spływami z dróg [22]. Mając na uwadze tego rodzaju zanieczyszczenia, w niektórych krajach europejskich zabronione jest bezpośrednie odprowadzanie wód deszczowych z dachów do gruntu bez ich wcześniejszego oczyszczenia.

Biorąc pod uwagę istniejące uwarunkowania prawne i techniczne, w tym możliwości gospodarczego wykorzystywania wód opadowych, opracowano kompaktowe urządzenie do oczyszczania wód deszczowych m.in. z zawiesin i metali ciężkich [23]. Istota działania urządzenia polega na wydzieleniu w jego wewnętrznej przestrzeni komory sedimentacyjnej, filtracyjnej, oraz komory odpływowej. Z kolei komora sedimentacyjna przedzielona jest przegrodą na dwie części w celu ograniczenia przemieszczania się zanieczyszczeń pływających. Budowę takiego urządzenia przedstawia schematycznie rycina 5.



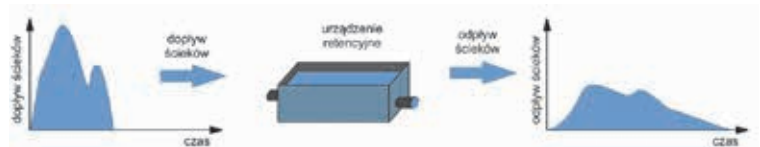
Ryc. 5. Urządzenie do podczyszczania wód opadowych

W komorze sedimentacyjnej prowadzony jest proces osadzania zanieczyszczeń mineralnych, które opadają do koszy osadowych umieszczonych w lejach tworzących dno komory. W dalszej kolejności przepływające wody opadowe kierowane są na zlokalizowany za przegrodą wkład wielostrumieniowy, który dodatkowo wspomaga proces sedimentacji pozostałych ilości zawiesin. Za komorą sedimentacyjną znajduje się komora filtracyjna, w której odbywa się cedzenie pozostałych zanieczyszczeń. W zależności od rodzaju przeważających w wodach opadowych zanieczyszczeń i ich stężeń materiał filtracyjny mogą stanowić sorbenty mineralne, węgiel aktywny lub mieszanki mineralno-węglowe, a także gotowe substraty oferowane przez firmy. Usuwanie zanieczyszczeń rozpuszczonych odbywa się w wyniku procesów adsorpcji, wymiany jonowej, filtracji, a także procesów rozkładu biologicznego. Zużyty adsorbent z komory filtracyjnej jest usuwany okresowo w celu regeneracji lub wymiany.

Oczyszczona w filtrze woda przepływa do komory odpływowej, skąd kierowana jest kanałem odpływowym do dalszego zagospodarowania. W sytuacjach występowania opadów, które powodują zwiększone dopływy wód opadowych niż przepływ obliczeniowy, urządzenie zabezpieczone jest przed przepełnieniem przewodem awaryjnego zrzutu wód. Jest on zlokalizowany w urządzeniu lub poza nim w formie bajpasa, który łączy komorę osadową z komorą odpływową z pominięciem komory filtracyjnej. Rozwiązanie to pozwala w każdych warunkach na przeprowadzenie procesu oczyszczania najbardziej zanieczyszczonego odpływu spływającego wód opadowych.

3.2. Obiekty i urządzenia stosowane w retencjonowaniu wód opadowych

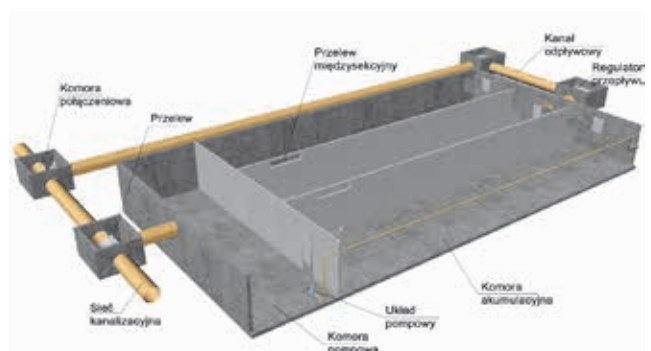
Proces odpływu wód opadowych ze zlewni ma bardzo często charakter gwałtowny, co może niekorzystnie wpływać na przepustowości hydrauliczne systemów kanalizacyjnych, urządzeń infiltracyjnych i oczyszczających oraz wód powierzchniowych będących ich odbiornikami. W tych przypadkach zasadne staje się stosowanie obiektów do retencji wód opadowych, których działanie powoduje transformację niekorzystnego przebiegu funkcji odpływu wód deszczowych w czasie – charakteryzującego się wysokim chwilowym natężeniem przepływu i krótkim czasem trwania – w bardziej korzystny, spłaszczony hydrogram ich przepływu, o mniejszym natężeniu i dłuższym czasie trwania. Ideę działania obiektów retencyjnych w schematycznym ujęciu pokazano na rycinie 6.



Ryc. 6. Idea działania obiektów retencyjnych

Do regulowania wielkości przepływów wód opadowych w zlewniach miejskich oraz na sieciach kanalizacyjnych zastosowanie znajdują takie obiekty i urządzenia, jak niecki filtracyjne, zbiorniki retencyjno-filtracyjne, zbiorniki retencyjne, kanały retencyjne, dachy zazielenione, dachy podpiętrzone. Rozwiązania te charakteryzują się odmiennymi konstrukcjami, różnym zakresem zastosowań i możliwościami oczyszczania ścieków oraz różnymi funkcjami pełnionymi w zlewniach i systemach kanalizacyjnych [10, 18].

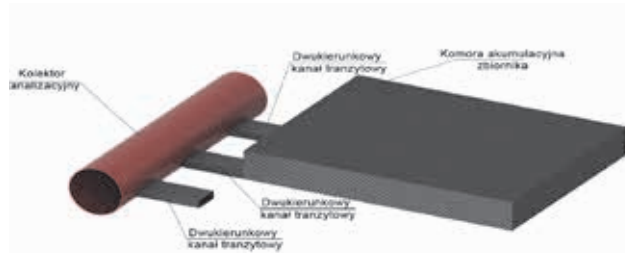
Jednym z przykładów innowacyjnych rozwiązań zbiorników jest wysoko efektywny grawitacyjno-pompowy zbiornik opatentowany przez Słystia i Dziopaka [24]. Układ hydrauliczny zbiornika umożliwia stosowanie komór akumulacyjnych o znacznej wysokości dyspozycyjnej retencji ścieków, co ogranicza powierzchnię jego zabudowy w terenie. Rozwiązanie pozwala na akumulację ścieków w komorach niezależnie od wysokościowego położenia sieci kanalizacyjnej. Dlatego rozwiązanie nadaje się doskonale zarówno do modernizacji, jak i rozbudowy systemów kanalizacyjnych. Idea zbiornika polega na zastosowaniu odpowiedniej konfiguracji komór o różnym przeznaczeniu, dzięki czemu możliwe jest zastosowanie jednego układu pompowego do napełniania i do opróżniania zbiornika. Ta cecha rozwiązania pozwala na ograniczenie kosztów eksploatacyjnych związanych



Ryc. 7. Grawitacyjno-pompowy odciążający zbiornik retencyjny

m.in. z kosztami zakupu zamawianej energii. Schemat układu hydraulicznego zbiornika przedstawiono na rycinie 7.

Kolejnym nowatorskim obiektem, który został zgłoszony do ochrony patentowej, jest zbiornik retencyjny ścieków deszczowych i ogólnospławnych zwiększający pojemność retencyjną systemu kanalizacyjnego [25]. Takie rozwiązanie może być stosowane zwłaszcza w rozbudowywanych lub modernizowanych systemach kanalizacyjnych. Zbiornik ten charakteryzuje się tym, że zawiera komorę połączoną hydraulicznie z kanałem kanalizacyjnym za pomocą co najmniej jednego dwukierunkowego kanału tranzytowego, przy czym dno tego kanału znajduje się powyżej dna kanału kanalizacyjnego. Korzystne zwiększenie strumienia objętości przepływających ścieków do komory zbiornika uzyskuje się dzięki zbudowaniu na kanale co najmniej jednej zastawki piętrzącej. Zastosowanie zbiornika według wynalazku umożliwia zwiększenie zdolności retencyjnej systemu kanalizacyjnego bez konieczności zmiany poziomów ułożenia kanałów transportujących ścieki na trasie ich przepływu. Wpływa to tym samym na zmniejszenie nakładów finansowych ponoszonych na budowę lub modernizację systemu kanalizacyjnego. Schemat działania opracowanego rozwiązania zbiornika retencyjnego przedstawiono na rycinie 8.

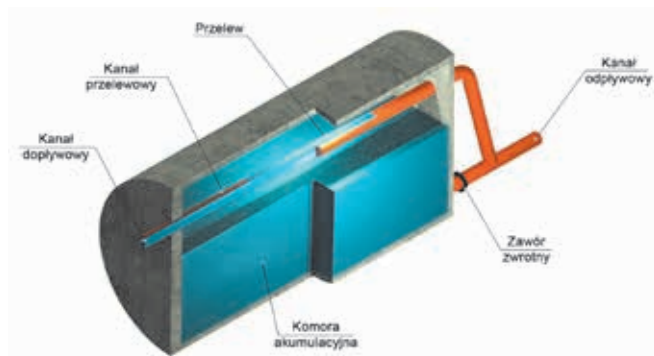


Ryc. 8. Zbiornik retencyjny ścieków deszczowych i ogólnospławnych

Ciekawe rozwiązanie stanowi instalacja obiektów retencyjnych, która została zgłoszona do ochrony patentowej w Europejskim Urzędzie Patentowym [26]. Jest to samodzielna instalacja do wbudowania w układ hydrauliczny obiektu retencyjnego, której celem jest poprawa jego efektywności kubaturowej. Główną zaletą, jaka wynika ze stosowania takiego urządzenia, jest zwiększenie zdolności retencyjnej istniejących lub projektowanych przepływowych obiektów retencyjnych bądź też zminimalizowanie potrzebnej kubatury nowo projektowanych obiektów jednokomorowych przy jednoczesnym nadaniu im charakterystyki zbiornika wielokomorowego.

Instalacja obiektów retencyjnych zbudowana jest z połączonych ze sobą przewodów, które współpracują z zaworem klapowym lub odpowiednim zestawem kształtek. Zgodnie z wynalazkiem, instalacja jest połączona na wlocie z kanałem dopływowym obiektu retencyjnego, a na wylocie z jego kanałem odpływowym. Dodatkowo w miejscu włączenia instalacji w kanał odpływowy korzystne jest zastosowanie zwrotnego zaworu klapowego lub odpowiednio dobranego układu kolan, które przeciwdziałają wstęcznemu przepływowi ścieków do komory akumulacyjnej obiektu. Instalacja rurowa posiada w swojej górnej części otwór o określonej charakterystyce hydraulicznej, limitujący możliwy dopuszczalny przepływ w sieci poniżej zbiornika, który stanowi przelew zapewniający odprowadzenie każdego nadmiaru cieczy poza instalację, a więc do komory

obiektu retencyjnego, w celu chwilowego ich gromadzenia. Rozwiązanie konstrukcji tej instalacji pokazano na rycinie 9.



Ryc. 9. Instalacja obiektów retencyjnych

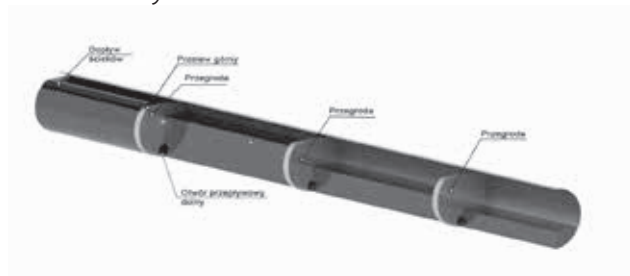
Tradycyjne rozwiązania obiektów retencyjnych to najczęściej wielkogabarytowe konstrukcje żelbetowe, których lokalizacja w terenach zurbanizowanych może napotykać na trudności spowodowane brakiem wystarczającej powierzchni pod budowę zbiornika oraz gęstej struktury istniejących sieci podziemnych. W takich przypadkach korzystnym rozwiązaniem może być retencjonowanie ścieków w zbiornikach rurowych zbudowanych z odcinków rur o znacznych średnicach. Idea budowy zbiorników retencyjnych w postaci odcinków kanałów powstała w Niemczech już w latach 30. XX w. Początkowo wykonywano je jako obiekty murowane, które wraz z rozwojem technicznym i technologicznym zastępowano prefabrykowanymi odcinkami rur kanalizacyjnych. Obecnie tego typu rozwiązania budowane są głównie z elementów wykonanych z tworzyw sztucznych, najczęściej z polietylenu i żywicy poliestrowych.

Do wielu zalet kanalizacyjnych zbiorników rurowych można zaliczyć głównie:

- łatwy i szybki montaż konstrukcji zbiornika, nawet w warunkach zimowych,
- niewielki ciężar zbiornika w porównaniu do konstrukcji betonowych czy żelbetowych,
- długookresową trwałość i odporność na procesy korozyjne,
- łatwy i sprawny transport gotowych zbiorników lub ich elementów, z których powstaną na placu budowy zbiorniki charakteryzujące się znacznymi pojemnościami,
- ograniczenie złożonych obliczeń wytrzymałościowych, które wymagane są przy podziemnych konstrukcjach zbiorników żelbetowych,
- uniwersalność zastosowań wynikająca z dostępności rur w szerokim zakresie średnic,
- możliwość posadowienia zbiornika w trudnych warunkach gruntowo-wodnych,
- możliwość usytuowania zbiornika w różnych wariantach inwestycyjnych względem sieci kanalizacyjnej, w tym również w pasie drogowym i pod parkingami.

Przykładem rozwiązania zbiornika rurowego może być patent nr 217405 *Retencyjny kanał ściekowy* [27]. Kanał retencyjny może być stosowany w rozwiązaniu bezpośrednim w osi kanału lub poza nim na bajpase kolektora kanalizacyjnego. Składa się on z wydzielonych komór retencyjnych, położonych względem siebie w układzie szeregowym. Pomiędzy komorami retencyjnymi zlokalizowane są komory rewizyjne, w których znajdują

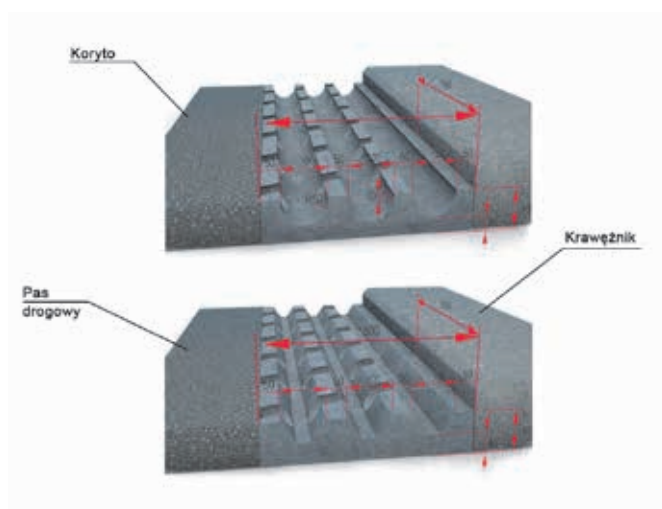
się zawieszono przegrody piętrzące. Możliwe jest również wykonanie kanału, gdzie komory te nie występują. W dolnej części przegród zlokalizowane są otwory przepływowe umożliwiające przepływ ścieków w okresach bezopadkowych oraz przepływ zredukowanych ścieków deszczowych. Z kolei w górnych częściach przegród piętrzących znajdują się przelewy awaryjne ścieków, działające w chwili osiągnięcia przez ścieki awaryjnego napełnienia w komorach retencyjnych. Schemat kanału retencyjnego według opracowanego rozwiązania przedstawiono na rycinie 10.



Ryc. 10. Retencyjny kanał ściekowy

3.3. Koryto odwodnieniowe

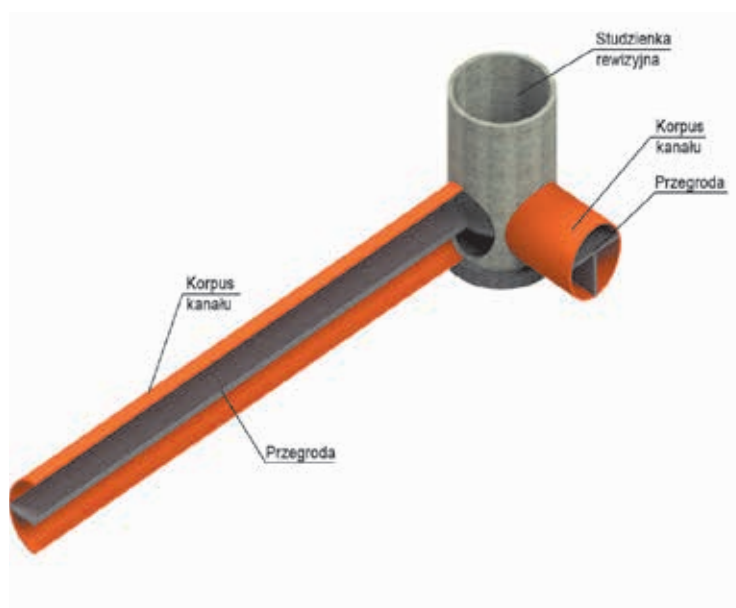
Stosowane obecnie odwodnienia drogowe wykonywane są w postaci pojedynczych koryt o znacznej szerokości. Taka konstrukcja w trakcie najazdu na nią kołem samochodu może powodować wystąpienie niebezpiecznych sytuacji na drodze. Biorąc to pod uwagę, opracowano rozwiązanie prefabrykowanej rynny muldowej wielokanałowej Safe-Drain [28], które posiada bardzo istotną zaletę w stosunku do innych znanych rozwiązań koryt odwodnieniowych. Zastosowanie do odprowadzania wody kilku połączonych ze sobą hydraulicznie koryt o niewielkiej szerokości zamiast pojedynczego zagłębienia umożliwia bezpieczny przejazd pojazdów po jego wierzchu. Ogranicza to możliwość wystąpienia poślizgu pojazdu, a także rozpryskiwania się wody opadowej na przechodniów. Kształt rynien przepływowych zapewnia również bardzo dobre właściwości hydrauliczne w transporcie osadów. Na rycinie 11 pokazano przykładowe rozwiązanie rynny Safe-Drain według rozwiązania Słysia i Dziopaka [28].



Ryc. 11. Moduł koryta odwodnieniowego

3.4. Multimedialna sieć komunalna

Multimedialna sieć komunalna to kolejne interesujące rozwiązanie, które może być stosowane w projektowaniu miejskiej infrastruktury technicznej. Sieć ta według wynalazku charakteryzuje się tym, że kanały są sprzężone ze studzienkami rewizyjnymi, a wewnętrzne przestrzenie kanałów zostały podzielone szczelnymi przegradami na wydzielone strefy przesyłowe różnych mediów, np. ścieków bytowo-gospodarczych, deszczowych, wody, ciepła i energii elektrycznej [29]. Główną zaletą wynalazku jest zmniejszenie całkowitych nakładów finansowych ponoszonych na budowę poszczególnych sieci komunalnych, często prowadzonych w pasie drogowym w sposób równoległy. Efekt ten może być osiągnięty dzięki znacznemu ograniczeniu liczby studzienek, komór rewizyjnych, połączeniowych i inspekcyjnych stosowanych w dotychczasowych rozwiązaniach sieci, jak również prowadzenie przesyłu mediów za pomocą multimedialnej sieci komunalnej w kanałach z wydzielonymi strefami przesyłowymi. Umożliwia to ograniczenie przestrzeni niezbędnej do ich lokalizacji w pasie drogowym lub innym elemencie infrastruktury, znaczną redukcję robót ziemnych, a także usystematyzowanie i uporządkowanie lokalizacyjne i przestrzenne infrastruktury podziemnej. Ta ostatnia zaleta ma szczególne znaczenie w obszarach miejskich silnie zurbanizowanych, gdzie bardzo często natrafia się na trudności w budowie nowych i modernizacji istniejących obiektów ze względu na rozległe rozproszenie infrastruktury podziemnej oraz możliwości wystąpienia kolizji poszczególnych sieci. Istotne jest, że multimedialna sieć komunalna charakteryzuje się możliwością wykorzystania jej zarówno wewnątrz budynków, jak również na zewnątrz: nad i pod powierzchnią terenu. Poza tym ważną zaletą zaproponowanego rozwiązania jest także możliwość etapowania inwestycji sieciowej oraz perspektywiczne wykorzystanie do transportu różnych mediów, często niesprecyzowanych na etapie projektowania, w długiej perspektywie czasowej. Rozwiązanie to przedstawiono na rycinie 12.



Ryc. 12. Multimedialna sieć komunalna

4. Podsumowanie

Projektowana w dzisiejszych czasach infrastruktura techniczna miast powinna nie tylko spełniać swoje zadania, ale także w jak najmniejszym stopniu oddziaływać na środowisko naturalne. Dotyczy to przede wszystkim gospodarki wodno-ściekowej, którą zgodnie z obowiązującymi unormowaniami prawnymi należy realizować z uwzględnieniem zasad zrównoważonego rozwoju. Wymaga to stosowania nowoczesnych rozwiązań technicznych służących do ujmowania, podczyszczania i odprowadzania wód opadowych ze zlewni miejskiej.

Biorąc to pod uwagę, w publikacji przedstawiono wybrane innowacyjne obiekty i urządzenia opracowane przez pracowników Katedry Infrastruktury i Gospodarki Wodnej Politechniki Rzeszowskiej. Ich wysoki poziom innowacyjności został wielokrotnie doceniony przez międzynarodowe jury na światowych wystawach i targach wynalazków, m.in. w Genewie, Brukseli, Seulu, Warszawie i Moskwie. Zaprezentowane rozwiązania charakteryzują się wysoką skutecznością działania i możliwościami aplikacyjnymi, czego przykładem może być *Retencyjny kanał ściekowy*, który został wdrożony przez firmę Uponor Infra do praktyki inżynierskiej.

Literatura

- [1] *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- [2] Roesner L.A.: *Urban runoff pollution-summary thoughts the state of practice today and for the 21st century*. „Water Science and Technology” 1999, Vol. 39.
- [3] 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” 2017, Vol. 549, pp. 501–511.
- [4] Todeschini S.: *Hydrologic and Environmental Impacts of Imperviousness in an Industrial Catchment of Northern Italy*. „Journal of Hydrologic Engineering” 2016, Vol. 21.
- [5] Lu H.W., He L., Du P., Zhang Y.M.: *An Inexact Sequential Response Planning Approach for Optimizing Combinations of Multiple Floodplain Management Policies*. „Polish Journal of Environmental Studies” 2014, Vol. 23, pp. 1245–1253.
- [6] 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, Vol. 51, pp. 261–279.
- [7] Słyś D., Stec A.: *Effect of development of the town of Przemysl on operation of its sewerage system*. „Ecological Chemistry and Engineering S” 2013, Vol. 20, pp. 381–396.
- [8] 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*. „Journal of Hydrology” 2012, Vol. 464, pp. 127–139.
- [9] Kim Y., Kim T., Park H., Han M.: *Design method for determining rainwater tank retention volumes to control runoff from building rooftops*. „KSCE Journal of Civil Engineering” 2015, Vol. 19, pp. 1585–1590.
- [10] Słyś D.: *Zrównoważone systemy odwodnienia miast*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2013.
- [11] Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej
- [12] Elliott A.H., Trowsdale S.A.: *A review of models for flow impact urban stormwater drainage*. „Environ. Model. Software” 2007, Vol. 22, pp. 394–405.
- [13] Burszta-Adamiak E., Stec A.: *Wpływ wysokości opadów na wielkość i szybkość odpływu wód z dachów zielonych*. „Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture” 2017, Vol. 64/1, pp. 81–97.
- [14] Burszta-Adamiak E.: *Zielone dachy jako element zrównoważonych systemów odwadniających na terenach zurbanizowanych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Wrocław 2014.
- [15] Geiger W., Dreiseitl H.: *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych*. Oficyna Wydawnicza Projprzem EKO. Bydgoszcz 2000.
- [16] 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, Vol. 1, pp. 41–50.
- [17] Dziopak J., Słyś D.: *Modelowanie zbiorników klasycznych i grawitacyjno-pompowych w kanalizacji*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2007.
- [18] Dziopak J.: *Modelowanie wielokomorowych zbiorników retencyjnych w kanalizacji*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2004.
- [19] Królikowski A., Garbarczyk K., Gwoździez-Mazur J., Butarewicz A.: *Osady powstające w obiektach systemu kanalizacji deszczowej*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN. Vol. 35. Białystok 2005.
- [20] Słyś D.: *Sedymentacyjne koryta odwodnieniowe*. Patent 217118. Urząd Patentowy RP. Warszawa 2010.
- [21] Słyś D., Neverova-Dziopak E.: *Odwodnieniowy wpust separacyjny*. Zgłoszenie patentowe P.395752. Urząd Patentowy RP. Warszawa 2011.
- [22] Sawicka-Siarkiewicz H., Błaszczak P.: *Urządzenia kanalizacyjne na terenach zurbanizowanych*. Instytut Ochrony Środowiska. Warszawa 2007.
- [23] Stec A., Dziopak J., Słyś D.: *Urządzenie do oczyszczania wód opadowych*. Patent 215085. Urząd Patentowy RP. Warszawa 2011.
- [24] Słyś D., Dziopak J.: *Grawitacyjno-pompowy odciażający zbiornik retencyjny*. Urząd Patentowy RP. Warszawa 2011.
- [25] Pochwat K., Dziopak J., Słyś D.: *Zbiornik retencyjny ścieków deszczowych i ogólnospławnych*. Zgłoszenie patentowe P.402503. Urząd Patentowy RP. Warszawa 2016.
- [26] Pochwat K., Słyś D., Dziopak J.: *Instalacja obiektów retencyjnych*. Zgłoszenie patentowe EP 15461517.3. Europejski Urząd Patentowy, 2015.
- [27] Słyś D., Dziopak J.: *Retencyjny kanał ściekowy*. Patent 217405. Urząd Patentowy RP. Warszawa 2010.
- [28] Słyś D., Dziopak J.: *Moduł koryta odwodnieniowego*. Patent 216328. Urząd Patentowy RP. Warszawa 2009.
- [29] Pochwat K., Dziopak J., Słyś D.: *Multimedialna sieć komunalna*. Zgłoszenie patentowe P.402503. Urząd Patentowy RP. Warszawa 2016.

