

# Zagospodarowanie wód opadowych w koncepcji Smart City – studium przypadku z wykorzystaniem narzędzi komputerowych

Rainwater management in the Smart City concept – a case study using computer tools

ADAM TROCKI, RAFAŁ BRODZIAK, KAROLINA MAZURKIEWICZ

DOI: 10.17512/INSTAL.2026.03.03

Wzrost natężeń opadów będący efektem zmian klimatycznych prowadzi m.in. do zagrożeń powodziowych w miastach, co skutkuje potrzebą opracowania nowych metod zarządzania systemami zagospodarowania wód opadowych. Celem pracy było stworzenie metodyki wykorzystania narzędzi komputerowych w ocenie i usprawnianiu funkcjonowania kanalizacji deszczowej w kontekście koncepcji Smart City. W studium przypadku dla wybranego obszaru miejskiego przeprowadzono analizę istniejącej sieci kanalizacyjnej z wykorzystaniem systemów GIS oraz modeli hydrodynamicznych, które pozwoliły na identyfikację krytycznych miejsc i ocenę funkcjonowania sieci podczas różnych scenariuszy opadowych. Na tej podstawie zaproponowano działania retencyjne, obejmujące m.in. zbiorniki retencyjne, urządzenia podczyszczające oraz system monitoringu i sterowania. Opracowana metodyka umożliwia planowanie inwestycji i modernizacji infrastruktury w sposób wspierający zrównoważony rozwój miasta, ograniczający ryzyko lokalnych podtopień oraz podnoszący odporność systemu na ekstremalne warunki pogodowe. Wyniki wskazują, że integracja narzędzi komputerowych z inteligentnym zarządzaniem siecią kanalizacyjną jest efektywnym rozwiązaniem w ramach strategii Smart City.

Słowa kluczowe: modelowanie hydrodynamiczne, Smart City, systemy wspomagania decyzji, zarządzanie wodami opadowymi

Climate change and the associated increase in precipitation intensity, causing, among other things, flood risks in cities, point to the need to develop new methods for managing stormwater systems. The aim of the study was to develop a methodology for using computer tools to assess and improve the performance of stormwater drainage systems within the context of the Smart City concept. In a case study of a selected urban area, an analysis of the existing drainage system was carried out using GIS and hydrodynamic models, enabling the identification of critical locations and the assessment of system performance under various rainfall scenarios. On this basis, retention measures were proposed, including retention reservoirs, pre-treatment devices and a monitoring and control system. The developed methodology enables the planning of investments and infrastructure modernisation in a way that supports sustainable urban development, reduces the risk of local flooding and increases the system's resilience to extreme weather conditions. The results indicate that integrating computer tools with intelligent sewerage network management is an effective solution within the Smart City strategy.

Keywords: hydrodynamic modelling, Smart City, decision support systems, stormwater management

## Wstęp

Zagęszczenie zabudowy, rozwój transportu miejskiego oraz postępująca urbanizacja w ostatnich kilkudziesięciu latach spowodowały zwiększenie ryzyka zniszczeń oraz katastrof związanych z opadami. Powodzie błyskawiczne (ang. flash floods) stanowią zjawiska prowadzące do istotnych skutków hydrologicznych, objawiających się lokalnymi zalaniem i podtopieniami wynikającymi

z nagłych, obfitych opadów konwekcyjnych. W Europie Środkowo-Wschodniej występują one zazwyczaj w okresie letnim [1]. Pojęcie to funkcjonuje od ostatniej dekady ubiegłego wieku, jednak systemy przewidywania i monitorowania tych zjawisk nie są jeszcze w pełni rozwinięte, tak jak ma to miejsce w przypadku wichur czy tornad [2]. Dobrą praktyką ograniczającą katastrofalne skutki gwałtownych opadów jest stopniowe zwiększanie udziału powierzchni przepuszczalnych w mia-

stach, czyli tworzenie miasta gąbki (ang. sponge city), co umożliwia szybszą infiltrację wód opadowych do gruntu. W przypadku szczelnych powierzchni zabudowanych, którymi pokryta jest większość terenów polskich miast, ważne jest właściwe zebranie wód opadowych oraz skierowanie ich do odbiorników. Umożliwia to istniejąca i projektowana sieć kanalizacji deszczowej, składająca się z kanałów oraz systemów retencyjnych, z których woda opadowa może być dalej odprowa-

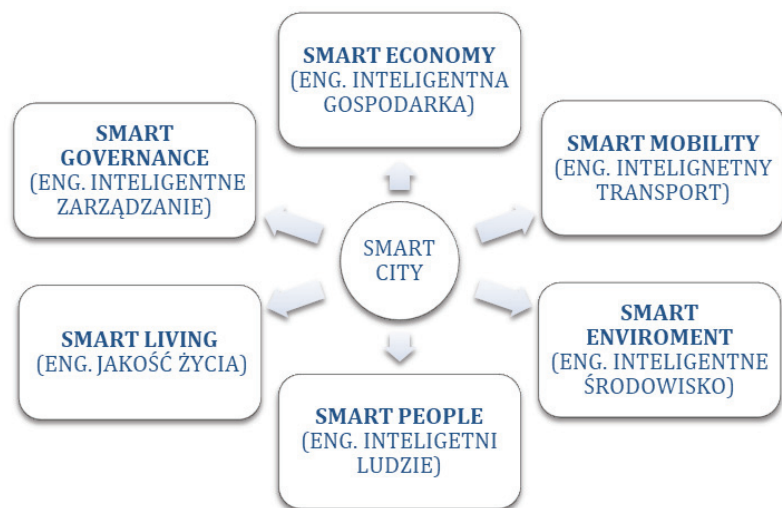
mgr inż. Adam Trocki; dr. inż. Rafał Brodziak ORCID: 0000-0002-7320-355X; dr. inż. Karolina Mazurkiewicz ORCID: 0000-0001-5521-0230 - Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki; Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, ul. Berdychowo 4, 61-131 Poznań; Autor korespondencyjny: e-mail: rafal.brodziak@put.poznan.pl

dzana lub wykorzystywana do innych celów. Stare systemy kanalizacji deszczowej nie są dostosowane do obecnie występujących natężeń odpływu w kanałach z uwagi na wzrost stopnia urbanizacji oraz zwiększoną częstość występowania opadów o dużym natężeniu. Narzędziem wspomagającym ocenę pracy kanalizacji deszczowej są modele hydrodynamiczne [3]. Rozwiązania te pozwalają na analizę istniejącego lub projektowanego systemu kanalizacji deszczowej w różnych warunkach opadowych, w tym w sytuacjach krytycznych. Umożliwia to wykrycie miejsc, w których konieczna jest modernizacja. Rozwój miast zgodnie z ideą Smart City umożliwia kontrolowanie przepływów, napełnień, przeciążeń oraz zrzutów w sieci kanalizacyjnej w czasie rzeczywistym. Dla prawidłowego funkcjonowania przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych niezbędne jest stosowanie efektywnych systemów sterowania i nadzoru nad obiektami infrastruktury technicznej. Kluczową rolę w tym procesie odgrywa analiza danych pozyskiwanych z urządzeń pomiarowych, takich jak czujniki poziomu wody deszczowej, czujniki przepływu czy deszczomierze, przy czym istotne znaczenie ma nie tylko ilość gromadzonych informacji, lecz także ich dostępność, aktualność oraz jakość. Wykorzystanie nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT) stwarza możliwość skutecznej realizacji wyzwań związanych z dostarczaniem wody oraz odprowadzaniem wód opadowych w dynamicznie rozwijających się obszarach miejskich [4]. Szczególnie znaczenie mają w tym kontekście systemy wspomagania decyzji, które umożliwiają integrację danych pomiarowych, modeli hydrodynamicznych oraz narzędzi analitycznych z istniejącymi systemami zarządzania infrastrukturą. Zastosowanie takich rozwiązań pozwala na podejmowanie racjonalnych decyzji eksploatacyjnych oraz projektowych, zwiększając niezawodność systemów odwodnieniowych, ich odporność oraz wspierając zrównoważony rozwój miasta.

### Idea Smart City w systemach kanalizacji deszczowej

Koncepcja Smart City (inteligentne miasto) / Smart Cities (inteligentne miasta) nie ma jednej spójnej definicji ze względu na różnorodność zjawisk oraz obszarów nauki i życia społecznego, które obejmuje. Idea ta powstała na przełomie drugiej i trzeciej dekady XXI wieku jako odpowiedź na wzrastającą urbanizację oraz potrzeby mieszkańców miast. W literaturze [5] można spotkać również inne określenia, takie jak: intelligent cities (inteligentne

miasta), creative cities (kreatywne miasta), eco-cities (ekologiczne miasta), digital cities (cyfrowe miasta) lub knowledge-based cities (miasta oparte na wiedzy). Wszystkie wymienione wyżej terminy wskazują na zwiększenie funkcjonalności obszarów miejskich oraz zmniejszenie zużycia surowców i zasobów naturalnych, jednak pojęcia te nie są tożsame i akcentują różne obszary. Miasta rozwijane zgodnie z ideą Smart City opierają się na modelu SMART, którego akronim odnosi się do pięciu filarów: Strategy, Multidisciplinarity, Appropriation, Roadmap oraz Technology (strategia, multidyscyplinarność, przystosowanie, plan działań, technologia) [5]. W związku z tym koncepcja ma charakter interdyscyplinarny, a ponadto, jak podaje literatura, można ją opisać w sześciu głównych obszarach (rys. 1) [6].



Rys. 1. Model koncepcji Smart City jako system wzajemnie powiązanych obszarów funkcjonalnych  
Fig. 1. Conceptual model of a Smart City as a system of interconnected functional areas

W kontekście zagospodarowania wód opadowych każdy z tych obszarów pełni istotną funkcję w zrównoważonym zarządzaniu infrastrukturą [7-13]:

- Smart Environment (inteligentne środowisko) stanowi kluczowy obszar z punktu widzenia omawianej tematyki. Obejmuje on działania ukierunkowane na ochronę zasobów naturalnych, adaptację do zmian klimatu oraz ograniczanie negatywnych skutków zjawisk ekstremalnych, takich jak intensywne opady czy powódzie błyskawiczne. Do tego obszaru należą rozwiązania związane z retencją wód opadowych, zwiększaniem powierzchni biologicznie czynnych, zielono-niebieską infrastrukturą oraz optymalnym funkcjonowaniem kanalizacji deszczowej, wspieranym przez modele hydrodynamiczne i systemy monitoringu.
- Smart Governance (inteligentne zarządzanie/rządzenie) odnosi się

do sposobu podejmowania decyzji w oparciu o dane, często pozyskiwane i przetwarzane z wykorzystaniem najnowszych technologii informacyjno-komunikacyjnych. W kontekście zagospodarowania opadów w mieście może to oznaczać integrację danych opadowych, pomiarów sieci kanalizacyjnej oraz wyników symulacji komputerowych w ramach systemów wspomagania decyzji. Analogiczne podejście jest stosowane w przypadku kanalizacji sanitarnej, gdzie poprzez zastosowanie czujników pomiarowych i systemów monitoringu poboru wody możliwe jest pośrednie wnioskowanie o zmienności zrzutów ścieków, co ma znaczenie zarówno w eksploatacji, jak i w projektowaniu oraz modelowaniu systemów kanalizacyjnych.

- Smart Economy (inteligentna gospodarka) wiąże się z efektywnym wykorzystaniem środków finansowych, zdolnością do adaptacji oraz wdrażaniem innowacyjnych technologii w tym celu. Zastosowanie narzędzi komputerowych do analizy i symulacji pracy systemów kanalizacji deszczowej pozwala ograniczyć koszty eksploatacji i inwestycji poprzez lepsze dopasowanie rozwiązań technicznych do rzeczywistych warunków hydrologicznych i urbanistycznych.
- Smart Mobility (inteligentny transport), związany z systemami komunikacyjnymi, pozostaje w ścisłej zależności z gospodarką wodami opadowymi. Niewydolne systemy odwodnienia mogą prowadzić do lokalnych podtopień dróg, torowisk czy węzłów komunikacyjnych, powodując zakłócenia w ruchu. Inteligentne zarządzanie wodami opadowymi zwiększa odporność infrastruktury transportowej i ogranicza ryzyko takich zdarzeń.

- Smart Living (inteligentne życie/mieszkanie - jakość życia) odnosi się do komfortu, jakości i bezpieczeństwa życia mieszkańców. Skuteczne systemy zagospodarowania wód opadowych ograniczają ryzyko podtopień posesji, poprawiają estetykę przestrzeni publicznej oraz wspierają tworzenie przyjaznych warunków życia w mieście.
- Smart People (inteligentni/mądrzy ludzie) podkreśla znaczenie świadomości społecznej, kompetencji oraz zaangażowania mieszkańców. Dostęp do informacji, edukacja ekologiczna oraz partycypacja społeczna sprzyjają wdrażaniu rozwiązań związanych z retencją i racjonalnym gospodarowaniem wodami opadowymi.

### Przykłady zastosowania rozwiązań Smart City w Polsce

Polskie miasta, ze względu na wzrost urbanizacji oraz zabudowywanie centrów, borykają się z okresowymi podtopieniami w czasie intensywnych, krótkotrwałych opadów. Kolejnym problemem jest również stosowanie tradycyjnych systemów odwodnienia, niewystarczających wobec nowych wyzwań klimatycznych i przestrzennych.

Przykład realizacji idei Smart City można odnaleźć w konurbacji górnośląskiej obejmującej miasto Gliwice, będące jednym z dwudziestu największych miast Polski. W 2022 roku władze miasta zawarły umowę na realizację systemu monitoringu i zarządzania wodami opadowymi, którego celem było zwiększenie bezpieczeństwa przeciwpowodziowego oraz poprawa efektywności gospodarowania deszczówką [14].

Kolejnym z polskich miast, którego władze, zgodnie z ideą Smart City, podjęły działania w kontekście zarządzania wodami opadowymi, jest Poznań. Wzrastające wyzwania związane z zagospodarowaniem wód opadowych doprowadziły tam do opracowania standardów retencji i działań ukierunkowanych na wdrażanie błękitno-zielonej infrastruktury [15-17].

### Przykłady zastosowania rozwiązań Smart City na świecie

W australijskim regionie Illawarra (Nowa Południowa Walia) zagospodarowanie wód opadowych odbywa się przy wykorzystaniu kanalizacji deszczowej i koryt otwartych. W wyniku nagłych, nadmiernych opadów część obszarów miejskich jest narażona na lokalne podtopienia, co stało się impulsem do wdrażania narzędzi wspomagających zarządzanie ryzykiem [18].

Europejskim prekursorem w zarządzaniu gospodarką wodno-ściekową oraz wodami opadowymi jest Kopenhaga. Oprócz bieżącego monitoringu opadów i przepływów oraz kontrolowanego zrzutu wód opadowych władze miasta wdrażają szereg działań zwiększających retencję i odporność infrastruktury [19-20].

- przebudowa systemu kanalizacyjnego - zwiększenie średnic oraz udrożnienie tak zwanych „wąskich gardeł”, w których następuje zwiększone natężenie przepływu;
- budowa obszarów retencyjnych - połączenie funkcji krajobrazowej z retencyjną dla zbiorników znajdujących się w parkach, skwerach oraz placach miejskich;
- wprowadzenie dróg retencyjnych - zagłębienie pasa pomiędzy jezdniami i obsadzenie go roślinnością hydrofitową w celu szybkiego odprowadzenia wód opadowych z drogi oraz ich infiltracji do gruntu;
- obniżenie wyżej położonych punktów w celu uchronienia obszarów wrażliwych na spływ wód powierzchniowych;
- stosowanie niecek, rowów oraz innych lokalnych obiektów błękitno-zielonej infrastruktury.

Rozwiązania te pozwalają ograniczyć spływ powierzchniowy oraz są elementem upiększającym krajobraz miejski.

### Metodyka pracy

Badanie zostało przeprowadzone jako kilkuetapowy proces analityczno-projektowy, który łączył dane przestrzenne, analizę hydrologiczną oraz modelowanie hydrodynamiczne (rys. 2).

Pierwszym krokiem było zebranie i uporządkowanie informacji opisujących obszar badań. Wykorzystano miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego oraz dane z Krajowej Integracji Uzbrojenia Terenu, które stanowiły podstawę do dalszych analiz przestrzennych i hydrologicznych.

$$V_{obl} = \left\{ 0,06 \cdot [q(t_d, C_z) \cdot \sum_{i=1}^n (F_{zr})_i - Q_o] \cdot t_d \right\} [m^3] \quad (1)$$

gdzie:  
 $V_{obl}$  - obliczeniowa objętość zbiornika retencyjnego [ $m^3$ ],  
 $q$  - natężenie opadu miarodajnego (przyjęto dla prawdopodobieństwa przewyższenia deszczu  $p = 10\%$ ;  $c = 10$  lat) [ $dm^3/(s \cdot ha)$ ],  
 $F_{zr}$  - powierzchnia zredukowana [ $ha$ ],  
 $Q_o$  - odpływ dławiony wód opadowych ze zbiornika (przyjęto 10) [ $dm^3/s$ ],  
 $t_d$  - czas trwania opadu (przyjęto zakres od 5 do 4320) [ $min$ ].

### Narzędzia komputerowe

W trakcie prac korzystano z wybranych narzędzi komputerowych tj.:

- QGIS - narzędzie do pracy na danych przestrzennych, inwentaryzacji sieci oraz zlewni, analiz powierzchniowych, wstępnej obróbki danych przed ich wprowadzeniem do programów SCALGO LIVE i MIKE+, a także przygotowania wizualizacji wyników.
- SCALGO LIVE - program do analizy spływu powierzchniowego. Przy wykorzystaniu zaimplementowanego Numerycznego Modelu Terenu scharakteryzowano miejsca akumulacji wód opadowych oraz utworzono mikrozlewnie dla poszczególnych wpustów ulicznych.

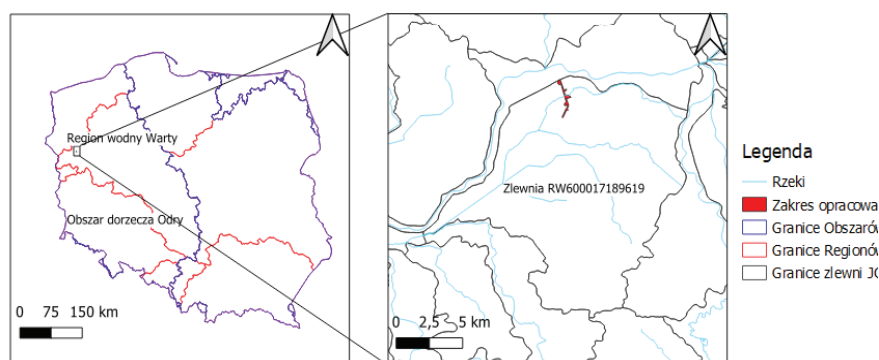


Rys. 2. Schemat przedstawiający metodykę pracy - główne etapy i czynności procesu analityczno-projektowego  
 Fig. 2. Diagram illustrating the methodology – main stages and activities of the analytical and design process

- MIKE+ (DHI, silnik SWMM5) - zaawansowany system do modelowania hydrodynamicznego. Z jego wykorzystaniem utworzono model hydrodynamiczny sieci kanalizacji deszczowej dla poszczególnych zakresów omawianego obszaru oraz przeprowadzono symulacje opadowe.
- Excel - program wykorzystywany do obliczeń pomocniczych, zestawień parametrów, konwersji danych oraz przygotowania tabel wejściowych i wyjściowych dla modeli. W programie Excel utworzono również rozkłady opadów projektowych.

### Zakres opracowania, położenie geograficzne i hydrograficzne

Gorzów Wielkopolski, w którego granicach mieści się opracowywany obszar, znajduje się w północno-zachodniej części Polski. Teren objęty zakresem opracowania obejmuje rejon ulic Koniawskiej, Wiatracznej, Sulęcińskiej, Bledzewskiej, Cysterskiej, Marcina Kasprzaka i Paradyskiej.



Rys. 3. Położenie hydrograficzne omawianego terenu  
Fig. 3. Hydrographic location of the area in question

Zakres opracowania obejmuje następujące strefy:

- drogi główne (KDG, KU),
- drogi lokalne (KDL),
- zabudowę usługową (UC, U),
- zabudowę wielorodzinną oraz usługową (MW/U),
- tereny ogrodów działkowych (ZD).

Na podstawie oznaczonych stref oraz granic działek wyznaczono zakres niniejszego opracowania, obrysowując go na nowej warstwie poligonowej w QGIS (rys. 4). Kolorem czerwonym oznaczono zlewnie drogowe, natomiast niebieskim obszary spływu przyłączy kanalizacji deszczowej.

### Analiza istniejących rozwiązań oraz propozycja koncepcji zmian zagospodarowania wód opadowych

#### Wyznaczenie zlewni wód opadowych

W celu analizy stanu obecnego w zakresie systemu kanalizacji deszczowej odtworzono jego stan rzeczywisty na podstawie danych z Geoportalu Krajowego oraz informacji uzyskanych z Wydziału Dróg UM Gorzowa Wielkopolskiego. Uzupełnieniem były wizja lokalna, dokumentacja fotograficzna oraz analiza zdjęć satelitarnych i widoków Street View, co pozwoliło odtworzyć przebieg rurociągów i lokalizację elementów sieci. Dostępne dane umożliwiły określenie spadków kanałów i rzędnych posadowienia niwelet. W trakcie wstępnej inwentaryzacji określono obszary, z których wody opadowe odprowadzane są przez wpusty drogowe do kanalizacji deszczowej, wyznaczając cztery główne zlewnie cząstkowe obejmujące odcinki ulic Sulęcińskiej, Koniawskiej, Paradyskiej, Bledzewskiej, Cysterskiej oraz

okoliczne rejony. Wody deszczowe z pozostałych ulic kierowane są do rowów melioracyjno-infiltracyjnych prowadzących do Kanału Roszkowickiego i Siedlickiego. Podział zlewni przedstawiono w QGIS na rys. 5. Wyznaczone w ten sposób obszary stanowią przedmiot analiz w dalszej części pracy.

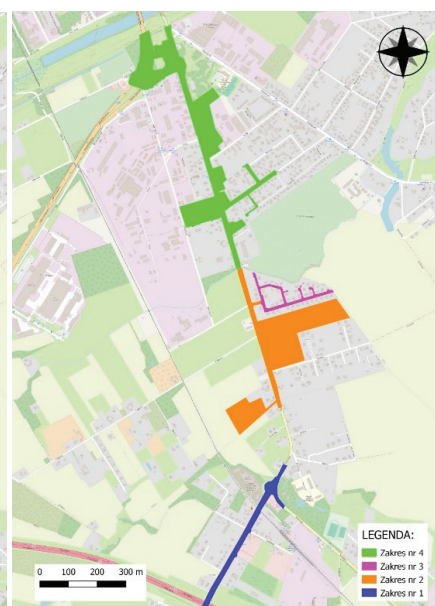
Szczegółową inwentaryzację sieci wykonano w programie QGIS przy wykorzystaniu warstw WMS:

- KIUT - Krajowa Integracja Uzbrojenia Terenu [23] - informacje dotyczące sieci kanalizacyjnej;
- OSM - Open Street Map - podkład mapowy ułatwiający znalezienie lokalizacji udostępniany przez twórców programu.

Na analizowanym terenie zinwentaryzowano sześć wylotów kanalizacji deszczowej do cieków wodnych. Głównym odbiornikiem analizowanej zlewni jest Kanał Siedlicki. Dopływają do niego wody opadowe z zakresu nr 2, zakresu nr 3 oraz zakresu nr 4. Do określenia mikrozewni dla wpustów drogowych wykorzystano program SCALGO LIVE. Pierwszym krokiem w analizie było wprowadzenie buforu równego 2 m od każdego zinwentaryzowanego wpustu oraz 5 m od granic obrisy buforu w programie QGIS (narzędzie Buffer). Następnie wprowadzono do programu SCALGO LIVE jako obszar roboczy obrisy dróg z buforem. W kolejnym kroku wprowadzono obniżenie terenu w obszarze buforu wpustów w celu uniknięcia błędów związanych z nieprawidłowym montażem wpustów. Następnie zaimplementowano warstwę punktową z wpustami jako wpusty kanalizacyjne. Wynikową warstwę zlewni pobrano



Rys. 4. Przybliżony zakres opracowania  
Fig. 4. Approximate area of the study



Rys. 5. Zakresy zlewni sieci kanalizacji deszczowej na analizowanym obszarze  
Fig. 5. The catchment area of the storm sewer system in the analyzed area

i wprowadzono do programu QGIS, a następnie po analizie usunięto zlewnie, z których wody opadowe nie spływały do żadnego z wpustów, oraz zlewnie odwadniające tereny zielone. Do określenia obszarów zlewni przyjęto opad 16 mm, obliczony zgodnie z metodyką IMGW (dla czasu trwania deszczu  $t = 15$  min oraz częstości przewyższenia  $c = 10$  lat) [24-26]. Cały obszar został podzielony na 152 mikrozwlewnie cząstkowe we wszystkich czterech zakresach.



Rys. 6. Mikrozwlewnie przypisane do poszczególnych wpustów ulicznych dla zakresu nr 1  
Fig. 6. Micro-catchments assigned to individual street inlets for range no. 1

Przykładową wizualizację zidentyfikowanych mikrozwlewni dla zakresu nr 1 przedstawiono za pomocą SCALGO i QGIS na rys. 6.

W celu dalszej analizy spływu wód powierzchniowych zakres oznaczonych stref oraz granic działek z pkt 3.2 poszerzono o bufor równy 5 m. W programie SCALGO LIVE wprowadzono odpowiadającą temu warstwę jako obszar roboczy, a następnie przyjęto wartości opadu:

- 16 mm - dla  $c = 10$  lat oraz  $t = 15$  minut - opad przyjmowany do wymiarowania sieci kanalizacji deszczowej [24];
- 145 mm - rekordowy opad dla Gorzowa z 8 września 2022 roku [27].

Większość obszarów, na których akumulowała się woda opadowa, znajdowała się na terenach zielonych oraz na obszarach posiadających przyłącza kanalizacji



Rys. 7. Miejsca akumulacji wód opadowych  
Fig. 7. Rainwater accumulation sites areas

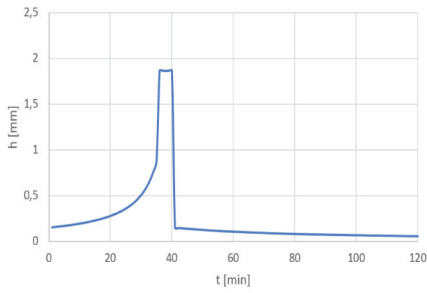
deszczowej. Wyniki z SCALGO LIVE na podkładzie z ortofotomapy w QGIS przedstawiono na rys. 7. Zidentyfikowano duże ryzyko gromadzenia się wód opadowych przy skrzyżowaniach ulic Marcina Kasprzaka z Koniawską oraz Paradyskiej z Koniawską (oznaczone zieloną elipsą).

#### Modelowanie i symulacja działania sieci kanalizacji deszczowej

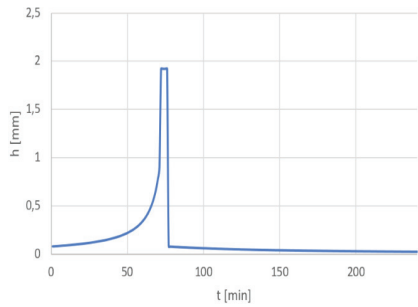
W celu przeprowadzenia symulacji komputerowej wykonano model w programie MIKE+, importując warstwę punktową z węzłami z programu QGIS. Odzworowano kanały w zakresie średnic od 150 mm do 800 mm o łącznej długości ok. 6,7 km. Do obliczeń przyjęto dane IMGW PMASTP dla Gorzowa Wielkopolskiego ze względu na ich otwartą dostępność oraz zastosowanie rozkładu obowiązującego dla całej Polski. Przyjęto prawdopodobieństwo przewyższenia opa-

du o 10% (odpowiadające częstości przewyższenia  $c = 10$  lat). Analizie poddano czas trwania opadu wynoszący 120 min oraz 240 min, dla których odnotowano maksymalny odpływ ze zlewni. Całkowity czas trwania symulacji wyniósł odpowiednio 150 min i 300 min, aż do momentu ustania przepływu wód deszczowych w kanałach. Rozkład Eulera typu II dla opadu o wysokości całkowitej 27,48 mm (120 min) przedstawiono na rys. 8, a o wysokości całkowitej 33,16 mm (240 min) na rys. 9 [25-26, 28].

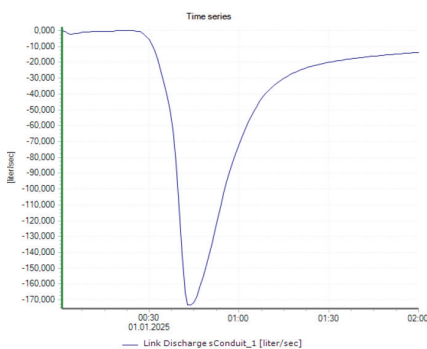
Dla dwóch czasów trwania deszczu przeprowadzono skróconą analizę polegającą na zbadaniu przepływu na wylotowym odcinku z zakresu pierwszego. Na odcinku kanalizacji deszczowej o średnicy 400 mm maksymalne natężenie opadu (rozkład Eulera typu II) występuje około 1/3 czasu trwania deszczu. Pod koniec symulacji wartość przepływu zbliża się do zera. W przypadku opadu czterogodzinnego dopływ zaczyna się równoważyć z odpływem. Z tego powodu przyjęto go do kolejnych obliczeń. Wykres przepływu uzyskany w programie MIKE+ dla analizowanego odcinka dla czasu trwania



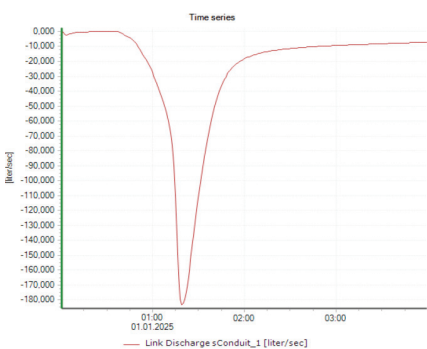
Rys. 8. Rozkład Euler typu II dla opadu 120-minutowego wykorzystanego do obliczeń w modelu Fig. 8. Type II Euler distribution for 120-minute rainfall used for calculations in the model



Rys. 9. Rozkład Euler typu II dla opadu 240-minutowego wykorzystanego do obliczeń w modelu Fig. 9. Type II Euler distribution for 240-minute rainfall used for calculations in the model



Rys. 10. Wykres przepływu dla opadu 120-minutowego na odcinku wylotowym z zakresu 1 Fig. 10. Flow chart for 120-minute rainfall on the outlet section of range 1



Rys. 11. Wykres przepływu dla opadu 240-minutowego na odcinku wylotowym z zakresu 1 Fig. 11. Flow chart for 240-minute rainfall on the outlet section of range 1

120 min przedstawiono na rys. 10, natomiast dla 240 min na rys. 11.

Po wprowadzeniu danych wejściowych uruchomiono symulację hydrodynamiczną dla analizowanej sieci. Czas trwania symulacji ustalono zgodnie z czasem trwania opadu oraz czasem wygaszenia hydrogramu. Mapę z wartościami natężeń przepływu wód opadowych uzyskanymi podczas symulacji komputerowych w programie MIKE+ dla poszczególnych kanałów przedstawiono w programie QGIS na rys. 12. Podczas analizy zauważono, że w większości węzłów występują nadpiętrzenia. W związku z tym w wielu miejscach sieci kanalizacyjnej występuje przepływ ciśnieniowy. Sieć nie jest w stanie przyjąć wód opadowych dopływających przyłęczami. Jednym ze skutków tej sytuacji mogą być wylania oraz gromadzenie się wody na powierzchni terenu. Utrudnia to przejazd drogami znajdującymi się w zakresie zlewni oraz może prowadzić do zniszczeń sąsiadującej zabudowy. W obliczeniach wykazano, że przeciążonych jest 133 z 315 węzłów. Natomiast w 33 z nich podczas analizowanego opadu woda wylewa się na powierzchnię terenu. Przyczynami tej sytuacji, możliwymi do uwzględnienia w modelu, są:

- zbyt duża liczba podłączonych przykanalików do jednego węzła (studni),
- wpusty odwadniające zbyt dużą powierzchnię zlewni,
- za małe średnice i spadki głównych kanałów oraz przykanalików.
- Sytuacjami losowymi, których nie da się przewidzieć w modelu kanalizacji deszczowej są na przykład:

- zablokowanie kanału ze względu na zanieczyszczenia stałe;
- awarie i zniszczenia fizyczne kanałów.

Na podstawie wykonanych symulacji można zauważyć, że w zakresie nr 2 i nr 3 występują pojedyncze węzły, w których sieć jest przeciążona. W zakresie nr 2 problemy z odbiorem wód opadowych występują głównie na początku sieci, gdzie znajdują się najmniejsze średnice kanałów. Zakres nr 4 jest przeciążony - przepływy w kanałach przekraczają  $337 \text{ dm}^3/\text{s}$ , a odwadniana w nim jest największa powierzchnia terenu w analizowanej zlewni. Natomiast średnice kanałów głównych nie są większe niż w pozostałych zakresach. Na rys. 13 zaznaczono wszystkie węzły, w których występują nadpiętrzenia i wylania (wizualizacja wyników z programu MIKE+ za pomocą QGIS).

Na rys. 14 przedstawiono przykładowy przekrój podłużny kanałów deszczowych odwadniających zakres drugi. Linijką kreskową niebieską oznaczono maksymalny poziom zwierciadła wody, ciągną zieloną poziom terenu oraz jasnobłękitną przekroje kanałów.

### Koncepcja rozwiązań retencyjnych w idei Smart City

Kanalizacja deszczowa odwadniająca zidentyfikowane zlewnie jest obecnie przeciążona i wymaga wdrożenia działań usprawniających jej funkcjonowanie, aby ograniczyć ryzyko wylań oraz poprawić bezpieczeństwo hydrologiczne obszaru. Na terenie objętym opracowaniem, obejmującym łącznie 20,72 ha, nie występują



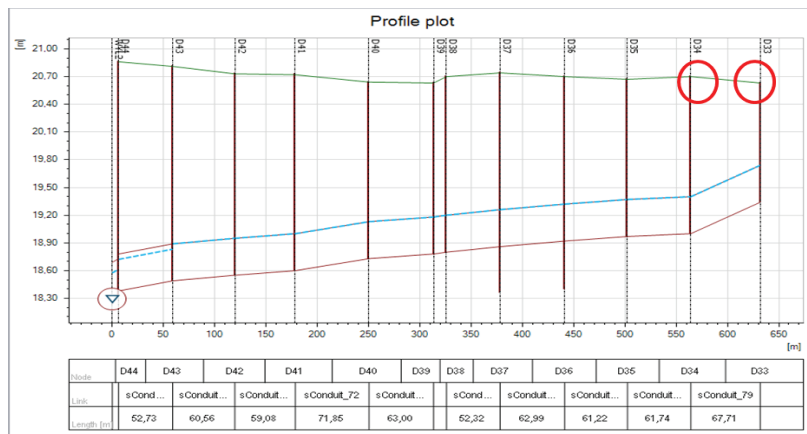
Rys. 12. Mapa przepływów na poszczególnych odcinkach

Fig. 12. Flow map on individual sections



Rys. 13. Mapa węzłów przeciążonych na analizowanym terenie

Fig. 13. Map of overloaded nodes in the analyzed area



Rys. 14. Przekrój podłużny jednego z głównych ciągów kanalizacji deszczowej odwadniającego zakres 2 wykonany w programie MIKE+ (miejsca, w których nastąpiło wylanie zaznaczono czerwoną elipsą)  
 Fig. 14. Longitudinal cross-section of one of the main storm sewer lines draining range 2, developed in the MIKE+ program (the places where the overflow occurred are marked with a red ellipse)

dotychczas żadne rozwiązania retencyjne ani rozwiązania z zakresu Smart City. Największy udział powierzchniowy mają zakresy nr 2 i 4, przy czym w przypadku zakresu nr 2 istotną rolę odgrywa spływ z terenów zielonych i pól uprawnych, co wpływa na zmniejszoną powierzchnię zredukowaną. Najmniejszy udział w całkowitej powierzchni zlewni ma zakres nr 3, obejmujący obszar o stosunkowo dobrej kondycji infrastruktury, w tym sieć odwadniająca osiedle domów jednorodzinnych. Dla każdego z wyodrębnionych zakresów zaproponowano zestaw działań wpisujących się w ideę Smart City, których celem jest poprawa retencji, jakości oraz kontroli wód opadowych. Działania obejmują między innymi budowę zbiorników umożliwiających czasowe magazynowanie spływów wód deszczowych oraz ich wykorzystanie gospodarcze (rys. 15), a także wyposażenie systemu w urządzenia podczyszczające usuwające zawiesiny i substancje ropopochodne. Ponadto przewidziano instalację czujników monitorujących i pompowni oraz infrastruktury przelewowej, umożliwiającej kontrolowane i bezpieczne odprowadzanie nadmiaru wód. Kalibracja modelu, weryfikacja danych inwentaryzacyjnych oraz korekta geometrii powinny zostać wykonane po przeprowadzeniu pomiarów geodezyjnych lub inspekcji kamerą CCTV.

### Koncepcja dla zakresu nr 1

W zakresie nr 1 zgodnie z przeprowadzonymi obliczeniami należy przewidzieć minimum 296,48 m<sup>3</sup> dodatkowej retencji. W tym celu zaproponowano prefabrykowany, modułowy zbiornik betonowy o pojemności czynnej 300 m<sup>3</sup>. Wody magazynowane w zbiorniku przewidziano do wtórnego wykorzystania do nawadniania pobliskiej zieleni. Przed zbiornikiem zaproponowano separator koalescencyjny dobrany zgodnie z wytycznymi

Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej [29], tj. separator o przepływie nominalnym 20 dm<sup>3</sup>/s oraz przepustowości by-passu 200 dm<sup>3</sup>/s. Średnica wewnętrzna komory wynosi 1500 mm. Urządzenie wyposażone jest w czujnik przekroczenia ilości substancji ropopochodnych, który informuje system zarządzania wodami opadowymi o wypełnieniu separatora.

Do podczyszczania wód przed separatorem dobrano osadnik poziomy o średnicy wewnętrznej (Dw) 1500 mm oraz pojemności osadczącej 2 m<sup>3</sup> wraz z czujnikiem przekroczenia ilości osadów, który informuje system zarządzania wodami opadowymi o stopniu wypełnienia osadnika. Zaprojektowano skrzynkę zaworową, do której będą doprowadzane wody opadowe ze zbiornika retencyjnego



Rys. 15. Orientacyjna lokalizacja proponowanych rozwiązań retencyjnych w idei Smart Cities  
 Fig. 15. Approximate location of the proposed retention solutions in the Smart Cities concept in QGIS

za pomocą pomp zainstalowanych w zbiorniku. Tereny zielone podlegające nawodnieniu mają powierzchnię około 3000 m<sup>2</sup>. Na cele podlewania przyjęto intensywność 5 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h. Do doboru pomp przyjęto wydajność 15 000 dm<sup>3</sup>/h. Przy użyciu narzędzia WaterFolder dobrano pompy działające w systemie 1+1 (jedna pompa pracująca + jedna rezerwowa). Całkowita wysokość podnoszenia wynosi 6,3 m, a przepływ obliczeniowy 5,04 dm<sup>3</sup>/s. Urządzenia będą zasilane prądem z sieci energetycznej niskiego napięcia znajdującej się w pobliżu. Wody opadowe do podlewania będą doprowadzane rurociągiem tłocznym o średnicy nominalnej DN50. Zbiornik retencyjny będzie posiadał również przelew awaryjny odprowadzający nadmiar wód deszczowych do pobliskiego rowu. Przelew będzie odbywał się grawitacyjnie i będzie spowalniany przez regulator przepływu ograniczający zrzut do 10 dm<sup>3</sup>/s, dobrany przy użyciu narzędzia WaterFolder. W zakresie nr 1, ze względu na korzystne warunki lokalizacji (m.in. płaski teren, niewielką liczbę zadrzewień oraz budynków), dobrano również deszczomierz, który powinien zostać zsynchronizowany z systemem zarządzania zlewnią. Umożliwi to między innymi dokładne obliczenie opłat za zrzut wód opadowych oraz kalibrację modelu sieci kanalizacji deszczowej.

Deszczomierz zlokalizowano na terenie stacji kolejowej Gorzów Wielkopolski - Zieloniec. Znajduje się on na płaskim terenie, a ponadto nie otaczają go budynki powyżej dwóch kondygnacji [30].



Rys. 16. Koncepcja zagospodarowania terenu dla zakresu pierwszego w QGIS  
 Fig. 16. The land development concept for the first range in QGIS

Dobrano deszczomierz wagowy o pojemności 400 cm<sup>3</sup>, wyposażony w podgrzewacz na wypadek wystąpienia opadów śniegu. Urządzenie będzie zasilane przy wykorzystaniu panelu fotowoltaicznego. Koncepcję zagospodarowania terenu z rozmieszczeniem urządzeń dla zakresu pierwszego zaprezentowano na rys. 16.

### Koncepcja dla zakresu nr 2

W zakresie nr 2 z powodu ograniczonej dostępności powierzchni zaproponowano połączenie dwóch ciągów kanalizacji deszczowej przed wylotem i zebranie wód opadowych do zbiornika o pojemności minimalnej 1928 m<sup>3</sup>. Wody zmagazynowane w zbiorniku wykorzystywane będą do nawadniania okolicznych pól uprawnych. Zaprojektowano zbiornik retencyjny żelbetowy o wymiarach użytkowych 25x20x4 m. Pojemność użytkowa urządzenia będzie wynosić 2000 m<sup>3</sup>. Podobnie jak w zakresie pierwszym, wody w zbiorniku powinny zostać podczyszczone w celu usunięcia zawiesiny ogólnej i substancji ropopochodnych [29]. W tym celu dobrano separator koalescencyjny z by-passem o wydajności 80 dm<sup>3</sup>/s oraz przepustowości by-passu 800 dm<sup>3</sup>/s. Urządzenie wyposażone jest w czujnik przekroczenia ilości substancji ropopochodnych, który informuje system zarządzania wodami opadowymi o wypełnieniu separatora i konieczności jego czyszczenia. Do podczyszczania wód przed separatorem dobrano osadnik poziomy o średnicy wewnętrznej 2500 mm oraz pojemności 8 m<sup>3</sup>. Urządzenie wyposażone jest w czujnik przekroczenia ilości osadów, który informuje system zarządzania wodami opadowymi o wypełnieniu osadnika. Podobnie jak w zakresie nr 1 przelew awaryjny ze zbiornika będzie odbywał się grawitacyjnie przy wykorzystaniu rury o średnicy 200 mm do Kanału Siedlickiego. Ze względu na podobną wysokość piętrzenia dobrano ten sam regulator przepływu, co w zakresie nr 1.

### Koncepcja dla zakresu nr 3

W zakresie nr 3 ze względu na niewielki obszar zlewni cząstkowej oraz brak przecięcia sieci nie zastosowano retencji. W celu kontroli przepływu i stanu wód na Kanale Siedlickim zaproponowano montaż radarowego czujnika poziomu wody montowanego za wylotem z kanalizacji deszczowej. Urządzenie to powinno zostać połączone z systemem zarządzania wodami opadowymi opisanym w poprzednich podpunktach. Jego zastosowanie pozwoli na uzyskanie brakujących informacji o przepływie i stanie wód w Kanale Siedlickim. Czujnik może być w pełni zasilany przez panel fotowoltaiczny, w który jest wyposażony.

Podobnie jak w zakresie nr 1 i nr 2 wody opadowe przed zrzutem powinny

zostać podczyszczone [29]. W tym celu dobrano separator koalescencyjny z by-passem i osadnikiem o wydajności 15 dm<sup>3</sup>/s oraz przepustowości by-passu 150 dm<sup>3</sup>/s. Pojemność osadnika wynosi 1,5 m<sup>3</sup>. Urządzenie wyposażone jest w czujnik pływakowy przekroczenia ilości substancji ropopochodnych, który informuje system zarządzania wodami opadowymi o wypełnieniu separatora i osadnika.

### Koncepcja dla zakresu nr 4

Z zakresu nr 4 odbywa się największy spływ wód opadowych. Jest to również najbardziej zabudowany i narażony na wylania obszar poddany analizie, w związku z tym zaproponowano budowę dodatkowego zbiornika retencyjnego. Obliczeniowa pojemność zbiornika dla tej części wynosi 3670 m<sup>3</sup> - zaprojektowano zbiornik żelbetowy o wymiarach użytkowych 37x25x4 m i pojemności użytkowej urządzenia równej 3700 m<sup>3</sup>.

Wody ze zbiornika będą doprowadzone do punktów czerpalnych na pobliskim Rodzinnym Ogrodzie Działkowym „Metalowiec”. Przewidziano 12 zaworów czerpalnych przy skrzyżowaniach na ścieżkach pomiędzy ogródkami. Zawory należy zlokalizować w miejscach ogólnodostępnych. Na jeden zawór czerpalny przyjęto wydajność 1 dm<sup>3</sup>/s [31]. W związku z tym wydajność pompowni będzie wynosiła 12 dm<sup>3</sup>/s przy założeniu współczynnika jednoczesności równego 1,0. Współczynnik taki przyjęto z założenia, że układ podlewania jest scentralizowany, a samo podlewanie w okresach zwiększonych temperatur odbywa się w określonych porach dnia, np. rano lub wieczorem. Przy użyciu narzędzia WaterFolder dobrano pompownię wód deszczowych pracującą w układzie naprzemiennym 1+1 (jedna pompa pracująca + jedna pompa rezerwowa). Zasilanie pompowni należy przewidzieć z pobliskiej sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia.

Podobnie jak w przypadku poprzednich zakresów wody opadowe zbierane z ulic, parkingów i pozostałych powierzchni utwardzonych należy podczyścić [29]. Wykorzystując narzędzie WaterFolder dobrano separator koalescencyjny o przepustowości nominalnej 130 dm<sup>3</sup>/s oraz maksymalnej 1300 dm<sup>3</sup>/s, wyposażony w by-pass o średnicy 800 mm. Separator wyposażony jest w osadnik o pojemności 14,58 m<sup>3</sup>. Separator wykonany jest w postaci zbiornika o przekroju rurowym o średnicy (D) 2,5 m oraz długości (L) 11,5 m. Urządzenie wyposażone jest w czujnik przekroczenia ilości substancji ropopochodnych, który informuje system zarządzania wodami opadowymi o wypełnieniu separatora i osadnika. Dobrano także pozostałe niezbędne urządzenia: pompy opróżniające zbiornik działające w układzie naprzemiennym 1+1 oraz czujnik poziomu wody w zbiorniku (typ pływakowy).

Zrzut niewykorzystanych wód opadowych odbywać się będzie do Kanału Siedlickiego poprzez przelew awaryjny przy wykorzystaniu nadrzędnego systemu sterowania. Koncepcję rozmieszczenia urządzeń z zakresów nr 2-4 zamieszczono na rys. 17.

### System zarządzania wodami opadowymi - nadrzędny system sterowania i monitorowania

W celu skutecznego zarządzania systemem retencji konieczne jest zaprojektowanie informatycznego systemu zarządzania wodami opadowymi, pełniącego funkcję nadrzędnego systemu sterującego i monitorującego. System ten będzie pełnił funkcję sygnalizacyjną i koordynacyjną wobec elementów infrastruktury odwodieniowej, gromadząc dane pomiarowe umożliwiające podejmowanie decyzji eksploatacyjnych dostosowanych do aktualnej sytuacji. Funkcjonalność systemu powinna obejmować zarówno możliwość



Rys. 17. Koncepcja zagospodarowania zakresów od 2 do 4 w QGIS  
Fig. 17. Development concept for ranges 2 to 4 in QGIS

ręcznej ingerencji operatora, jak i automatyczne inicjowanie zrzutów w sytuacji prognozowanych intensywnych opadów w określonym horyzoncie czasowym, m.in. w celu opróżniania zbiorników retencyjnych. Wymaga to zastosowania inteligentnych algorytmów opartych na danych prognostycznych dotyczących zjawisk atmosferycznych, danych pozyskiwanych z czujników pomiarowych oraz wyników symulacji modelowych. Proces sterowania powinien uwzględniać aktualny stopień wypełnienia zbiorników, ograniczenia hydrauliczne układu odprowadzającego wody opadowe oraz czas niezbędny do bezpiecznego przygotowania obiektów na nadchodzące zdarzenia opadowe. Przy dużych pojemnościach zbiorników retencyjnych rzędu 2000-3700 m<sup>3</sup> oraz niewielkim odpływie dławionym ze zbiornika ( $Q_0 = 10 \text{ l/s}$ ) czasy ich opróżniania wynoszą odpowiednio ok. 2-3 dni. Odczyt danych oraz przekazywanie decyzji systemowi sterującemu wymagają zapewnienia łączności z poszczególnymi elementami układu, co może zostać zrealizowane przewodowo bądź bezprzewodowo, wpisując się w nurt Internetu Rzeczy (Internet of Things - IoT).

## Wnioski

Zastosowanie programów do modelowania infrastruktury, takich jak GIS, SCALGO LIVE, SWMM czy MIKE+, pozwala nie tylko minimalizować błędy projektowe, ale także dokonać oceny funkcjonowania istniejącej sieci kanalizacyjnej i wpływu powierzchniowego. Badania przeprowadzone na modelach hydrodynamicznych dla intensywnych zjawisk opadowych wykazały, że w analizowanym obszarze sieć jest przeciążona, co może prowadzić do lokalnych wylań. W odpowiedzi na zidentyfikowane problemy zaproponowano wdrożenie rozwiązań retencyjnych zgodnych z koncepcją Smart City. W obszarze Smart Environment zastosowanie systemów retencji, zielono-niebieskiej infrastruktury oraz retencyjne wykorzystanie wód opadowych do nawadniania terenów zielonych i ogrodów działkowych zwiększa odporność miasta na ekstremalne opady, chroni zasoby naturalne i generuje oszczędności finansowe poprzez wykorzystanie wody w miejscu jej powstawania. Integracja danych z czujników, deszczomierzy i symulacji hydrodynamicznych umożliwia efektywne podejmowanie decyzji w ramach Smart Governance, wspierając sterowanie zrzutami wody. Wykorzystanie narzędzi komputerowych do modelowania przepływów w kanalizacji przyczynia się do optymalizacji kosztów inwestycji i eksploatacji (Smart Economy), a sprawne odprowadzanie wód opadowych zwiększa odporność infrastruktury transportowej i ogranicza zakłócenia w ruchu (Smart Mobility). Skuteczne syste-

my retencji poprawiają komfort życia i bezpieczeństwo mieszkańców (Smart Living). Jako uzupełnienie przedstawionych rozwiązań proponuje się włączenie społeczności oraz działania z zakresu edukacji ekologicznej promujące wdrażanie indywidualnych systemów retencyjnych (Smart People).

Niniejsza praca wskazuje, że wykorzystanie narzędzi komputerowych umożliwia zrównoważone zarządzanie wodami opadowymi zgodne z ideą inteligentnych miast. W obliczu zmian klimatu i rosnącej częstości występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych efektywne zarządzanie wodami opadowymi staje się jednym z kluczowych wyzwań inżynierii miejskiej. Integracja modelowania hydrodynamicznego, rozwiązań retencyjnych, systemu monitoringu i sterowania oraz inteligentnego zarządzania w ramach koncepcji Smart City zapewnia zwiększenie odporności infrastruktury, ograniczenie ryzyka lokalnych podtopień i powodzi błyskawicznych oraz poprawę funkcjonowania obszarów miejskich.

## Bibliografia

- [1] Borgia, M., Comiti, F., Ruin, I., & Marra, F. (2019). Forensic analysis of flash flood response. *WIREs Water*, 6(2), e1338. <https://doi.org/10.1002/wat2.1338>
- [2] Doswell, C. A., Brooks, H. E., & Maddox, R. A. (1996). Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology. *Weather and Forecasting*, 11(4), 560–581. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1996\)011%3C0560:FFFAIB%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1996)011%3C0560:FFFAIB%3E2.0.CO;2)
- [3] Kaźmierczak, B., Kotowski, A., & Piekarska, K. (Eds.). (2015). *Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska: Praca zbiorowa (Vol. 6)*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- [4] Brodziak, R. (2018). Smart Water – zintegrowane ICT w sterowaniu systemami wodociągowymi. *Instal*, (9).
- [5] Orłowski, A., & Rosińska, P. (2018). Koncepcja smart cities – obszar smart environment. *Studia Komitetu Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN*, (184), 102–117.
- [6] Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Milanović, N., & Meijers, E. (2007). Smart cities: Ranking of European medium-sized cities [Report].
- [7] Almulhim, A. I., & Yigitcanlar, T. (2025). Understanding smart governance of sustainable cities: A review and multidimensional framework. *Smart Cities*, 8(4), 113. <https://doi.org/10.3390/smartcities8040113>
- [8] Przesztralska, K., Wartalska, K., Rosińska, W., Jurasz, J., & Kaźmierczak, B. (2024). Climate resilient cities: A review of blue-green solutions worldwide. *Water Resources Management*, 38(15), 5885–5910. <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03950-5>
- [9] Boguniewicz-Zablocka, J., & Łukasiewicz, E. (2025). Blue-green infrastructure effectiveness for urban stormwater management: A multi-scale residential case study. *Land*, 14(7), 1340. <https://doi.org/10.3390/land14071340>
- [10] Müller-Eie, D., & Kosmidis, I. (2023). Sustainable mobility in smart cities: A document study of mobility initiatives of mid-sized Nordic smart cities. *European Transport Research Review*, 15(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00610-4>
- [11] Szpak, A., Modrzyńska, J., & Piechowiak, J. (2022). Resilience of Polish cities and their rainwater management policies. *Urban Climate*, 44, 101228. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101228>
- [12] Sakson-Sysiak, G., & Zyzik, P. (2024). Efektywność systemów wykorzystania wody deszczowej w budynkach handlowo-usługowych. *Instal*, (11). <https://doi.org/10.36119/15.2024.1.3>
- [13] Dżimińska, P., Starczyk, J., Drzewiecki, S., & Licznar, P. (2022). Wykorzystanie systemu rejestracji danych z dużą częstotliwością do analizy nierównomierności zużycia wody. *Instal*, (1), 24. <https://doi.org/10.36119/15.2022.1.3>
- [14] Retencja.pl. (n.d.). Gliwice inwestują w nowoczesne zarządzanie deszczówką. Retrieved March 8, 2025, from <https://retencja.pl/wiadomosci/gliwice-inwestuja-w-nowoczesne-zarzadzanie-deszczowka/>
- [15] Prezydent Miasta Poznania. (2024, March 20). Standardy retencji dla Miasta Poznania – załącznik do zarządzenia nr 321/2024/P.
- [16] Aquanet Retencja. (2024). Projektowanie, wykonawstwo zagospodarowania wód opadowych i roztopowych za pomocą błękitno-zielonej infrastruktury oraz sieci i przyłączy kanalizacji deszczowej – wymagania ogólne.
- [17] Aquanet Retencja. (n.d.). Układ deszczomierzy. Retrieved March 8, 2025, from <https://www.aquanet-retencja.pl/deszczomierze/>
- [18] Barthélemy, J., et al. (2020). Problem-driven and technology-enabled solutions for safer communities (pp. 1–28).
- [19] Mazur, K. (2022). Zarządzanie wodami deszczowymi w Kopenhadze. *BUILDER*, 302(9), 28–31. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.9535>
- [20] Bohatkiewicz, J., Zalewski, J., Licznar, P., & Gaca, S. (2023). Wytyczne projektowania urządzeń do odwodnienia dróg zamieszkałych i ulic. Część 1: Wymagania podstawowe. Ministerstwo Infrastruktury.
- [21] Wijura, A., Lichtarski, G., & Piechówka, A. (n.d.). *Gorzów Wielkopolski. Państwowy Instytut Geologiczny*.
- [22] Geoportal Krajowy. (n.d.). Geoportal Krajowy. Retrieved March 29, 2025, from <https://mapy.geoportal.gov.pl/wss/ext/KrajowaIntegracjaStudiUmKierunkowZagospodarowaniaPrzestrzennego>
- [23] KIUT. (n.d.). Krajowa Integracja Uzbrojenia Terenu (KIUT). Retrieved March 29, 2025, from <https://integracja.gugik.gov.pl/cgi-bin/KrajowaIntegracjaUzbrojeniaTerenu>
- [24] Kotowski, A., Danciewicz, A., & Kaźmierczak, B. (2010). Modelowanie opadów do wymiarowania kanalizacji (Studia z Zakresu Inżynierii, Nr 68). Polska Akademia Nauk, Instytut Podstawowych Problemów Techniki.
- [25] European Committee for Standardization. (2017). Drain and sewer systems outside buildings—Sewer system management (EN 752:2017).
- [26] IMGW-PIB. (n.d.). Model IMGW PMAXTP. Retrieved March 29, 2025, from <https://klimat.imgw.pl/opady-maksymalne/>
- [27] Soroka, J., & Matczak, P. (2024). Burza superkornikowa z deszczem nawalnym 8 września 2022 roku w rejonie Gorzowa Wielkopolskiego. *Przegląd Geofizyczny*, 69(1–2), 25–46. <https://doi.org/10.32045/PG-2024-045>
- [28] Kaźmierczak, B., & Kotowski, A. (2012). Weryfikacja przepustowości kanalizacji deszczowej w modelowaniu hydrodynamicznym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- [29] Minister Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej. (2019, July 12). Rozporządzenie w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych.
- [30] Thomdahl, S., et al. (2017). Weather radar rainfall data in urban hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(3), 1359–1380. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1359-2017>
- [31] Polski Komitet Normalizacyjny. (1992). PN-92/B01706 Instalacje wodociągowe—Wymagania w projektowaniu.