

Optymalizacja systemu odwodnienia osiedla budynków mieszkalnych jednorodzinnych w województwie łódzkim

Optimization of the drainage system of a single-family residential estate located in the Łódź Voivodeship

EWA BADOWSKA

DOI 10.36119/15.2025.12.14

Stosowanie urządzeń do lokalnej retencji i infiltracji wód opadowych jest obecnie najskuteczniejszą metodą ograniczania negatywnego wpływu zmian klimatu i nasilonego w ostatnich dekadach uszczelniania powierzchni na funkcjonowanie miejskich systemów odwodnieniowych. Ponadto rozwiązania te, dzięki walorom estetycznym i użytkowym, przyczyniają się do poprawy jakości życia w miastach

W poniższej pracy scharakteryzowano stosowane rozwiązania urządzeń umożliwiających infiltrację, retencjonowanie, podczyszczanie i wykorzystywanie wód deszczowych w miejscu ich powstawania. Na podstawie przeprowadzonej analizy wielowariantowego modelu odwodnienia terenu osiedla budynków jednorodzinnych, dokonano także oceny skuteczności działania różnych systemów zagospodarowania wód opadowych. Badania symulacyjne przeprowadzono w programie EPA SWMM.

Słowa kluczowe: wody opadowe, systemy odwodnienia, retencja i infiltracja, SWMM

Nowadays, the use of devices for local stormwater retention and infiltration is the most effective method of limiting the negative impact of climate changes and surface sealing, increased in recent decades, on the functioning of urban drainage systems. Moreover, through their aesthetic and utility values, these solutions affect the quality of life in cities. The paper presents used solutions of devices for local infiltration, retention, pretreatment and use of stormwater. On the basis of the analysis of the multi – variant model of drainage in the area of single – family houses, the effectiveness of various stormwater management systems was also assessed. The simulation studies were carried out in the EPA SWMM software.

Keywords: rainwater, drainage systems, retention and infiltration, SWMM

Wstęp

W ostatnich dziesięcioleciach, w dużej mierze wskutek działalności człowieka, nastąpiły znaczące przekształcenia w naturalnym cyklu obiegu wody w środowisku. Dynamiczny wzrost wielkości powierzchni nieprzepuszczalnych oraz coraz częstsze występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych – naprzemiennych okresów suszy i intensywnych opadów – doprowadziły do ograniczenia skuteczności tradycyjnych systemów odwodnienia. Wobec tego konieczne stało się opracowanie nowego podejścia do gospodarowania wodami opadowymi, opartego na zasadach zrównoważonego rozwoju.

Współcześnie, w zarządzaniu wodami opadowymi na obszarach miejskich, kluczowym celem nie jest już ich szybkie

odprowadzanie do odbiorników za pomocą systemów kanalizacyjnych, lecz maksymalne zatrzymanie w miejscu powstania. Realizacja idei zrównoważonej gospodarki wodami opadowymi możliwa jest dzięki wdrażaniu nowoczesnych systemów odwodnienia, które wykorzystują naturalne procesy retencji i infiltracji. Rozwiązania te nie tylko poprawiają bilans wodny terenów zurbanizowanych i zwiększają efektywność pracy tradycyjnych sieci kanalizacyjnych, ale również pozytywnie wpływają na estetykę przestrzeni miejskiej, tworząc atrakcyjne miejsca rekreacji dla mieszkańców.

Pojęcie wód opadowych

Z hydrologicznego punktu widzenia wody opadowe stanowią podstawową

część zasobów wodnych na Ziemi zapewniających odnawialność zarówno wód powierzchniowych, jak i podziemnych. Zjawisko opadu jest jednym z najważniejszych elementów obiegu wody w przyrodzie. Jeszcze większe znaczenie opady odgrywają w przypadku obiegu wody w zlewni (czyli w podstawowej jednostce hydrologicznej). Zachodzący w jej obszarze najkrótszy cykl hydrologiczny obejmuje zjawiska opadu, spływu powierzchniowego i podziemnego oraz parowania [1].

Jakość wód opadowych

Wody opadowe charakteryzują się dużą zmiennością zarówno pod względem ilości jak i jakości. Ich jakość determinowana jest przez następujące czynniki [2]:

- charakter zlewni (wielkość, sposób zagospodarowania, udział terenów zielonych),
- natężenie ruchu samochodowego i rodzaj dróg,
- częstotliwość i sposób czyszczenia zlewni,
- stan czystości powietrza atmosferycznego,
- parametry opadu (natężenie, czas trwania, zdolność spłukująca, czas między kolejnymi opadami),
- pora roku,
- hydraulika, konstrukcja i sposób eksploatacji sieci kanalizacyjnej transportującej wody opadowe oraz obiektów towarzyszących.

Najważniejszym parametrem, pozwalającym ocenić jakość wód opadowych spływających z terenów zurbanizowanych, jest zawartość zawiesin. Wynika to z faktu, że występujące w tych wodach zawiesiny są często nośnikami innych rodzajów zanieczyszczeń, takich jak związki organiczne i metale ciężkie [2].

Jak wykazały badania, m. in. przeprowadzone w Łodzi, spływy opadowe pochodzące z różnych powierzchni charakteryzują się dużym zróżnicowaniem zawartości zawiesiny ogólnej. Najwyższe stężenia tego parametru występowały w spływach z ulic i parkingów, najniższe natomiast – z powierzchni dachów. Zauważono ponadto zależność zawartości zawiesin nie tylko od rodzaju odwadniającej powierzchni, ale również od parametrów opadu i długości okresu pogody suchej przed opadem [3].

Ilość zawiesin w wodach opadowych pochodzących z obszarów zurbanizowanych może wynosić od 100 do 3000 mg/dm³, z czego przeważającą większość stanowią zawiesiny mineralne [4].

Odprowadzanie wód opadowych do odbiorników oraz do urządzeń wprowadzających je do gruntu możliwe jest gdy wody te spełniają, określone przepisami prawnymi lub wymaganiami technicznymi, standardy jakościowe, dotyczące w szczególności zanieczyszczeń zawiesinami i węglowodorami ropopochodnymi.

Zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r.* „wody opadowe (...) ujęte w otwarte lub zamknięte systemy kanalizacyjne, pochodzące z zanieczyszczonej powierzchni szczelnej [np. terenów przemysłowych, lotnisk, baz transportowych, dróg krajowych i wojewódzkich] (...) mogą być wprowadzane do wód lub do urządzeń wodnych (...), o ile nie zawierają substancji zanieczyszczających w ilościach przekraczających

100 mg/l zawiesiny ogólnej oraz 15 mg/l węglowodorów ropopochodnych” [5]. Rozporządzenie nie ustala wymagań w stosunku do innych wskaźników zanieczyszczeń, w tym metali ciężkich.

Według obowiązujących uregulowań prawnych „wody opadowe (...) pochodzące z powierzchni innych niż powierzchni, o których mowa w ust. 1 [np. terenów zabudowy mieszkaniowej], mogą być wprowadzane do wód lub do urządzeń wodnych (...) bez oczyszczania” [6].

Odwadnianie terenu w kontekście zrównoważonego rozwoju

Na terenach naturalnych, niezurbanizowanych, istnieje równowaga pomiędzy opadem atmosferycznym a procesami spływu, infiltracji i parowania wody. Postępująca urbanizacja prowadzi jednak do zwiększenia powierzchni nieprzepuszczalnych, co skutkuje intensyfikacją spływu powierzchniowego i negatywnie wpływa na funkcjonowanie infrastruktury miejskiej oraz stan odbiorników wód [7].

Zjawiska towarzyszące rozwojowi miast, takie jak przeciążenie sieci kanalizacyjnych i oczyszczalni ścieków, powodzie miejskie, obniżanie się poziomu wód gruntowych czy powstawanie tzw. miejskiej wyspy ciepła, są pogłębiane przez postępujące zmiany klimatyczne. Coraz częściej obserwuje się gwałtowne zjawiska atmosferyczne, w tym intensywne opady deszczu [7]. Prognozy wskazują, że w ciągu najbliższych 30 lat ilość krótkotrwałych, intensywnych opadów zwiększy się o około 10%, natomiast liczba długotrwałych opadów spadnie w podobnym stopniu [8, 9].

W związku z tym niezbędne stało się opracowanie nowych metod gospodarowania wodami opadowymi, zgodnych z zasadą zrównoważonego rozwoju. Ich podstawowym celem jest ograniczenie ilości wód deszczowych odprowadzanych do kanalizacji i odbiorników powierzchniowych, a także oczyszczanie spływów przed ich wprowadzeniem do środowiska. Istotne znaczenie ma również ponowne wykorzystanie deszczówki oraz wkomponowanie elementów małej retencji w strukturę krajobrazu miejskiego, co sprzyja poprawie estetyki i jakości przestrzeni publicznej [10].

Przykład szwedzkiego Malmö pokazuje, że wdrażanie rozwiązań zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi jest możliwe nie tylko na nowo powstających terenach, ale także w starszych częściach miast – pod warunkiem

współpracy lokalnych władz, społeczności i ekspertów [11].

W Polsce również obserwuje się zmianę podejścia do roli systemów odwodnieniowych w miastach. Coraz częściej odchodzi się od koncepcji szybkiego odprowadzania wód opadowych do kanalizacji, na rzecz zatrzymywania i zagospodarowywania ich w miejscu wystąpienia [12, 13, 14, 15, 16]. Aby zwiększyć świadomość ekologiczną mieszkańców, wiele samorządów – m.in. w Warszawie [17, 18], Łodzi [19], Bydgoszczy [20] i Wrocławiu [21] – przygotowało i udostępniło w Internecie broszury edukacyjne, zawierające praktyczne porady dotyczące gospodarowania wodą deszczową.

Zrównoważone gospodarowanie wodami opadowymi przynosi liczne korzyści [22]:

Środowiskowe:

- ograniczenie zanieczyszczenia wód powierzchniowych,
- zwiększenie dostępności zasobów wodnych,
- zmniejszenie ryzyka wezbrań w ciekach,
- poprawa warunków gruntowo-wodnych,
- zwiększenie bioróżnorodności w mieście,
- poprawa klimatu miejskiego.

Hydrauliczne:

- zmniejszenie ilości wód opadowych trafiających do kanalizacji,
- ograniczenie ryzyka przeciążenia sieci i oczyszczalni,
- usprawnienie pracy systemów odprowadzania wód opadowych.

Społeczno-gospodarcze:

- redukcja strat materialnych spowodowanych podtopieniami,
- zmniejszenie deficytu wody przeznaczonej do spożycia,
- obniżenie kosztów utrzymania terenów zielonych,
- ograniczenie wydatków na rozbudowę systemów kanalizacyjnych,
- poprawa atrakcyjności przestrzeni miejskiej,
- wzrost świadomości ekologicznej mieszkańców.

W praktyce zrównoważone gospodarowanie wodami deszczowymi opiera się na wykorzystaniu urządzeń retencyjnych i infiltracyjnych. Mogą to być systemy rozproszone, instalowane na prywatnych posesjach (np. studnie chłonne, ogrody deszczowe, zielone dachy, instalacje do zbierania deszczówki), lub systemy zbiorcze,

takie jak zbiorniki retencyjne i retencyjno-filtracyjne, które obsługują większe obszary [23].

Dobór odpowiednich rozwiązań powinien wynikać z analizy lokalnych warunków projektowych, uwzględniającej m.in. [24]:

- ilość i jakość wód opadowych,
- poziom wód gruntowych,
- dostępność terenu pod inwestycję,
- przepuszczalność gruntu,
- bezpieczeństwo użytkowników,
- opłacalność ekonomiczną.

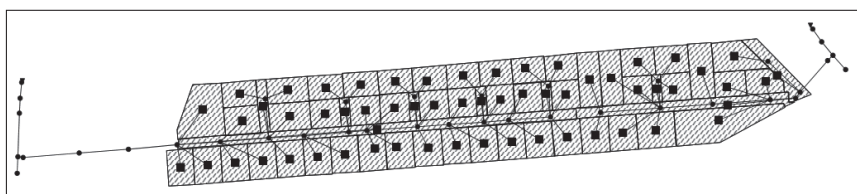
W wielu dotychczasowych projektach pomijano analizę jakości wód opadowych, co często prowadziło do nieefektywnego działania systemów retencyjnych. Zanieczyszczenia deszczówki stanowią jeden z głównych problemów wpływających na funkcjonowanie urządzeń do lokalnego zagospodarowania wód. Dlatego przy projektowaniu systemów zrównoważonego odwodnienia należy równocześnie brać pod uwagę zarówno ilość, jak i jakość wód opadowych [25].

Program SWMM (ang. Storm Water Management Model – program do modelowania odwodnień terenów), służący do modelowania systemów odwodnieniowych, opracowany został przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (US EPA). Jest to dynamiczny model zjawiska opad – odpływ, wykorzystywany do symulacji ilości i jakości odpływów deszczowych ze zlewni zurbanizowanych [26].

Przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych w programie SWMM wymaga utworzenia baz danych obejmujących [27]:

- opady deszczowe w zlewni,
- charakterystykę hydrologiczną i hydrauliczną zlewni (m. in. zdolność infiltracyjną gruntu oraz spadek, stopień uszczelnienia i szorstkość powierzchni),
- charakterystykę eksploatacyjną systemu kanalizacyjnego, czyli parametry sieci (m in. długości, spadki i przekroje kanałów) oraz innych obiektów.

Analizie w programie Storm Water Management Model zostało poddane osiedle budynków mieszkalnych jednorodzinnych w miejscowości Bychlew – województwo łódzkie, powiat pabianicki w gminie Pabianice.



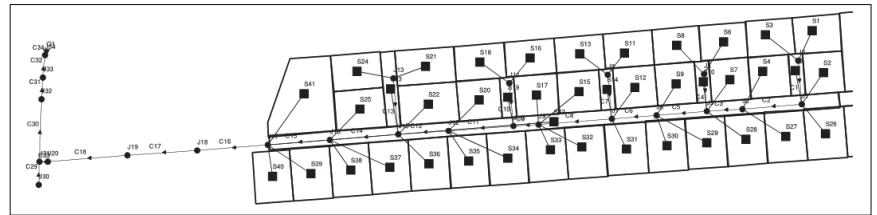
Rysunek 1. Analizowany obszar w programie SWMM (opracowanie własne)

Przedmiotowe osiedle podzielono na dwie zlewnie, z których wody deszczowe będą odprowadzane do niezależnych od siebie odbiorników (dla zlewni I jest to rzeka, dla zlewni II – rów melioracyjny).

Zlewnia I

Obszar zlewni I podzielony został na 42 podzlewnie. Powierzchnia zlewni I wynosi 4,04 ha (powierzchnie nieprzepuszczalne: 0,84 ha, tereny zielone: 3,20 ha).

Na rysunku 2 pokazano również układ modelowanej kanalizacji deszczowej.



Rysunek 2. Zlewnia I z podziałem na podzlewnie

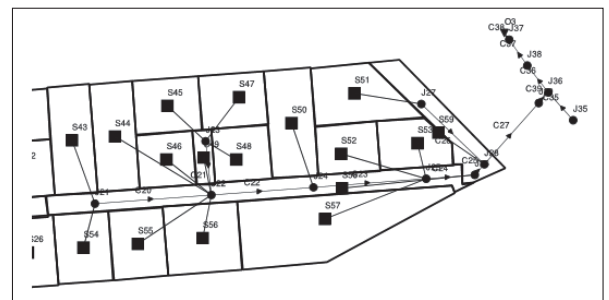
Zlewnia II

Obszar zlewni II podzielono na 17 podzlewni. Powierzchnia zlewni II wynosi 1,96 ha (powierzchnie nieprzepuszczalne: 0,37 ha, tereny zielone: 1,59 ha).

Podział zlewni II na podzlewnie przedstawiono na rysunku 3.

Na rysunku 3 pokazano również układ modelowanej kanalizacji deszczowej.

Rysunek 3. Zlewnia II z podziałem na podzlewnie



Przyjęte założenia w modelowaniu sieci kanalizacji deszczowej dla analizowanego osiedla

W programie Storm Water Management Model wykonano cztery warianty odwodnień:

Wariant I – zamodelowano prosty układ kanalizacji deszczowej, który od-

prowadza wody opadowe bezpośrednio do odbiorników, bez wykorzystania urządzeń infiltracyjnych oraz retencyjnych.

Wariant II – zamodelowano układ, w którym dla zlewni I zastosowano Storage Units – zbiornik retencyjny.

Wariant III – zamodelowano układ, w którym wykorzystano obiekty LID (Low Impact Development) – urządzenia ograniczające odpływ wód opadowych.

Na działkach, na których występują domy wykorzystano 3 obiekty:

○ dach zielony,

- system powierzchni półprzepuszczalnych,
- ogrody deszczowe.

Wariant IV – zamodelowano układ, w którym wykorzystano obiekty LID Controls – urządzenia ograniczające odpływ wód opadowych. W tym wariantcie zrezygnowano z dachów zielonych, zamiennie zastosowano zbiorniki gromadzące wodę deszczową pozwalającą na ponowne jej

wykorzystanie. Pozostałe dwa urządzenia zamodelowano bez zmian – ogrody deszczowe oraz system powierzchni półprzepuszczalnych.

Statystyki i dane dotyczące deszczu na modelowanym obszarze

Dane deszczu wykorzystane do stworzenia modelu w programie Storm Water Management Model pochodzą ze stacji meteorologicznej znajdującej się w łodzi na ul. Zgierskiej.

Wykorzystano pomiary deszczowe z lat 2018 – 2022 z dni:

- 11.04.2018 – 05.12.2018;
- 15.03.2019 – 12.12.2019;
- 18.03.2020 – 18.12.2020;

- 29.03.2021 – 27.11.2021;
- 17.03.2022 – 11.12.2022.

W tabeli 1 przedstawiono 10 opadów o najwyższym natężeniu z lat 2018 – 2022.

Tabela 1. 10 opadów o największym natężeniu (opracowanie własne)

Lp	Data	Godzina	Intensywność opadu [mm/h]	Natężenie deszczu [dm ³ /(s*ha)]
1.	31.07.2021	15:45	108,83	302,31
2.	09.08.2018	18:55	93,30	259,17
3.	10.08.2022	06:35	87,81	243,92
4.	01.06.2018	15:55	78,20	217,22
5.	09.08.2018	19:00	72,82	202,28
6.	31.05.2021	22:15	66,92	185,89
7.	01.06.2018	15:30	66,30	184,17
8.	10.08.2022	06:40	64,40	178,89
9.	12.06.2020	18:55	60,52	168,11
10.	09.08.2018	19:05	58,98	163,83

Tabela 2. Podsumowanie opadów 2018-2022

Rok	2018	2019	2020	2021	2022
Suma dni deszczowych w danym roku	84	101	85	93	129
Najwyższy odczyt deszczomierza w danym roku [mm/h]	78,20	38,98	60,52	108,83	87,81
Suma opadów dla danego roku [mm]	475,70	468,46	255,30	484,77	604,22

W tabeli 2 przedstawiono porównanie ilości dni deszczowych, wystąpienia największego natężenia opadu oraz sumy opadów w danym roku.

Dla poszczególnych wariantów oraz zjawisk opadowych przeprowadzono symulacje komputerowe, a wyniki przedstawiono poniżej.

Ilość wód opadowych odpływających ze zlewni I i II w latach 2018-2022

W celu stwierdzenia skuteczności działania modelu sieci kanalizacji deszczowej, należy również odnieść się do ilości wód opadowych odprowadzanych z analizowanych obszarów w poszczególnych wariantach.

W tabeli 3 przedstawiono zestawienie ilości wód opadowych spływających ze zlewni I w latach 2018 – 2022.

W tabeli 4 przedstawiono zestawienie ilości wód opadowych spływających ze zlewni II w latach 2018 – 2022.

Analizując wartości przedstawione w tabelach 3, 4 oraz 5 – stwierdza się, że rozwiązania wykorzystane w wariantach IV są najskuteczniejsze pod względem ograniczenia ilości spływających wód opadowych z analizowanych zlewni.

Do stworzenia najefektywniejszego modelu hydraulicznego sieci kanalizacji deszczowej (w odniesieniu do maksymalnego ograniczenia ilości zrzucanych wód opadowych) wykorzystano obiekty opóźniające infiltrację wód opadowych do gruntu (ogrody deszczowe, płyty ażurowe) oraz obiekty pozwalające na retencjonowanie i ponowne wykorzy-

wanie wód opadowych, spływających z powierzchni nieprzepuszczalnych.

Aby poprawić skuteczność działania sieci kanalizacji deszczowej w wariantach

tów I i II. Różnica ta, na przestrzeni 5 lat i całego obszaru (zlewnia I + zlewnia II) wynosi ok. 8 400 m³ wód opadowych.

Ilość odprowadzanych wód deszczowych w modelu sieci kanalizacji deszczowej z wykorzystaniem zbiorników na wody opadowe, ogrodów deszczowych oraz płyt ażurowych (wariant IV) jest mniejsza od wariantu I i II. Różnica ta, na przestrzeni 5 lat i całego obszaru (zlewnia I + zlewnia II) wynosi ok. 15 660 m³ wód opadowych, stanowi to około 15% objętości wód opadowych z wariantu I

Porównując dwa warianty z wykorzystaniem urządzeń opóźniających infiltrację wód deszczowych do gruntu oraz urządzeń retencjonujących wody opadowe większą skuteczność wykazują elementy zastosowane w wariantach IV. Różnica w ilości wód opadowych dla całego obszaru (zlewnia I + zlewnia II) na przestrzeni 5 lat wynosi ok. 7 300 m³.

Tabela 3. Ilość wód opadowych odprowadzanych ze zlewni I do rzeki

Zlewnia I				
Wariant	I	II	III	IV
Rok	Objętość odprowadzanych wód opadowych [m ³]	Objętość odprowadzanych wód opadowych [m ³]	Objętość odprowadzanych wód opadowych [m ³]	Objętość odprowadzanych wód opadowych [m ³]
2018	14336	14325	13471	12516
2019	13523	13511	12371	11244
2020	6000	5998	5211	4522
2021	13757	13728	12785	11934
2022	17843	17808	16380	15073
SUMA	65459	65370	60218	55289

Tabela 4. Ilość wód opadowych odprowadzanych ze zlewni II do rowu melioracyjnego

Zlewnia II				
Wariant	I	II	III	IV
Rok	Objętość odprowadzanych wód opadowych [m ³]	Objętość odprowadzanych wód opadowych [m ³]	Objętość odprowadzanych wód opadowych [m ³]	Objętość odprowadzanych wód opadowych [m ³]
2018	7541	7542	6966	6529
2019	7102	7103	6437	5885
2020	3112	3113	2673	2345
2021	7207	7208	6611	6199
2022	9320	9321	8458	7837
SUMA	34282	34287	31145	28795

Tabela 5. Ilość wód opadowych odprowadzanych do odbiornika

Zlewnia I + II				
Wariant	I	II	III	IV
Rok	Objętość odprowadzanych wód opadowych [m ³]	Objętość odprowadzanych wód opadowych [m ³]	Objętość odprowadzanych wód opadowych [m ³]	Objętość odprowadzanych wód opadowych [m ³]
SUMA	99741	99657	91363	84084

IV (nie zwiększając znacząco kosztów inwestycji), należy zwiększyć liczbę lub pojemność zbiorników na wody opadowe.

Ilość odprowadzanych wód deszczowych w modelu sieci kanalizacji deszczowej z wykorzystaniem dachów zielonych, ogrodów deszczowych oraz płyt ażurowych (wariant III) jest mniejsza od wariantu

Wartości ilości odprowadzanych wód opadowych w wariantach I i wariantach II są takie same – ponieważ stosowanie zbiornika retencyjnego ma na celu zmniejszenie natężenia przepływu wód deszczowych w odcinku odpływowym (maksymalne wydłużenie zrzutu odpływu wód deszczowych).

Wnioski

- Przeprowadzona optymalizacja systemu odwodnienia osiedla budynków jednorodzinnych w województwie łódzkim wykazała, że wprowadzenie rozwiązań typu LID pozwala znacząco ograniczyć odpływ wód opadowych z terenu zurbanizowanego. Uzyskana redukcja na poziomie 15% (wariant IV) potwierdza skuteczność zastosowanych działań w kontekście zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi.
- Wdrożenie elementów, takich jak nawierzchnie przepuszczalne, ogrody deszczowe i zielone dachy przyczyniło się do poprawy retencji lokalnej i ograniczenia obciążenia kanalizacji deszczowej. Rozwiązania te okazały się szczególnie efektywne w warunkach typowych dla regionu łódzkiego, charakteryzującego się ograniczoną infiltracyjnością gleb i zróżnicowanym rozkładem opadów.
- Wyniki analizy potwierdzają, że zastosowanie technologii LID stanowi realne narzędzie optymalizacji istniejących systemów odwodnienia na poziomie osiedli mieszkaniowych, umożliwiając poprawę bilansu wodnego zlewni przy relatywnie niskich kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych.
- Redukcja odpływu o 15% przy jednoczesnym zachowaniu pełnej funkcjonalności systemu kanalizacji potwierdza, że rozwiązania oparte na retencji rozproszonej mogą skutecznie wspierać klasyczne systemy odwodnienia, zwłaszcza w małych zlewniach zurbanizowanych.
- Wyniki badań wskazują na konieczność uwzględniania rozwiązań LID już na etapie planowania nowych inwestycji mieszkaniowych. Włączenie ich w proces projektowania pozwala nie tylko zwiększyć odporność układu odwodnienia na intensywne opady, ale również wspiera realizację krajowych i unijnych celów adaptacji do zmian klimatu.
- Opracowany wariant optymalizacyjny może stanowić punkt odniesienia dla podobnych inwestycji w regionie

łódzkim, pokazując, że nawet umiarkowana integracja obiektów LID w układzie osiedlowym przynosi wymierne efekty hydrologiczne, środowiskowe i ekonomiczne.

- Dalsze prace powinny obejmować długoterminowy monitoring funkcjonowania zastosowanych rozwiązań oraz analizy symulacyjne uwzględniające scenariusze ekstremalnych opadów, co pozwoli na pełniejszą ocenę efektywności systemu i jego odporności na zmiany klimatyczne.

LITERATURA

- [1] Słyś D., *Zrównoważone systemy odwodnienia miast*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2013
- [2] Królikowska J., Królikowski A., *Wody opadowe: odprowadzanie, zagospodarowanie, podczyszczanie i wykorzystanie*, Warszawa, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, 2012, s. 31
- [3] Sakson G. i in., *Zanieczyszczenie ścieków opadowych jako podstawa wyboru sposobu ich zagospodarowania*, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, 2014, t. XXXI, z. 61, s. 259
- [4] Słyś D., *Zrównoważone systemy odwodnienia miast*, Wrocław, DWE, 2013, s. 26
- [5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz. U. 2019 poz. 1311), par. 17 ust. 1
- [6] Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz. U. 2019 poz. 1311), par. 17 ust. 2
- [7] Słyś D. i in., *Innowacyjne rozwiązania w nowoczesnej infrastrukturze odwodnieniowej*, „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2018, nr 3, s. 32 – 38
- [8] Kaźmierczak B. i in., *Prognozowanie wysokości opadów do 2050 roku w świetle obserwowanych zmian klimatu we Wrocławiu*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna”, 2019, nr 8, s. 253
- [9] Gwoździej-Mazur, J., Jadwiszczak, P., Kaźmierczak, B. et al. The impact of climate change on rainwater harvesting in households in Poland. Appl Water Science, 15, 2022. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01491-5>
- [10] Szruba M., *Odwodnienie i zagospodarowanie wód opadowych w miastach*, „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne”, 2019, nr 3, s. 21
- [11] Mrowiec M., *Sustainable Urban Drainage Infrastructure*, „Problemy Ekorozwoju”, 2016, vol. 11, nr 2, s. 116
- [12] Sakson G., Bandzierz D., *Zasadność stosowania urządzeń do lokalnego zagospodarowania wód opadowych*, „Wodociągi – Kanalizacja”, 2016, nr 5, s. 74
- [13] Badowska, E., Bandzierz, D., & Kaźmierczak, B. (2025). An analysis of the feasibility of using green infrastructure in public buildings on the example of a kindergarten located in central Poland. *Economics and Environment*, 92(1), 861. <https://doi.org/10.34659/eis.2025.92.1.861>
- [14] Sakson G., Jaskułowska J., *Green infrastructure in small towns as an element of sustainable stormwater management*, Space&Form, 34, 2018, Pages 227-246, DOI: 10.21005/pif.2018.34.C-08
- [15] Sakson G., Zyzik, P., *Efektywność systemów wykorzystania wody deszczowej w budynkach handlowo-usługowych*, Instal, 2024, nr 1, 2024, DOI 10.36119/15.2024.1.3
- [16] Słyś D., *Potential of rainwater utilization in residential housing in Poland*, Water and Environment Journal, 23 (2009), Pages 318-325, <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2008.00159.x>
- [17] Zielono – błękitne rozwiązania dla osiedli mieszkaniowych, Warszawa, 2019
- [18] Wawer łapie wodę: Broszura informacyjna dotycząca gospodarowania wodą deszczową, Warszawa, 2019
- [19] Łódź łapie deszczówkę: Przewodnik dla mieszkańców, Łódź, 2020
- [20] Adamowski D. i in., *Katalog zielono – niebieskiej infrastruktury. Część II: Wytyczne i rozwiązania*, Bydgoszcz, 2017
- [21] Lejcuś K. i in., *Katalog dobrych praktyk, cz. II: Zasady zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na obszarze zabudowanym*, Wrocław, 2019
- [22] A. Stec, J. Dziopak, *Woda deszczowa w architekturze krajobrazu nowoczesnych miast*, „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2017, t. XXXIV, z. 64, s. 318
- [23] D. Słyś i in., *Innowacyjne rozwiązania w nowoczesnej infrastrukturze odwodnieniowej*, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 2018, nr 3, s. 33
- [24] D. Słyś, A. Stec, *Wybór systemów zagospodarowania wód opadowych na terenach o różnym przeznaczeniu*, Instal, 2009, nr 3, s. 56
- [25] E. Badowska, D. Bandzierz, *The possibilities of local stormwater management in the context of its quality and quantity*, Proceedings of ECOpole, 2014, vol. 8, nr 1, s. 16
- [26] Rossman L. A., *Storm Water Management Model: User's Manual Version 5.1*, US EPA, 2015, s. 12
- [27] Nowakowska M., Kotowski A., *Metodyka i zasady modelowania odwodnień terenów zurbanizowanych*, Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2017, s. 23



Zapraszamy na naszą stronę www.informacijainstal.com.pl