

Wpływ zastosowania muld chłonnych oraz powierzchni przepuszczalnych na ograniczenie spływu powierzchniowego

The influence of the use of absorbent mounds and permeable surfaces to reduce surface runoff

EWA SUCHANEK-GABZDYŁ

DOI 10.36119/15.2023.12.24

Woda opadowa jest głównym źródłem zasobów wodnych, które umożliwiają odnawianie się wód powierzchniowych i podziemnych. Ze względu na niezrównoważony rozwój obszarów zurbanizowanych i wiejskich, opady zaczynają być postrzegane jako źródło zagrożenia. Ten stan prowadzi do pojawienia się nowego zjawiska, jakim są powodzie miejskie (ang. *urbanflood*). Obszary miejskie, które jeszcze kilkadziesiąt lat temu nie miały problemów z odprowadzaniem wód opadowych, obecnie po wystąpieniu intensywnych opadów atmosferycznych, zamieniają się w zalane tereny. Drugim istotnym aspektem są zmiany klimatyczne. W ostatnich latach liczne anomalie pogodowe, takie jak ulewne deszcze, prowadzą do powstawania nagłych powodzi miejskich (ang. *flashflood*), które powodują nagłe zalanie niższych obszarów, często tworząc fale wezbraniowe.

Aby poradzić sobie z tymi problemami, coraz częściej w miastach stosuje się urządzenia do retencji i infiltracji wód opadowych. Działania takie nie wymagają przebudowy istniejących już kanałów burzowych, a realizowane są poprzez tworzenie ogrodów deszczowych, muld chłonnych czy powierzchni przepuszczalnych. Dodatkowo, zwiększa się zasobność wód podziemnych, urozmaiacając krajobraz i estetykę miast, co prowadzi do poprawy mikroklimatu i warunków życia mieszkańców.

Słowa kluczowe: woda opadowa, spływ powierzchniowy, muldy chłonne, powierzchnie przepuszczalne

Rainwater is the main component of water resources, which ensures the replenishment of surface and underground waters. Due to the unsustainable development of urban and rural areas, precipitation is beginning to be perceived as a source of threat. This situation leads to the emergence of a new phenomenon known as urban flooding. Urban areas that had no issues with rainwater drainage several decades ago now transform into floodplains after heavy rainfall. The second important aspect is climate change. The occurrence of numerous weather anomalies, such as torrential rain, in recent years has resulted in the formation of flash floods in cities, causing sudden inundation of lower-lying areas, often creating a surge wave.

To address these problems, rainwater retention and infiltration devices are increasingly being employed in cities. Such measures do not require the reconstruction of existing storm drains and can be implemented through the creation of rain gardens, absorbent mounds, or permeable surfaces, for example. Furthermore, these initiatives enhance groundwater resources and enrich the landscape and aesthetics of cities, leading to an improved microclimate and better living conditions for the urban population.

Keywords: rainwater, surface runoff, absorbent troughs, permeable surfaces

Wprowadzenie

Spływ powierzchniowy stanowi ważny element bilansu wodnego zlewni. Ze względu na odmienną charakterystykę pokrycia terenu (np.: pola uprawne, las, miasto) spływ powierzchniowy stanowi różną część procentową bilansu. W miastach, gdzie powierzchni szczelnej w porównaniu do całości powierzchni jest od 55% do 85%, woda w czasie intensywnego deszczu nie ma możliwości sprawnego odpływu. Doprowadza to do zalewania dróg oraz obszarów utwardzonych w sposób szczelny, których odpływy nie zawsze posiadają wystarczającą przepustowość. Zjawiska te określa się mianem powodzi miejskich (ang. *urbanflood*) oraz powodzi błyskawicznych (ang. *flashflood*) i charakteryzują się one tym, że często dotyczą

tylko ograniczonego obszaru, np. ulic, dzielnic lub skrzyżowań [1].

Jednym z podstawowych narzędzi w ochronie ilości i jakości wód odprowadzanych z terenu zlewni jest odpowiednie planowanie zagospodarowania przestrzennego. Według przyjętych kryteriów w USA, zachowanie dobrego stanu ekologicznego cieków jest możliwe, gdy udział powierzchni nieprzepuszczalnych w zlewni nie przekracza 10% [7]. Wybór pojedynczych urządzeń bądź kombinacji urządzeń do zagospodarowania wody opadowej i roztopowej jest bardzo duży. Przy doborze należy wziąć pod uwagę: dostosowanie do warunków lokalnych (rodzaj gruntu zalegającego w podłożu, głębokość występowania wód gruntowych, stopień uszczelnienia powierzchni, wielkość i sposób użytkowania terenu), możliwości finansowe wdrożenia, możliwość

zapewnienia odpowiedniej eksploatacji urządzeń oraz zachowanie wymaganych odległości od obecnej infrastruktury i budynków.

W niniejszym artykule analizowano spływ powierzchniowy z parkingów, dlatego najmniejszą jednostką zagospodarowania przestrzennego była pojedyncza przestrzeń parkingowa. Głównym celem było zastosowanie takich systemów, aby ograniczyć wielkość spływu powierzchniowego, ale przy jak najniższym nakładzie finansowym oraz przy dostosowaniu się do lokalnych warunków. W takim przypadku możliwości techniczne systemów zagospodarowania wód opadowych ograniczają się do poniższych:

1. muldy chłonne – to elementy liniowe służące do infiltracji wód opadowych, zazwyczaj stosowane w terenach komunikacyjnych. Mulda zazwyczaj porośnięta jest trawą oraz

posiada spadek wyprofilowany do środka. We wnętrzu muldy jest ułożony drenaż, za którego pomoc woda w szybki sposób zostaje odprowadzona w głąb gruntu.

2. powierzchninie przepuszczalne – to prosta metoda na znaczne poprawienie warunków wodnych w środowisku. Głównym powodem stosowania tego typu nawierzchni jest umożliwienie swobodnego przesiąkania wody opadowej do gruntu, czego skutkiem jest zmniejszenie spływu powierzchniowego do kanałów deszczowych i odbiorników. Tego typu nawierzchnie mogą być kamienne, żwirowe, trawiaste, ziemne lub w postaci prefabrykowanych perforowanych płyt betonowych [4].

Metodyka badań

Badania objęły ocenę wpływu systemów zagospodarowania wód opadowych na redukcję spływu powierzchniowego. Analizowano sześć parkingów znajdujących się w mieście Bielsko-Biała. Wszystkie parkingi są podłączone do tego samego systemu kanalizacji deszczowej.

W pierwszej części badań obliczono ilości wód opadowych (wg wzoru Błaszczyka). Dla wszystkich zlewni cząstkowych do obliczeń przyjęto deszcz o czasie trwania $t=[5, 10, 15, 30, 45, 60]$ min. Najkrótszy czas trwania deszczu powinien być dobierany w zależności od nachylenia terenu i stopnia jego uszczelnienia. Czasy trwania deszczu miarodajnego są zalecane przez Niemieckie Stowarzyszenie Gospodarki Wodnej i Melioracji [2].

W kolejnym etapie przeprowadzono symulacje funkcjonowania sieci kanalizacji deszczowej. Do symulacji hydrodynamicznych wybrano program SWMM 5.2. Wykonano symulacje dla trzech wariantów:

1. stan zastany (istniejący) – odpływ ze zlewni rzeczywistej,
2. z zastosowaniem na powierzchni parkingów systemów infiltracyjnych w formie przepuszczalnych powierzchni. Udział tego typu systemu na każdej powierzchni zlewni cząstkowej wyniósł: 0%, 20%, 40%, 60%, 80%,
3. z zastosowaniem na powierzchni parkingów systemów retencyjno-infiltracyjnych w formie muld chłonnych – wykorzystano funkcję programu SWMM – LID Controls (LowImpact Development) [5].

W wyniku przeprowadzonych symulacji hydrodynamicznych uzyskano informacje o:

- objętości spływów powierzchniowych,
- napełnieniach w poszczególnych kanałach i w węzłach obliczeniowych (studniach)

 w czasie trwania opadu modelowego. Następnie wykazano wpływ poszczególnych systemów infiltracyjnych oraz retencyjno-infiltracyjnych na redukcję objętości spływów powierzchniowych oraz na niezawodność działania kanałów wyrażoną poprzez: liczbę podtapianych węzłów oraz objętość wylań w węzłach. Na podstawie wyników symulacji określono efektywność zastosowanych systemów.

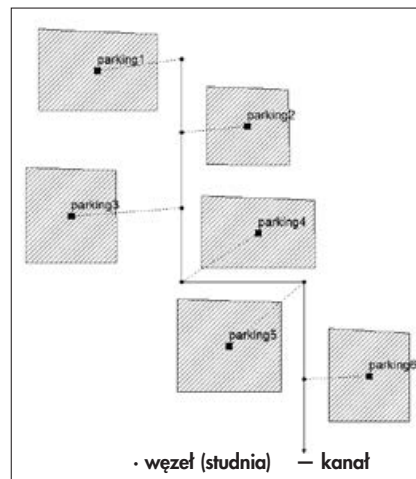
Charakterystyka obszaru badań

W badaniach posłużono się następującymi określeniami:

- „zlewnia” – oznaczającym zespół sześciu parkingów,
- „zlewnia cząstkowa” – oznaczającym poszczególne parkingi.

Zlewnie cząstkowe posiadają powierzchnie umożliwiające zebranie i zagospodarowanie wód opadowych poprzez zastosowanie odpowiednich systemów infiltracyjno-retencyjnych. Badania nie uwzględniły podłączenia żadnego z tych systemów do istniejącej kanalizacji deszczowej. Wynika to z założeń projektowych, mających na celu odciążenie systemu kanalizacji i bezpośrednie odprowadzenie zgromadzonej wody deszczowej do gruntu w miejscu jej powstania.

Modelowana zlewnia zajmuje powierzchnię 1,91 hektara i składa się z sześciu parkingów (tzw. zlewni cząstkowych). Przebieg granic tych parkingów został odwzorowany na podstawie zdjęć satelitarnych. Zlewnia usytuowana jest w zabudowie mieszkaniowej i znajduje się w terenie płaskim miasta Bielska-Białej (rzędna terenu 313m n.p.m.). Płaski teren zlewni jest ostrym kryterium do oceny działania kanalizacji, ponieważ wszystkie węzły obliczeniowe (studnie) są zarazem potencjalnymi punktami krytycznymi sieci. Model analizowanej sieci kanalizacji deszczowej składa się z 6 odcinków o przekrojach kołowych i rzeczywistych średnicach od 0,3m do 0,4m. Wody opadowe są odprowadzane do wylotu kolektorem o średnicy 1 m. Wartość współczynnika szorstkości dla kanałów przyjęto na podstawie materiału z jakiego zostały wykonane (beton, $n=0,014 \text{ s m}^{-1/3}$).



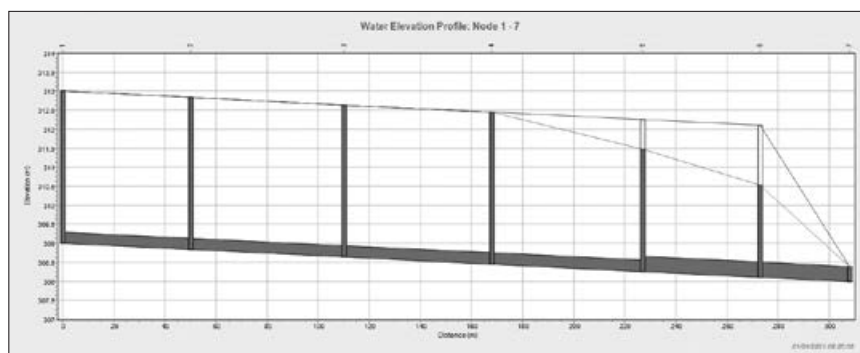
Rys. 1. Model zlewni i sieci kanalizacji deszczowej w programie SWMM

Fig. 1. Model of the catchment area and storm water drainage network in the SWMM program

Model odpływu ze zlewni rzeczywistej

W pierwszej kolejności analizie poddano zlewnię rzeczywistą, czyli tą, którą stanowią parkingi w centrum miasta Bielsko-Biała. Ich zlewnie charakteryzują się w 100% powierzchniami nieprzepuszczalnymi. W pierwszym etapie badań obciążono sieć deszczem modelowym o częstotliwości występowania $C = 10$ lat i czasie trwania $t = 5$ minut. Profil kanału w wybranym czasie trwania opadu modelowego (5. min – największe napełnienie) przedstawiono na rysunku (Rys. 2).

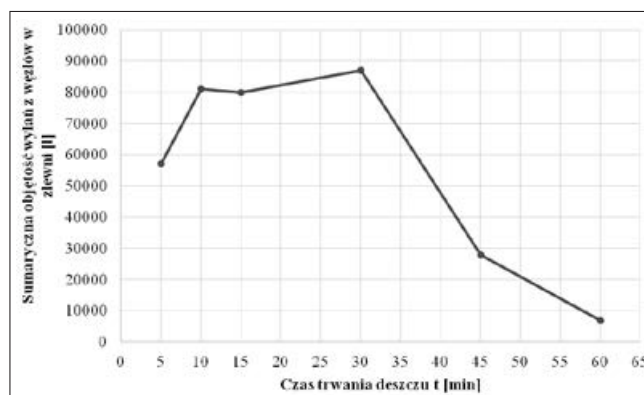
Jak wynika z powyższego rysunku (Rys. 2), zaprojektowana kanalizacja deszczowa nie ma



Rys. 2.

Profil napełnienia kanału w 5. minucie trwania opadu modelowego o czasie $t = 5$ minut

Fig. 2. Canal filling profile in the 5th minute of duration model precipitation with time $t = 5$ minutes



Rys. 3.

Symaryczna objętość wylań z węzłów w zlewni

Fig. 3. Symmetric volume of outflows from nodes in the catchment

przepustowości hydraulicznej, która umożliwiłaby odprowadzenie modelowych spływów wód opadowych bez nadpiętnień. Podtopienia dotyczą 4 z 6 węzłów sieci.

W następnej kolejności przetestowano sieć kanalizacji deszczowej pod względem opadów modelowych o dłuższych czasach trwania, $t = [10\div 60]$ min. Wyniki, przedstawiające objętości zalanych węzłów dla wszystkich czasów trwania deszczu modelowego, zostały zawarte na wykresie (Rys. 3).

Z przeprowadzonych symulacji wynika, że po dziewięciokrotnym wydłużeniu czasu trwania opadu modelowego ($t=45$ min) nie wzrasta już wartość objętości wylań. Można też zauważyć (Rys. 3.), że po czasie $t=30$ minut liczba wylań ulega gwałtownemu zmniejszeniu.

Kolejnym krokiem badań było określenie objętości spływów powierzchniowych. Wykres (Rys. 4) przedstawia objętości spływów powierzchniowych w zależności od czasu trwania opadu modelowego. W celu stworzenia wykresu (Rys. 4.) wykorzystano wielkości objętości wód na wylocie do odbiornika zsumowane z objętościami podtopień w każdym węźle (studni). Zatem została określona wielkość wód opadowych, powstałych w wyniku spływów powierzchniowych. W kolejnych etapach badań wielkości objętości były poddawane redukcji poprzez zastosowanie powierzchni przepuszczalnych oraz muld chłonnych.

Badania wpływu zastosowania systemów infiltracyjnych na obciążenie sieci kanalizacji deszczowej

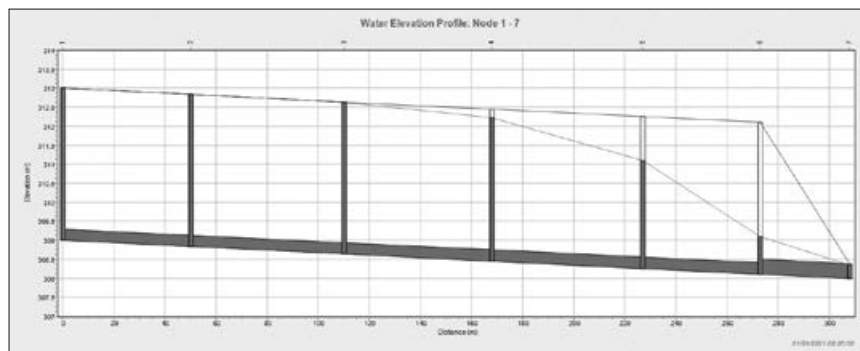
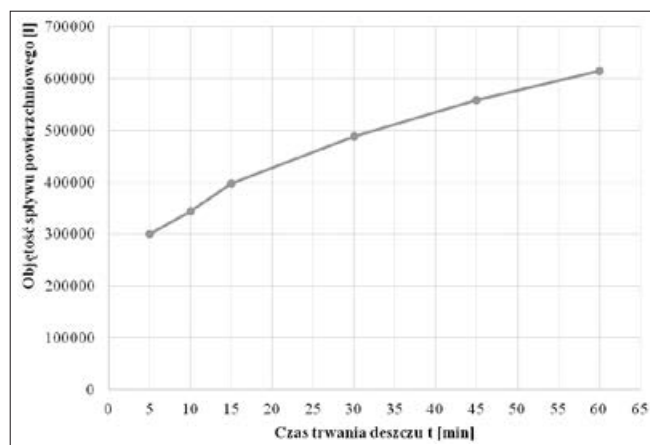
Działanie systemów infiltracyjnych obejmuje przyjęcie spływów powierzchniowych, ich dostosowanie do potrzeb lokalnych oraz infiltrację w głąb podłoża gruntowego. W niniejszych badaniach zaprojektowano systemy infiltracyjne w postaci powierzchni przepuszczalnych (np.: płyty ażurowe), a następnie określono w jaki sposób wpłyną one na obciążenie sieci kanalizacji deszczowej.

Na tym etapie badań wybrane zostały warianty dla symulacji hydrodynamicznych, przeprowadzonych przy użyciu programu SWMM. Analizie poddano objętość spływu powierzchniowego oraz funkcjonowanie sieci kanalizacji deszczowej (wyrażone liczbą podtopianych węzłów oraz objętością podtopień dla poszczególnych zlewni cząstkowych). Zastosowano następujące warianty symulacji:

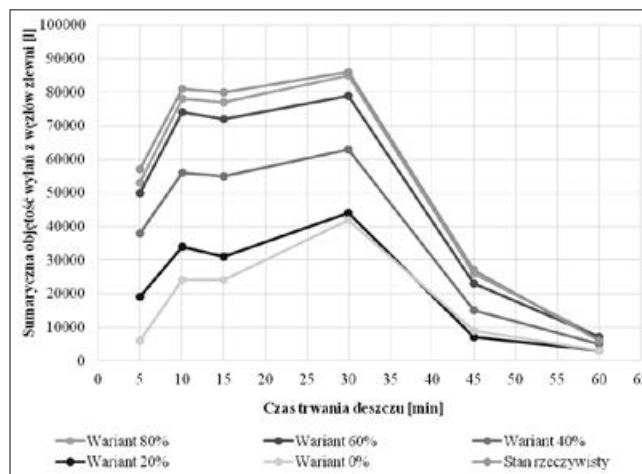
1. Wariant 0%: 0% powierzchni nieprzepuszczalnych na obszarze zlewni cząstkowych,
2. Wariant 20%: 20% powierzchni nieprzepuszczalnych na obszarze zlewni cząstkowych,
3. Wariant 40%: 40% powierzchni nieprzepuszczalnych na obszarze zlewni cząstkowych,
4. Wariant 60%: 60% powierzchni nieprzepuszczalnych na obszarze zlewni cząstkowych

Rys. 4. Objętości spływów powierzchniowych podczas trwania opadu modelowego o czasie $t=[5\div 60]$ minut

Fig. 4. Surface runoff volumes during model precipitation at time $t=[5\div 60]$ minutes



Rys. 5. Profil napełnienia kanału w 5. minucie trwania opadu modelowego o $t=5$ minut dla wariantu 0%
Fig. 5. Canal filling profile in the 5th minute of duration model precipitation by $t=5$ minutes for variant 0%



Rys. 6. Sumaryczna objętość wylań z węzłów dla wszystkich wariantów symulacji
Fig. 6. Total volume of outflows from nodes for all simulation variants

5. Wariant 80%: 80% powierzchni nieprzepuszczalnych na obszarze zlewni cząstkowych.

Obliczone wartości zostały odniesione do stanu zastanego (istniejącego), w którym to powierzchnie nieprzepuszczalne stanowiły 100% obszaru zlewni cząstkowych. W celu weryfikacji przepustowości hydraulicznej sieci kanalizacji deszczowej, obciążano zlewnie opracowanymi opadami modelowymi.

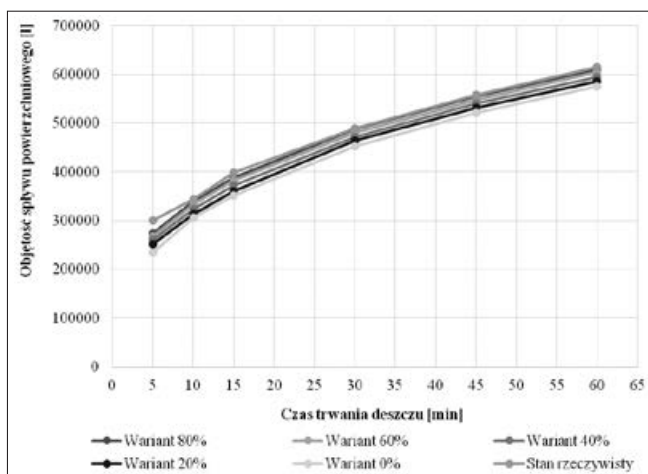
W pierwszej kolejności obciążono sieć deszczem modelowym o częstotliwości występowania $C=10$ lat, czasie trwania $t=5$ minut w pierwszym wariantcie. Profil kanału w wybranym czasie trwania opadu modelowego (5. min – największe napełnienie) przedstawiono na rysunku (Rys. 5).

Jak wynika z powyższego rysunku (Rys. 5), zaprojektowana kanalizacja deszczowa, nawet z zastosowaniem powierzchni przepuszczalnych w 100%, nie ma wystarczającej przepustowości hydraulicznej, która umożliwiłaby odprowadzenie modelowych spływów wód opadowych bez nadpiętnień (dla $t=5$ min).

W następnej kolejności obciążano sieć kanalizacji deszczowej kolejnymi opadami modelowymi o dłuższych czasach trwania $t=[5\div 60]$ min. Wyniki przedstawiające objętości podtopień w węzłach dla wszystkich czasów trwania deszczu modelowego zawarto na rysunku (Rys. 6).

Na wykresie (Rys. 6) zestawiono sumaryczną objętość wód opadowych, które uległy wyla-

Rys. 7.
Sumaryczna objętość spływów powierzchniowych ze zlewni cząstkowych dla wszystkich wariantów Fig. 7. Total volume of surface runoff from partial catchments for all variants



niu na teren w wyniku zbyt małej przepustowości hydraulicznej sieci kanalizacji deszczowej. Na wykresie można wyraźnie zauważyć efekt zastosowania systemów infiltracyjnych. Największą redukcję, w odniesieniu do stanu rzeczywistego, uzyskano dla wariantu 0% – była to blisko 53% mniejsza objętość wylania. Jak wynika z powyższego wykresu w zakresie analizy sumarycznej objętości podtopień w całej populacji węzłów stwierdzono, że wariant 20% powoduje zmniejszenie objętości podtopień o połowę. Niemniej jednak racjonalne jest przyjęcie wariantu 40%, gdyż powoduje on redukcję objętości wylania dla wszystkich węzłów na poziomie 36% przy dużo mniejszych nakładach inwestycyjnych niż wariant 20%.

Porównując wszystkie warianty – najmniej zauważalne efekty są pomiędzy wariantami 0% i 20% oraz 60% i 80%, co tylko uzasadnia wybór wariantu 40% jako tego, który jest efektywny pod względem ograniczenia objętości podtopień jak i jest korzystny finansowo.

Kolejnym krokiem w badaniach było poddanie analizie objętości spływów powierzchniowych.

Wyniki przedstawione na wykresie (Rys. 7) pokazują sumaryczną objętość wód opadowych na wylocie do odbiornika z objętością wód z podtopień, w zależności od zastosowanego wariantu udziału powierzchni przepuszczalnych. Wykres ten pozwala na porównanie efektów zastosowania powierzchni przepuszczalnych w celu redukcji objętości. Stosując maksymalny udział powierzchni przepuszczalnych można zredukować objętość spływu powierzchniowego maksymalnie o 25%. Można przypuszczać, że stosując powierzchnie przepuszczalne, w tak dużym procencie, uzyska się większą redukcję objętości spływu powierzchniowego. Otrzymane wartości redukcji objętości spływów powierzchniowych wynikają z tego, że tworząc model hydrodynamiczny, zmieniono jedynie typ nawierzchni bez wymiany podbudowy i zmiany współczynnika infiltracji. Biorąc pod uwagę powyższe kwestie, nie ulega wątpliwości, że zastosowanie systemów infiltracyjnych odciąża sieć kanalizacji deszczowej. Nie mniej

jednak czynnikiem wpływającym na jeszcze lepsze efekty redukcji jest poprawność wykonania podbudowy i właściwe dobranie materiałów w celu uzyskania odpowiedniego współczynnika infiltracji.

Badania wpływu zastosowania systemów retencyjno-infiltracyjnych na odciążenie sieci kanalizacji deszczowej

Działanie systemów retencyjno-infiltracyjnych obejmuje przyjęcie spływów powierzchniowych, ich dostosowanie do potrzeb lokalnych, zatrzymanie (retencję) oraz infiltrację w głąb podłoża gruntowego. W badaniach zaprojektowano muldy chłonne i określono w jaki sposób wpłyną one na odciążenie sieci kanalizacji deszczowej w tych zlewniach cząstkowych, w których nastąpiły wylania na teren.

Sposób wymiarowania i metody projektowania systemów retencyjno-infiltracyjnych są przedstawione w niemieckiej wytycznej DWA-A 138 oraz w wytycznej DWA-A117 [3].

Badania rozpoczęto od zaprojektowania muld chłonnych dla każdej z czterech zlewni cząstkowych, w których zawsze występowały podtopienia na węzłach w sieci kanalizacji deszczowej.

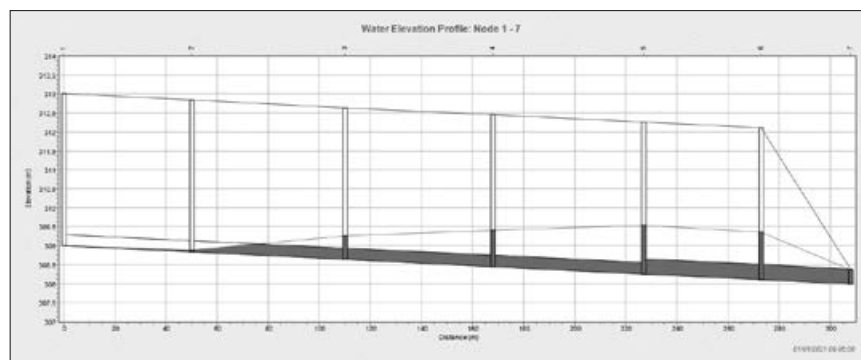
Na tym etapie badań wyodrębnione zostały

cztery zlewnie cząstkowe, w których następowały podtopienia w węzłach, czyli pojawiły się warunki ciśnieniowe (przepływ przy pełnym przekroju) powodujące podtopienia na powierzchni zlewni. Dla tych parkingów przeprowadzono symulacje w programie SWMM. Analizie poddano objętość spływu powierzchniowego oraz funkcjonowanie sieci kanalizacji deszczowej (wyrażone liczbą podtapianych węzłów oraz objętością podtopień dla poszczególnych zlewni cząstkowych). Obliczone wartości zostały odniesione do stanu zastanego (istniejącego), w którym to powierzchnie nieprzepuszczalne stanowiły 100% obszaru zlewni cząstkowych. W celu weryfikacji przepustowości hydraulicznej sieci kanalizacji deszczowej, obciążono zlewnie opracowanymi opadami modelowymi.

W pierwszej kolejności obciążano sieć deszczem modelowym o częstotliwości występowania $C=10$ lat i czasie trwania $t=5$ minut. Profil kanału w wybranym czasie trwania opadu modelowego (5. min – największe napełnienie) przedstawiono na rysunku (Rys. 8).

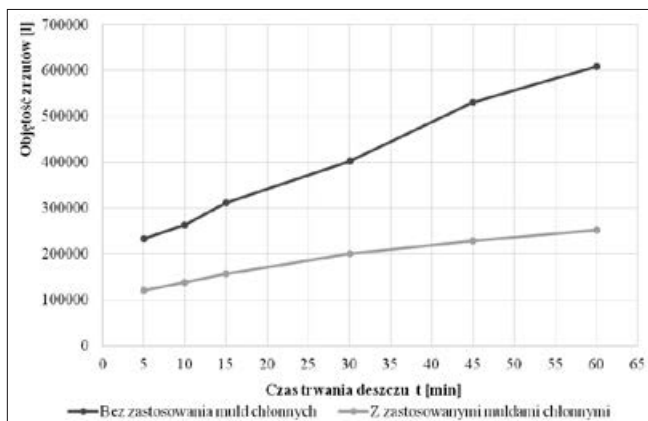
Jak wynika z powyższego wykresu (Rys. 8), zaprojektowana kanalizacja deszczowa, wyposażona w muldę chłonną, ma wystarczającą przepustowość hydrauliczną, która umożliwi odprowadzenie modelowych spływów wód opadowych bez nadpiętrzeń.

W następnej kolejności obciążano sieć kanalizacji deszczowej opadami modelowymi o dłuższych czasach trwania $t=[5-60]$ min. Zastosowanie systemów retencyjno-infiltracyjnych całkowicie wyeliminowało problem podtopień w węzłach. W związku z tym, że nie wystąpiły podtopienia, to cała objętość (...) cała objętość wód opadowych została odprowadzona kanałami nie powodując przy tym ich hydraulicznego przeciążenia i przez wylot trafiła bezpośrednio do odbiornika. Dotychczasowa analiza systemów infiltracyjnych (powierzchnie przepuszczalne) nie pozwalała określić redukcji objętości wód opadowych na wylocie, ponieważ mimo zastosowania tych systemów, nadal występowały podtopienia. Poprzez wylania na teren, część wody wydostała się z systemu kanalizacyj-



Rys. 8.
Profil napełnienia kanału w 5. minucie trwania opadu modelowego o $t=5$ minut dla parkingu 1 z zastosowaniem muldy chłonnej Fig. 8. Channel filling profile in the 5th minute of the model rainfall o $t=5$ minutes for car park 1 using an absorbent trough

Rys. 9.
Wykres objętości zrzutów przez wylot do odbiornika po zastosowaniu systemów retencyjno-infiltracyjnych oraz bez ich zastosowania



negotym samym zaburzając wyniki. W związku z powyższym zdecydowano się na przeanalizowanie objętości wód opadowych trafiających do odbiornika tylko przy zastosowaniu systemów retencyjno-infiltracyjnych (muld chłonnych) na terenie zlewni. Zestawienie sumarycznej objętości wód opadowych, które trafiły do odbiornika, przedstawiono na wykresie (Rys. 9).

Analizując wykres (Rys. 9) nie ulega wątpliwości, że zastosowanie urządzeń retencyjno-infiltracyjnych odciąża sieć kanalizacji deszczowej na wylocie do odbiornika. Zastosowanie muld chłonnych powoduje redukcję objętości od 48% do 59% co w znaczący sposób wpływa na ochronę jakości wód w odbiorniku.

Kolejnym krokiem badań było określenie objętości spływów powierzchniowych. Wykres (Rys. 10) przedstawia objętości spływów powierzchniowych w zależności od czasu trwania opadu modelowego. Na wykresie (Rys. 10) można wyraźnie zauważyć efekt zastosowania systemów retencyjno-infiltracyjnych (muld chłonnych). Redukcja spływu powierzchniowego, w odniesieniu do stanu rzeczywistego wyniosła 60%.

Podsumowanie

Postępująca urbanizacja oraz zmiany klimatyczne sprawiły, że w wielu miastach nasila się występowanie poważnych zagrożeń powodziami opadowymi. Jednym z istotnych rozwiązań ograniczania zagrożenia powodziowego jest przywracanie i rozwój retencji, w tym reten-

cji naturalnej – bioretencji [7]. Zastosowanie systemów infiltracyjnych oraz infiltracyjno-retencyjnych w systemach sieci kanalizacji deszczowej wpisuje się w koncepcję zrównoważonego rozwoju gospodarki wodno-ściekowej w obszarach zurbanizowanych. Przeprowadzone badania umożliwiły określenie korzyści wynikających z zastosowania wyżej wymienionych systemów. Pozytywne efekty można zaobserwować nie tylko w zakresie redukcji objętości zrzutów przez wylot do odbiornika ale również w zwiększeniu niezawodności hydraulicznej sieci kanalizacji (redukcja liczby podtapianych węzłów oraz objętości wód, które nie zostały odprowadzone przez system do wylotu).

Różnice w efektywności redukcji objętości spływów powierzchniowych pomiędzy systemami infiltracyjnymi (powierzchnie przepuszczalne) a retencyjno-infiltracyjnymi (muldy chłonne – LID), wynikają z zupełnie odmiennego sposobu zamodelowania warstw podbudowy tych urządzeń. W przypadku powierzchni przepuszczalnych była to jedynie wymiana typu nawierzchni parkingów, a w przypadku muld chłonnych zamodelowano wszystkie warstwy urządzenia (od nawierzchni do gruntu). Różnice sposobu zamodelowania wynikają z faktu, że powierzchnie przepuszczalne występują na powierzchni parkingów i gdyby zaprojektować całkowitą wymianę podbudowy tych zlewni cząstkowych to koszty byłyby ogromne stąd zdecydowano się jedynie na zmianę typu nawierzchni. Natomiast w przypadku systemów retencyjno-infiltracyjnych, muldy

chłonne znajdują się obok parkingów stąd koszty wykonania/wymiany wszystkich warstw podbudowy są zdecydowanie niższe niż w przypadku powierzchni przepuszczalnych.

Stosując systemy retencyjno-infiltracyjne osiągnięto również całkowitą poprawę wszystkich rozpatrywanych wskaźników niezawodności hydraulicznej sieci kanalizacyjnej takich jak:

1. liczba podtapianych węzłów,
2. objętości wód wylanych na teren zlewni w wyniku podtopień.

W systemach infiltracyjnych osiągnięto wyraźną redukcję objętości wód opadowych, które uległy wylaniu w wyniku podtopienia. W przypadku tych systemów redukcję liczby podtopień były mniejsze niż redukcję objętości w poszczególnych wariantach. Prowadzi to do wniosku, że wdrożenie tego typu systemów infiltracyjnych w większym stopniu wpływa na ograniczenie objętości podtopień natomiast w mniejszym stopniu na liczbę podtapianych węzłów. W praktyce oznacza to zmniejszenie stopnia uciążliwości potopień w obszarach zurbanizowanych ale nie ich całkowitą eliminację.

Temat zaprezentowany podczas II Konferencji Naukowo-Technicznej „Nauka-Technologia-Środowisko” w dniach 27-29 września 2023 r. w Wiśle. Konferencja finansowana przez Ministra Edukacji i Nauki w ramach programu „Dokształcanie naukowców” – moduł „Wsparcie konferencji naukowych” (projekt nr DNK/SP/546599/2022)



LITERATURA

- [1] Łomotowski J. (2008) Problemy zagospodarowania wód opadowych – praca zbiorowa, wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa
- [2] Wałęga A., Radecki-Pawlik A., Kaczor G. (2013) Naturalne sposoby zagospodarowania wód opadowych, wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków
- [3] Norma niemiecka DIN 1989-1:2002-04 Regenwassernutzungsanlagen – Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung
- [4] Adamowski D., Zalewski J., Paluch P., Glixelli T. (2017) Katalog zielono-niebieskiej infrastruktury, Część II. Wytyczne I rozwiązania, Wydanie 1.1 MWiK w Bydgoszczy and Arup, Bydgoszcz
- [5] Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0 (2010) By Lewis A. Rossman, Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, OH 45268
- [6] Muszyński K., Godyń I., Porębska A., Racoń-Leja K. (2022) Koncepcja możliwości kształtowania bioretencji w zlewni Serafy z wykorzystaniem analiz przestrzennych naturalnych dróg spływu wód opadowych, czasopismo Instal, tom 7/8, strony 59-65
- [7] Zalewski M., Wagner I., Krauze K. (2013) Błękitne aspekty zielonej infrastruktury. „Przyroda w mieście – Rozwiązania. Zrównoważony Rozwój – Zastosowania”, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, nr 4, s. 145-155

Rys. 10.
Sumaryczna objętość spływów powierzchniowych ze zlewni cząstkowych dla wszystkich wariantów

