



Ochrona Morza Bałtyckiego

przed wyciekami
nieoczyszczonych ścieków

Podręcznik Koncepcji NOAH



Niniejszy podręcznik powstał na podstawie doświadczeń zdobytych przy pracy nad projektem NOAH pt.: „Ochrona Morza Bałtyckiego przed wyciekami nieoczyszczonych ścieków podczas powodzi na obszarach miejskich” (2019-2021) w ramach inicjatywy wspólnotowej INTERREG obejmującej region Morza Bałtyckiego.

Więcej informacji dostępnych na stronie: <https://sub.samk.fi/projects/noah/>



ISBN 978-9949-83-777-9 (pdf)

Główni autorzy

Uniwersytet Techniczny w Tallinnie: Ivar Annus, Murel Truu, Nils Kändler,

Uniwersytet Nauk Stosowanych w Satakunta: Hanna Rissanen

Fiński Instytut Zasobów Naturalnych (Luke): Virpi Vorne

Uniwersytet w Halmstad: Sylvia Waara

IGWP: Klara Ramm

Politechnika Gdańska: Rafał Ulańczyk, Katarzyna Kolečka,

Ryski Uniwersytet Techniczny: Gints Dakša

Zdjęcie na okładce autorstwa Andrei z Pexels.com

Współautorzy

Uniwersytet Techniczny w Tallinnie: Anatoli Vassiljev, Katrin Kaur, Janet Roosimägi;

Estońskie Stowarzyszenie Wodociągowe: Marju Vanker;

Rakvere Vesi: Indrek Tamberg; Pori: Michelle Kozlova; Söderhamn: Agneta Svensson.

Przedmowa

Projekt NOAH został stworzony w celu ochrony Morza Bałtyckiego przed wyciekami nieoczyszczonych ścieków podczas powodzi na terenach miejskich. Aby osiągnąć powyższe założenie, NOAH połączył modelowanie hydrauliczne, planowanie przestrzenne, analizę jakości wody oraz kontrolę miejskich systemów kanalizacyjnych w czasie rzeczywistym.

Obszary pilotażowe zostały wybrane na podstawie ich bliskiego położenia względem naturalnego zbiornika wodnego (morza, rzeki, kanału), który jest bezpośrednio połączony z Morzem Bałtyckim. Na takich obszarach, dodatkowe natężenie przepływu w miejskim systemie kanalizacyjnym stwarza ryzyko wycieku ścieków podczas ekstremalnych zjawisk pogodowych. Wszystkie miasta uczestniczące w projekcie dysponowały miejskimi systemami kanalizacyjnymi, które nie funkcjonowały wystarczająco dobrze podczas niekorzystnej pogody. Celem działań pilotażowych było przetestowanie i wdrożenie zestawu rozwiązań, które, jako Koncepcja NOAH, można by łatwo dostosować do każdego obszaru miejskiego w regionie Morza Bałtyckiego.

Niniejszy podręcznik zawiera zwięzły zarys złożonych wyzwań powiązanych z ograniczaniem ryzyka powodzi opadowych w środowisku miejskim. Nakreślono w nim tło problemu oraz przedstawiono możliwości jego rozwiązania. Mówiąc dokładniej, podręcznik zawiera ogólny zarys Koncepcji NOAH w zakresie zapobiegania i kontroli powodzi na obszarach miejskich oraz propozycje kroków jakie mogą podjąć lokalne władze samorządowe i przedsiębiorstwa wodociągowe w celu jej realizacji. Do podręcznika dołączono zestaw załączników zawierających raporty z działań projektowych, które dostarczają bardziej szczegółowych informacji na temat tego, w jaki sposób koncepcja została wdrożona oraz jakie wnioski wyciągnięto z tego procesu.

Glosariusz

Powódź rzeczna – występuje wtedy, gdy poziom wody w rzece, jeziorze lub strumieniu podnosi się, wylewając na otaczające je brzegi i sąsiadujące grunty. Nie stanowi bezpośredniego celu NOAH, ale jest brana pod uwagę na obszarach, w których ma wpływ na funkcjonowanie miejskich systemów kanalizacyjnych.

Powódź deszczowa – występuje wtedy, gdy ekstremalne opady deszczu tworzą powódź niezależną od przelewającego się zbiornika wodnego. Powodzie na wodach powierzchniowych mają miejsce wtedy, gdy miejski system kanalizacyjny jest przeciążony, a woda wypływa na ulice i zalewa pobliskie budynki.

Scenariusz klimatyczny – scenariusze zmian klimatu lub scenariusze społeczno-ekonomiczne to projekcje przyszłych emisji gazów cieplarnianych wykorzystywane przez analityków do oceny przyszłej wrażliwości na zmiany klimatu.

Kontrola w czasie rzeczywistym (ang. real-time control, RTC) – możliwość sterowania infrastruktury wodnej w odpowiedzi na bieżące lub prognozowane warunki pogodowe.

Przelewy kanalizacji ogólnospławnej (ang. combined sewer overflows, CSOs) – systemy kanalizacji ogólnospławnej zostały zaprojektowane tak, aby gromadzić spływy deszczowe oraz ścieki bytowe i przemysłowe w tej samej rurze. Jednak w okresach obfitych opadów deszczu lub roztopów śniegu, ilość ścieków w systemie kanalizacji ogólnospławnej może przekroczyć możliwości systemu kanalizacyjnego lub oczyszczalni ścieków. Z tego powodu systemy kanalizacji ogólnospławnej są projektowane tak, aby od czasu do czasu przelewać i odprowadzać nadmiar ścieków bezpośrednio do pobliskich strumieni, rzek lub innych zbiorników wodnych. Takie przelewy kanalizacji ogólnospławnej zawierają nie tylko wody opadowe, ale także nieoczyszczone odpady komunalne i przemysłowe, materiały toksyczne i śmieci.

Krzywe natężenia-czasu trwania-częstotliwości opadów (ang. rainfall intensity-duration-frequency curves, IDF) – są graficznym przedstawieniem prawdopodobieństwa wystąpienia określonego średniego natężenia opadu w danym okresie czasu.

Miejski system kanalizacyjny (ang. urban drainage system, UDS) – jest ogólnie definiowanym systemem zbierania i transportu wód opadowych składającym się z tzw. infrastruktury szarej (rury, węzły, zbiorniki i inne elementy techniczne) oraz zielonej (rozwiązania przyrodnicze).

Warstwa ekstremalnych zdarzeń pogodowych (ang. extreme weather layer, EWL) – środek niestrukturalny (pasywny) w formie systemu wspomagania decyzji w miejskim Systemie Informacji Geograficznej (GIS) opracowany w ramach NOAH, którego celem jest pomoc w ograniczeniu wycieku nieoczyszczonych ścieków podczas powodzi.

Spis treści

Przedmowa.....	3	Zalecenia dotyczące sposobów usprawnienia	
Glosariusz	4	lokalnego zarządzania danymi w celu	
Tło problemu	6	utworzenia systemu wspomagania decyzji	
Wpływ wycieków nieoczyszczonych ścieków		NOAH.....	24
na Morze Bałtyckie	8	Utworzenie bliźniaka cyfrowego dla miejskiego	
Czynniki zwiększające ryzyko powodzi w		systemu kanalizacyjnego.....	25
miastach.....	9	Budowa hydraulicznego odpowiednika	
Rozwiązania zmniejszające ryzyko		UDS	25
powodziowe na obszarach miejskich.....	13	Zlewnie	25
II Koncepcja NOAH	15	Kalibracja	26
Wprowadzenie	15	Koncepcja NOAH w kwestiach wyboru i	
Warstwa ekstremalnych zdarzeń pogodowych		wdrażania scenariuszy klimatycznych	26
(EWL)	15	Wyniki analizy scenariusza	
Narzędzie NOAH	17	klimatycznego	28
Mapowanie istniejącej infrastruktury UDS....	18	Zalecenia	29
Procedura gromadzenia danych	18	Od modelu do środków pasywnych -	
Określenie obszaru objętego narzędziem		znalezienie stałego miejsca dla EWL w	
wspomagania decyzji	20	codziennych praktykach	29
Typowe braki danych w budowie cyfrowych		Od modelu do czynnych działań -	
bliźniaków UDS na podstawie doświadczeń		kiedy czynna kontrola może być przydatna? 31	
zdobytych w projekcie		Czym jest RTC?	31
NOAH.....	21	Potencjalne przykłady zastosowania RTC w	
Niedostateczna wiedza na temat UDS.....	21	UDS	32
Dokumentacja dotycząca UDS nie		Przykłady możliwości zastosowania	34
odzwierciedla zaistniałej sytuacji w		III Integracja koncepcji NOAH.....	36
terenie.....	22	Koszty i korzyści wynikające z wykorzystania	
Brak dostępnych danych dotyczących opadów		koncepcji NOAH	36
deszczu i natężenia przepływu wody przez		Potrzeba zmiany polityki i przepisów.....	37
ujście wód opadowych.....	22	Plan działania do wdrożenia	
Brakujące lub nieadekwatne dane dotyczące		koncepcji NOAH	38
jakości wody	22	Bibliografia	39

Tło problemu

Powodzie podmiejskie powstające w wyniku intensywnych, krótkotrwałych opadów, gdy objętość wód opadowych wykracza poza możliwości systemów kanalizacyjnych, mogą prowadzić do powstania znacznych szkód materialnych w obszarach miejskich. Głównym bezpośrednim następstwem powodzi opadowej jest fizyczne uszkodzenie budynków i innej infrastruktury. Jednak rzeczywisty wpływ jest znacznie większy, ponieważ tego typu powodzie stanowią zagrożenie dla zdrowia i bezpieczeństwa dotkniętych nimi społeczności, utrudniając ponadto świadczenie usług, powodując straty w działalności gospodarczej i zakłócając funkcjonowanie sieci miejskich. Wreszcie, spływy miejskie niosą ze sobą zanieczyszczenia, które trafiając do naturalnych zbiorników wodnych, niszczą ekosystemy

wód naturalnych. Szkodliwe substancje, które zanieczyszczają końcowy odpływ z miejskich systemów kanalizacyjnych, są najpierw gromadzone i odprowadzane do systemu z ulic i powierzchni miejskich. Jeżeli miasta posiadają systemy kanalizacji ogólnospławnej, stopień zanieczyszczenia wzrasta jeszcze bardziej, ponieważ w razie ulewnych deszczy systemy kanalizacji ogólnospławnej wraz z wodą opadową odprowadzają również nieoczyszczone ścieki. Wszystkie te zanieczyszczenia pochodzące z wód deszczowych i przelewów burzowych mogą trafić do Morza Bałtyckiego.

Ryzyko wystąpienia powodzi rzecznych spowodowane wysokim poziomem wód w naturalnych zbiornikach wodnych jest dobrze oszacowane w całej Europie, ponieważ takie są wymogi zgodnie z



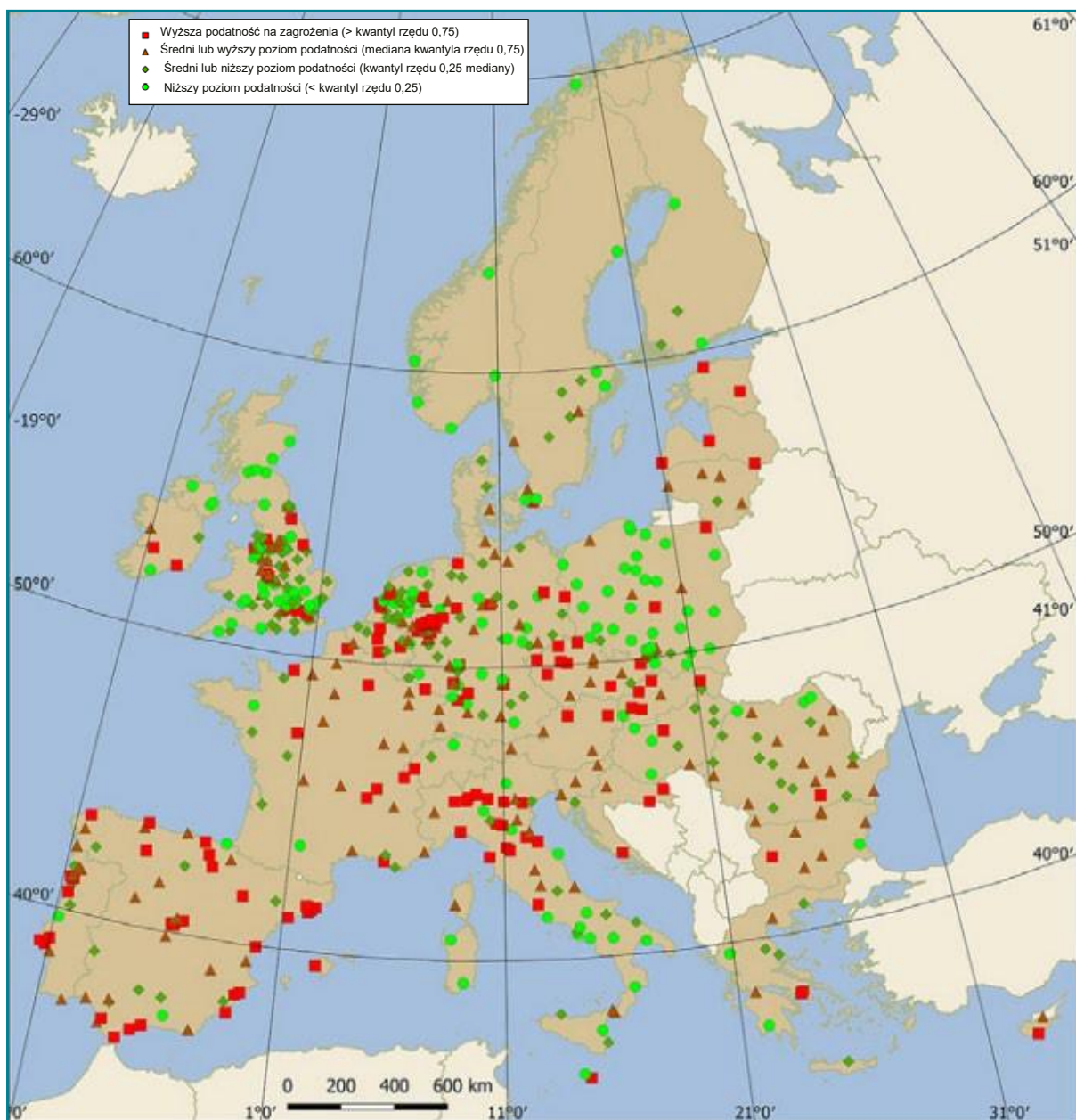
Rysunek 1.

Krótkie oberwanie chmury może wydawać się okazją do zabawy przez krótką chwilę w ciepły letni dzień, ale w rzeczywistości prowadzi do zniszczenia mienia, jak również szkód w środowisku naturalnym.

dyrektywą Komisji Europejskiej 2007/60/WE w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim[1] . System EFAS (Europejski system udostępniania informacji na temat sytuacji powodziowej) w ramach Usługi Zarządzania Kryzysowego Copernicus (CEMS), podobnie jak krajowe bazy danych, zapewnia dostęp do statycznych map ryzyka powodziowego i zagrożenia powodziowego oraz przekazuje informacje do systemów alarmowych [2]. Powodzie rzeczne, choć występują w znacznej części miast europejskich, nie są tak powszechne jak ryzyko powodzi wywołanych obfitymi opadami, które mogą dotknąć każdy

obszar miejski. Jak widać na rysunku 2, zagrożenie powodzią opadową dotyczy miast w całej Europie.

Ze względu na liczne katastrofy, które miały miejsce w ostatnich kilku dekadach, miasta mają obecnie większą świadomość w kwestii zagrożeń powodziowych i rozumiały, że za zaniechanie podjęcia koniecznych kroków płaci się wysoką cenę. Oznacza to, że inwestycje w przeciwpowodziowe systemy odwadniania miast powinny być planowane w sposób rozsądny; dlatego też odpowiednie narzędzia i szkolenia, także dla decydentów, warte są każdej ceny.



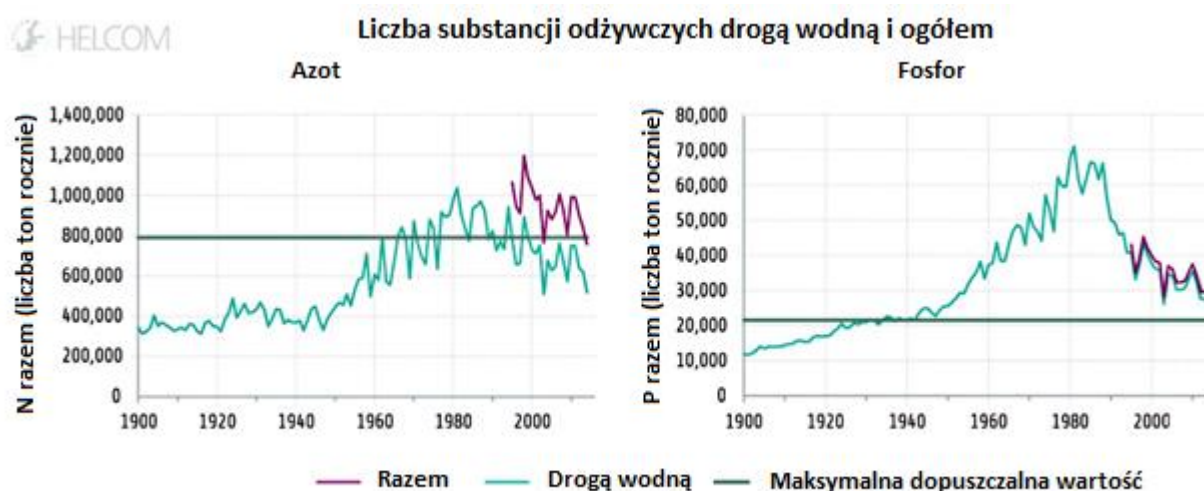
Rysunek 2.

Badania wskaźników podatności na powódzie opadowe przeprowadzone w 571 miastach europejskich pokazują, że większość ocenianych miast znajduje się w przedziale od średniego do wysokiego zagrożenia wystąpienia powodzi opadowych. Wśród nich jest wiele miast w regionie Morza Bałtyckiego [3].

Wpływ rozlewów nieoczyszczonych ścieków na Morze Bałtyckie

Eutrofizacja Morza Bałtyckiego została po raz pierwszy uznana za problem dużej skali na początku lat osiemdziesiątych. W ciągu ostatnich czterech dekad dopływ substancji odżywczych zmniejszył się w większości zlewni cząstkowych Morza Bałtyckiego. Jednak, jak widać na Rysunku 3, obecnie ilość wpływających substancji odżywczych nadal nie odpowiada oczekiwaniom względem stanu ekologicznego w Morzu Bałtyckim.

Morze wybrane w Bałtyckim Planie Działań [4],[5]. Znaczna część sekcji antropogenicznej pochodzi ze źródeł rozproszonych. Pod względem punktów źródłowych dominują oczyszczalnie ścieków komunalnych, które odpowiadają odpowiednio za 12% i 24% ładunków azotu i fosforu w rzekach [6].



Rysunek 3. Tymczasowe zmiany w łącznej liczbie substancji odżywczych wpływających do Morza Bałtyckiego drogą wodną i innymi sposobami między rokiem 1900 a 2014 wraz z wykazem wartości azotu po lewej stronie, oraz fosforu po prawej [6].



Rysunek 4. Typowy układ systemu kanalizacji ogólnospławnej zaczerpnięty z [7].

W regionie Morza Bałtyckiego nieoczyszczone ścieki mogą trafiać do naturalnych zbiorników wodnych w wyniku aktywacji przelewów kanalizacyjnych.

Systemy kanalizacji ogólnospławnej przeznaczone są do transportu ścieków bytowych, ścieków przemysłowych oraz spływów miejskich w tych samych rurach. W normalnych warunkach systemy kanalizacji ogólnospławnej przenoszą wszystkie swoje ścieki do oczyszczalni ścieków (WWTP), gdzie są one oczyszczane w celu osiągnięcia pewnych uzgodnionych norm jakościowych przed ich odprowadzeniem do naturalnych zbiorników wodnych. W okresach, w których występują ekstremalne ulewę, ilość ścieków w systemie kanalizacji ogólnospławnej może jednak przekroczyć możliwości systemu kanalizacyjnego

lub oczyszczalni ścieków. Z tego powodu systemy kanalizacji ogólnospławnej projektuje się w taki sposób, że od czasu do czasu dochodzi do ich przepełnienia i nadmiar ścieków jest odprowadzany bez oczyszczenia. Takie przelewy kanalizacji ogólnospławnej, zwane przelewami kanalizacji ogólnospławnej (CSO), zawierają nie tylko wodę opadową, ale także nieoczyszczone odpady komunalne i przemysłowe, materiały toksyczne i śmieci - każde z nich zanieczyszcza środowisko morskie.

Większy odpływ nie tylko zwiększa zagrożenie powodziowe, ale prowadzi także do zmniejszenia wydajności oczyszczalni ścieków. Zatem nawet w przypadkach, gdy zwiększony odpływ nie trafia do naturalnych zbiorników wodnych przez CSO, obniżona wydajność oczyszczalni ścieków nadal przyczynia się do zwiększenia ilości zanieczyszczonych odpływów.

Czynniki zwiększające ryzyko powodziowe w miastach

Według World Urbanization Prospects szacuje się, że do 2050 roku 66% populacji świata zamieszkiwać będzie w obszarach miejskich [8]. Wzrost liczby ludności miejskiej prowadzi do powiększania miast, a także większego zagęszczenia istniejących obszarów miejskich. Ze względu na rozrastanie się obszarów miejskich oraz większe zagęszczenie zabudowy i mniejszą przepuszczalność w tych obszarach, powódzie w miastach mogą nieść ze sobą dużo bardziej niszczycielskie skutki. Można uznać, iż następujące czynniki mają największy wpływ na zagrożenie powodziowe w miastach wywołane przez ekstremalne zjawiska pogodowe.

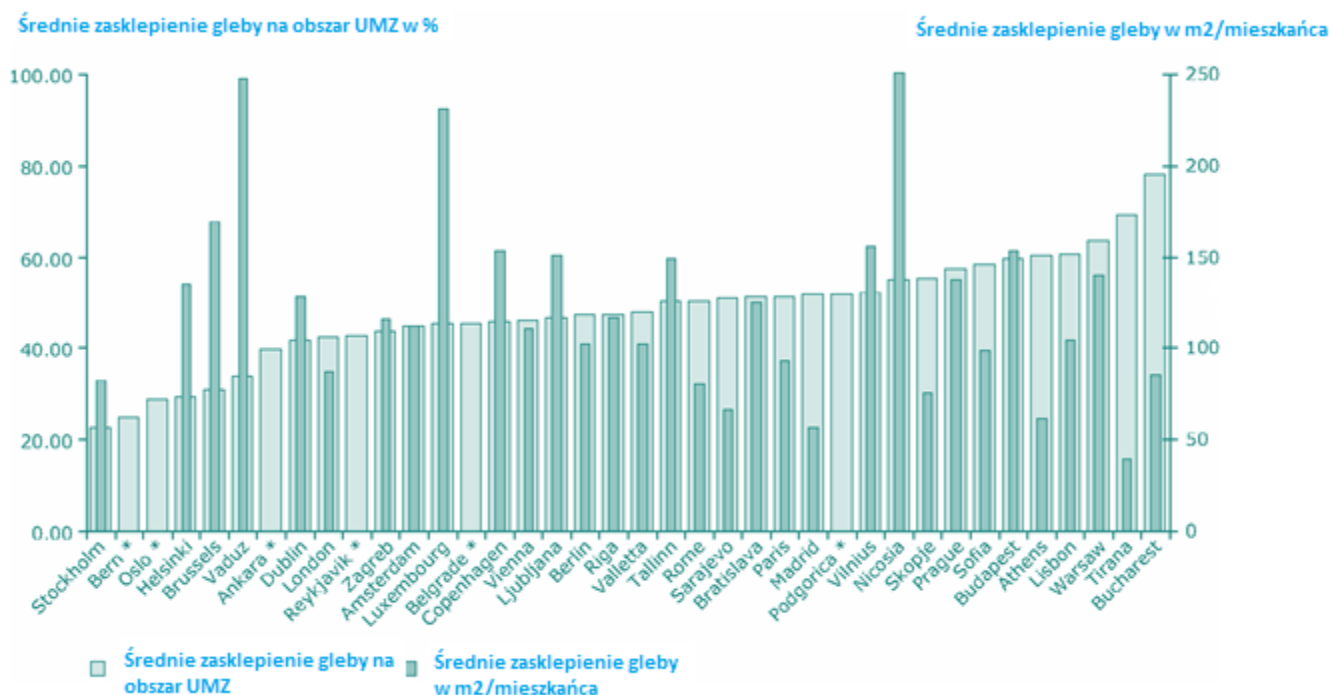
Uszczelnianie powierzchni w miastach

Nieprzepuszczalne powierzchnie w miastach obniżają potencjał infiltracji wody przez glebę, jak również prowadzą do zmniejszenia ilości terenów zielonych, gdzie roślinność mogłaby pomagać w procesie transpiracji. Zmiana w obiegu wody zwiększa odpływ wody w środowisku miejskim i tym samym przyczynia się do zwiększenia zagrożenia powodziowego w miastach.

Według raportu Europejskiej Agencji Środowiska "Adaptacja obszarów miejskich w Europie:

jak miasta i miasteczka reagują na zmiany klimatu", powierzchnie nieprzepuszczalne (takie jak beton czy asfalt) zajmują obecnie mniej niż 5% całkowitej powierzchni krajów członkowskich EOG i krajów współpracujących (zarówno miejskich, jak i wiejskich). Jednak ze względu na rozwój i rosnące zagęszczanie zabudowy w miastach, ilość tego typu powierzchni wzrasta. W latach 2000-2018 uszczelniono 16 600 km² [9]. Według niepublikowanej analizy EEA Copernicus Imperviousness High Resolution Layer średni udział uszczelnionych powierzchni w obszarach administracyjnych miast Urban Audit w 2015 r. wynosił ok. 19,5% (wzrost z 19,1% w 2006 r.), a w miejskiej strefie morskiej (UMZ) 35,6% (wzrost z 34,9% w 2006 r.) [10].

Połączenie wysokiej szczelności podłoża oraz zwiększonej liczby opadów zwiększają ryzyko powodzi opadowych w większości miast, zwłaszcza w Europie Północnej. Z tego powodu, zmiany pokrycia powierzchni na terenach miast mogą odgrywać główną rolę w zwiększaniu ryzyka powodzi w miastach i w ich adaptacji do zmian klimatu.



Rysunek 5. Średnie zasklepienie gleby w stolicach europejskich i zasklepienie gleby na mieszkańca (* brak danych)[11].

Starzejące się miejskie systemy kanalizacyjne i niska wydajność

Wydajność i stan kanalizacji deszczowej również ma wpływ na ryzyko wystąpienia powodzi opadowych w miastach. Podziemne systemy rur kanalizacyjnych z czasem ulegają degradacji, czego efektem są pęknięcia i inne defekty, a niewłaściwa konserwacja zarówno rur, jak i odpływów może prowadzić do pojawienia się zatorów. Ponadto, możliwości hydrauliczne systemu UDS mogą być poważnie ograniczone przez złe praktyki projektowe (np. wąskie gardła spowodowane przez zastosowanie rur o zbyt małych średnicach) i budowlane (np. odwrotne spadki).

Choć wszystkie te czynniki mogą przyczynić się do zwiększenia zagrożenia powodziowego, to jednak bardziej czynnikiem, który najbardziej nadwyręża wydajność systemów, jest fakt, że stare systemy nie reagują na rosnące natężenie ruchu spowodowane rozrostem miast i nowymi ekstremami klimatycznymi. Kanalizacja w 36 miastach ujętych w Atlasie wód miejskiej dla Europy ma średnio 40 lat [12]. Systemy te zostały zbudowane do pracy w znacznie innych warunkach klimatycznych, przez co warto zadać pytanie, czy stosunkowo stara infrastruktura sieci kanalizacyjnych i odpływowych w miastach europejskich jest w stanie poradzić sobie

z dużo większymi prognozowanymi ilościami wody deszczowej, w przypadku wystąpienia ekstremalnych zjawisk pogodowych.

Rozplanowanie przestrzenne, układ urbanistyczny i rozmieszczenie infrastruktury krytycznej

Układ przestrzenny w miastach, czyli sposób, w jaki elementy sztucznie wytworzonej zabudowy i warunki naturalne współistnieją w równowadze w mieście, może albo wspomagać wytrzymałość miast, albo czynić je bardziej podatnymi na ekstrema klimatyczne.

Bardzo często miasta zaczęły się rozwijać w miejscach z dobrym dostępem do naturalnych zbiorników wodnych, co oznacza, że rozwijały się na obszarach, które w przeszłości pełniły funkcję naturalnych terenów zalewowych. Po utworzeniu zabudowy, na tych naturalnie zagrożonych powodzią obszarach pojawia się szereg problemów związanych z zagospodarowaniem terenu. Sporadyczne powodzie są właściwie dopuszczalne w wielu obszarach miejskich, ale w miastach jest też wiele krytycznych infrastruktur ze znacznie mniejszą tolerancją. Przy ocenie ryzyka powodziowego należy wziąć pod uwagę kwestie zdrowia i bezpieczeństwa, jak również wytrzymałość powodziową zbudowanej infrastruktury oraz podatność środowiska naturalnych zbiorników wodnych.



Rysunek 6. Pogarszająca się infrastruktura UDS zmniejsza możliwości i zdolność obszarów miejskich do radzenia sobie z ekstremalnymi zjawiskami.

Niekontrolowane systemy kanalizacyjne

Wszystkie wyżej wymienione czynniki przyczyniające się do zagrożenia powodzią na obszarach miejskich mogą doprowadzić do ograniczenia możliwości radzenia sobie z nadmiarem wód opadowych. W niektórych przypadkach głównie na terenach gęsto zabudowanych, modyfikacje mające na celu zwiększenie przepustowości UDS nie są wykonalne lub ekonomicznie uzasadnione. Z tego właśnie powodu kontrolowanie wód burzowych, które już dostały się do systemu kanalizacyjnego, powinna być traktowana jako środek zapobiegający powodzi, a brak kontroli jako czynnik przyczyniający się do powstania zagrożenia powodzią opadową.

Kontrola w czasie rzeczywistym (RTC) dla systemów odwadniania sięga lat sześćdziesiątych XX wieku, kiedy to pojawił się pierwszy komputer zarządzający procesem, jednak początkowo systemy RTC stosowano rzadko, pojedyncze przypadki miały na celu zmniejszenie kosztów odprowadzania i oczyszczania, a nie tego, w jaki sposób ścieki wpłyną na wody, do których są odprowadzane [13]. Rozwój systemów RTC nastąpił gwałtownie w latach osiemdziesiątych i na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku, kiedy komputery i sensory stały się bardziej rozpowszechnione i przystępne cenowo, niemniej jednak pełny potencjał tych rozwiązań obecnie nie jest optymalnie wykorzystywany, po upływie kolejnych trzech dekad [14]. Ograniczone stosowanie systemów RTC może wynikać z różnych barier, m.in. instytucjonalnych i prawnych [15], a także z niedostatecznego rozreklamowania i wiedzy na temat gotowości i skuteczności technologii systemów RTC, pomimo (1) dużej liczby przykładów udanych badań, (2) nowe

metody obliczeniowe możliwe do zastosowania przy systemach RTC (np. optymalizacja wielopodmiotowa lub uczenie maszynowe) oraz (3) komputery o wysokiej wydajności i usługi obliczeniowe w chmurze umożliwiające zastosowanie nowych metod.

W celu zminimalizowania tego ostatniego czynnika ograniczającego projekt NOAH zakłada również demonstrację rzeczywistych i wirtualnych zastosowań systemów RTC oraz ocenę wyników tych zastosowań pod względem redukcji liczby powodzi, ładunków zanieczyszczeń i innych korzyści, w tym finansowych. Badanie NOAH i osiągalne wyniki są przedstawione w dalszej części niniejszego dokumentu.

Zmiany klimatyczne

Wiadomo już, że wszystkim europejskim miastom zagrażają zmiany klimatyczne [10]. W unijnej strategii adaptacyjnej zadeklarowano pilną potrzebę szybszego, inteligentniejszego i systemowego podejścia do zapobiegania skutkom zmian klimatu i przystosowania się do nich [16]. Jednak skutki zmian klimatycznych mogą znacząco się różnić w zależności od regionu geograficznego, a także od stopnia narażenia i podatności danego obszaru. Oczekuje się, że w regionie Morza Bałtyckiego ekstremalne zjawiska pogodowe wywołane globalnym ociepleniem spowodują wzrost opadów zarówno pod względem częstotliwości, jak i intensywności. Prognozy dość jednoznacznie wskazują, że ryzyko powodzi opadowych wzrośnie w większości części Europy.

Przewiduje się, że miejskie systemy kanalizacyjne, które zaprojektowano na podstawie dotychczasowy reżimów klimatycznych



Region kontynentalny

Wzrost ekstremalnych upałów
Spadek ilości opadów w lecie
Wzrost ryzyka powodzi rzecznych
Wzrost ryzyka pożarów lasów
Spadek wartości ekonomicznej lasów
Wzrost zapotrzebowania na energię do chłodzenia

Region borealny

Wzrost intensywnych opadów atmosferycznych
Zmniejszenie pokrywy śnieżnej, lodowej
pokrywy jeziornej i rzecznej
Wzrost opadów i przepływów rzecznych
Zwiększenie potencjału wzrostu lasu i
zwiększenie ryzyka występowania szkodników
leśnych
Zwiększone ryzyko szkód powodowanych przez
śnieżyce
Wzrost plonów roślin uprawnych
Spadek zapotrzebowania na energię do
ogrzewania
Wzrost potencjału hydroenergetycznego
Wzrost turystyki letniej

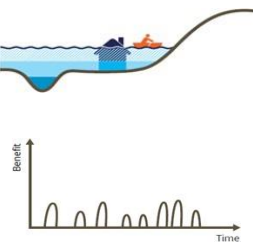
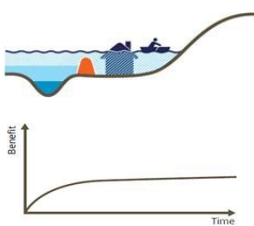
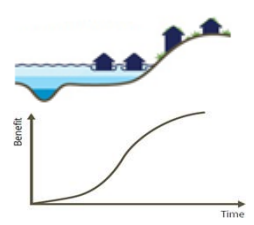
Rysunek 7. Przewidywane zmiany klimatyczne w regionie Morza Bałtyckiego [10].

staną się mniej wydajne lub całkowicie przestaną działać. Jak wyjaśniono powyżej, ich skutki są spotęgowane przez coraz częściej stosowaną praktykę uszczelniania powierzchni w miastach, starzejącą się infrastrukturę kanalizacyjną i niewymiarowe rurociągi.

Różne skutki zmian klimatycznych są już odczuwalne w różnych sektorach i regionach, ale przewiduje się, że w przyszłości będą one o wiele bardziej niepokojące. Jednakże duża część czynników wpływających na zmianę klimatu nie jest jasna i będzie kształtowana przez działania ludzi. Dlatego też scenariusze klimatyczne pozwalają nam zbadać możliwe przyszłe zmiany, założenia, od których są one uzależnione, oraz kierunki działań, które mogą do nich doprowadzić. Szósty raport IPCC na temat zmian klimatycznych stwierdza jednoznacznie, że wpływ człowieka rzutuje i będzie rzutował na

ocieplenie atmosfery, mórz i lądu, co przyniesie rozległe i gwałtowne zmiany [17].

Aby zapobiec negatywnym skutkom zmian klimatycznych, konieczne jest uwzględnienie scenariuszy zmian klimatycznych przy analizie funkcjonowania miejskich systemów kanalizacyjnych. Modele zintegrowanej oceny są ważnym narzędziem analizy reakcji na zmiany klimatu. Ponieważ wychwyciły one związek między rozwojem społeczno-gospodarczym, energią i użytkowaniem gruntów a emisjami, można je wykorzystać do zbadania strategii redukcji emisji, aby utrzymać się poniżej określonej granicy ocieplenia (plany mitygacji). W podobny sposób modele wpływu biofizycznego i gospodarczego mogą być wykorzystane do badania środków adaptacyjnych mających na celu ograniczenie wpływu zmian klimatu na działalność społeczno-gospodarczą (plany adaptacji).

ŚRODKI ZARADCZE 	Środki zaradcze są odpowiedzią na szkody i próbą znalezienia rozwiązań w celu wyeliminowania skutków ekstremów pogodowych. W przypadku powodzi opadowych akceptacja społeczna dla sporadycznych powodzi może być stosunkowo wysoka, co sprawi, że zaangażowanie w zakresie inwestowania środków na zapobieganie lub kontrolowanie powodzi jest niskie. Może to jednak okazać się krótkowzrocznym podejściem, ponieważ alternatywne koszty związane z usuwaniem szkód, jak również inwestycje konieczne do zabezpieczenia przed powodzią innej infrastruktury (zabezpieczenie przed wilgocią / podwyższenie budynków, zabezpieczenie systemów energetycznych) mogą znacznie przekroczyć koszty, które byłyby potrzebne do zarządzania ryzykiem powodziowym...
PRZYROSTOWA 	Adaptacja przyrostowa opiera się na istniejących środkach adaptacyjnych i znanych rozwiązaniach poprzez ich stopniowe ulepszanie i zwiększanie ich zdolności do unikania wszelkich szkód w przypadku pojawienia się poziomów ryzyka w przyszłości. Tego typu koncepcja ma na celu utrzymanie lub przywrócenie obecnego poziomu usług w mieście i opiera się na sprawdzonej wiedzy gromadzonej przez dziesięciolecia, na przykład w zakresie zarządzania ryzykiem katastrof. Adaptacja przyrostowa często koncentruje się na indywidualnych środkach, w miarę potrzeb i pojawiających się możliwości.
TRANSFORMACYJNA 	Adaptacja transformacyjna opiera się na szerszym i systemowym podejściu. Odnosi się do podstawowych przyczyn i rozważa różne wieloaspektowe wyzwania związane z adaptacją. Podatność na zmiany klimatyczne jest często wynikiem działań człowieka, takich jak osiedlanie się na obszarach zagrożonych, nieodpowiednie projektowanie budynków lub inne zachowania, które pogłębiają wpływ zmian klimatycznych. Wymagałoby to jednak zastosowania wielkoskalowego podejścia polegającego na współpracy z innymi miastami, regionami, a nawet krajami

Rysunek 8. Przykłady różnych koncepcji adaptacyjnych i dodatkowych korzyści przy różnych poziomach wody w wyniku powodzi [18].

Możliwości łagodzenia ryzyka powodziowego na obszarach miejskich

Plany dostosowania do zagrożenia powodziowego wywołanego zmianami klimatu

Powódzie miejskie są jednym z najczęściej wymienianych ekstremalnych zjawisk, przez które regiony odczuwają skutki zmian klimatu. Miasta nie są jednak w pełni przygotowane ani na obecne ekstremalne zjawiska pogodowe, ani na nadchodzące zmiany klimatu. Potwierdzają to liczne projekty (np. NOAH), raporty i publikacje, a także stale potrzebne i finansowane inicjatywy mające na celu nie tylko przygotowanie obszarów miejskich na zmiany klimatu, ale także ocenę zagrożenia powodzią oraz przygotowanie danych potrzebnych do takiej oceny.

Jeśli chodzi o zarządzanie powodzią opadowymi, większość miast nadal próbuje radzić sobie z ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi poprzez stosowanie zasad adaptacji przyrostowej (patrz rys. 8). Podejścia te mają na celu utrzymanie miast na dotychczasowym poziomie usług i zapewniają krótkoterminowe rozwiązania, które prawdopodobnie nie sprawdzą się w przyszłości przy ekstremalnych zjawiskach pogodowych spowodowanych zmianami klimatu. Dla przykładu w przeszłości miasta reagowały na rosnące zapotrzebowanie na miejskie systemy odwadniające (UDS) poprzez rozbudowę szarej infrastruktury, tj. rurociągów. Jednakże przebudowanie istniejącego UDS, tak aby był w stanie poradzić sobie ze zdarzeniem ekstremalnym, jest nierealne pod względem finansowym, a w wielu przypadkach niewykonalne ze względu na ograniczenia przestrzenne.

HELCOM przyjął zestaw zaleceń, które integrują i promują obecne najlepsze praktyki w zakresie zarządzania wodami burzowymi w krajobrazie miejskim. [19] Zalecenia obejmują takie aspekty jak: 1) planowanie w zakresie wód burzowych; 2) redukcja odpływów z obszarów miejskich poprzez właściwe zarządzanie wodami burzowymi; oraz 3) zarządzanie wodami burzowymi wysokiego ryzyka. Na ich podstawie strony, które zaangażowały się w projekt HELCOM uzgodniły, że będą dalej stosować system Integrated Storm Water Management (ISWM; zintegrowane zarządzanie wodą burzową). Projekt NOAH ma na celu wprowadzenie sugestii HELCOM do rzeczywistych działań poprzez wdrożenie zarówno pasywnych, jak i czynnych środków mitigacji. Co więcej, wdrożenie Koncepcji NOAH przenosi obszary miejskie z typowego poziomu adaptacji "radzenia sobie" do najwyższego podejścia "transformacyjnego".

Luki w wiedzy dotyczące wdrażania zintegrowanego podejścia do zarządzania wodami burzowymi, które doprowadziło do powstania koncepcji NOAH

Według ankiety przeprowadzonej w NOAH, wśród władz miejskich i przedsiębiorstw wodociągowych, panuje powszechne przekonanie, że organizacje potrzebują kompetencji, danych i środków finansowych, aby zrozumieć wpływ opadów na infrastrukturę miejską. Ponadto potrzebują prostych narzędzi, które pomogą im zapobiegać (ograniczać) przelewy z kanalizacji ogólnospławnej oraz zidentyfikować "newralgiczne punkty" w mieście i sposoby ich eliminacji. Opracowanie tych narzędzi było jednym z głównych celów NOAH.

II KONCEPCJA NOAH

Wprowadzenie

System wspomagania decyzji (DSS) został opracowany w ramach projektu NOAH w celu zapewnienia zintegrowanego przeglądu wydajności istniejącego systemu UDS w przypadku rozmaitych scenariuszy rozwoju urbanistycznego i klimatu w przyszłości. System wspomagania decyzji składa się z dwóch głównych pakietów - NOAH Tool do analizy możliwości sterowania UDS w czasie rzeczywistym oraz z Warstwy ekstremalnych zdarzeń pogodowych (EWL - Extreme Weather Layer), który umożliwia tworzenie dynamicznych powiązań pomiędzy zagospodarowaniem terenu, istniejącym systemem kanalizacji deszczowej i zagrożeniem powodziowym na obszarach miejskich.

Warstwa ekstremalnych zdarzeń pogodowych (EWL)

Warstwa ekstremalnych zdarzeń pogodowych jest pasywnym środkiem opracowanym przez NOAH w celu ograniczenia wycieków nieoczyszczonych ścieków podczas zdarzeń powodziowych.

EWL opracowuje się na cyfrowym bliźniaku istniejącego systemu kanalizacji burzowej, dzięki czemu specjaliści ds. planowania mają możliwość rozważenia i analizy wpływu różnych rodzajów zagospodarowania terenu i gleby w środowisku miejskim w celu symulacji reakcji systemu kanalizacji burzowej i zlewni na opady deszczu różnego rodzaju. System wspomagania decyzji pozwala miastom i przedsiębiorstwom wodociągowym na zintegrowanie narzędzia z procesem



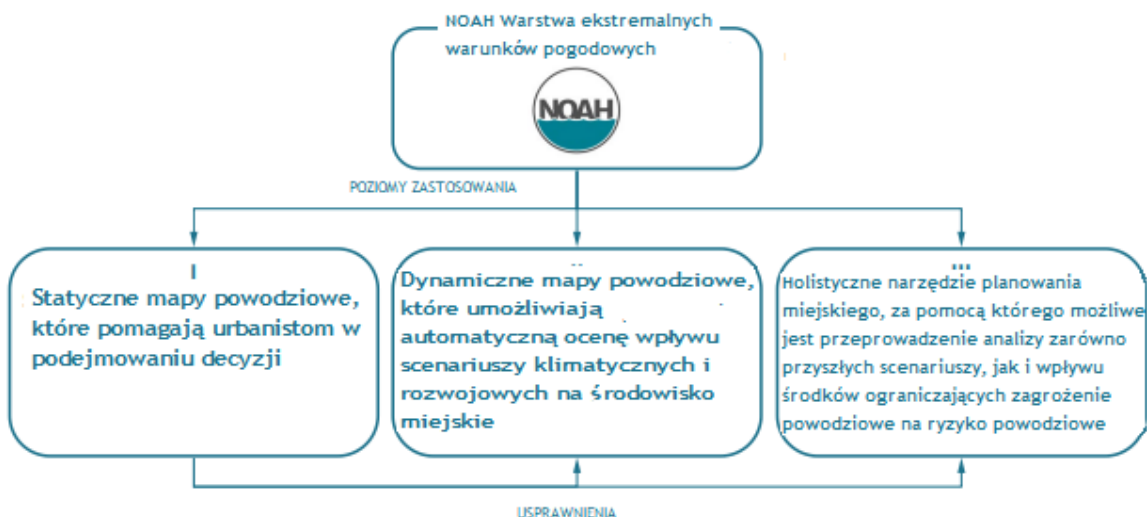
Rysunek 9.

Przykład mapy ryzyka powodziowego EWL opracowanej dla projektu pilotażowego NOAH w Söderhamn, w Szwecji (okres opadów RCP 4.5 - 2 lata).

podejmowania rutynowych decyzji, co umożliwia bardziej efektywną walkę w przypadku powodzi poprzez zastosowanie systemu przy planowaniu zarówno środków czynnych (zmiany strukturalne), jak i pasywnych (zmiany niestrukturalne).

EWL pomaga ekspertom przygotować się na przyszłe wyzwania w dziedzinie gospodarki wodnej i rozwijać odporność na zmiany klimatu na obszarach miejskich. Dzięki nowej warstwie planistycznej na obszarach o najwyższym zagrożeniu powodziowym można zastosować najbardziej odpowiednie rozwiązania w zakresie ochrony przeciwpowodziowej. Ponadto możliwe jest przeprowadzenie analizy skutków wprowadzonych rozwiązań - w jaki sposób nowe inwestycje zmieniają zagrożenie powodziowe na poziomie działki, dzielnicy lub miasta na wybranym obszarze. Przykład systemu EWL opracowanego dla Söderhamn przedstawiono na Rysunku 9.

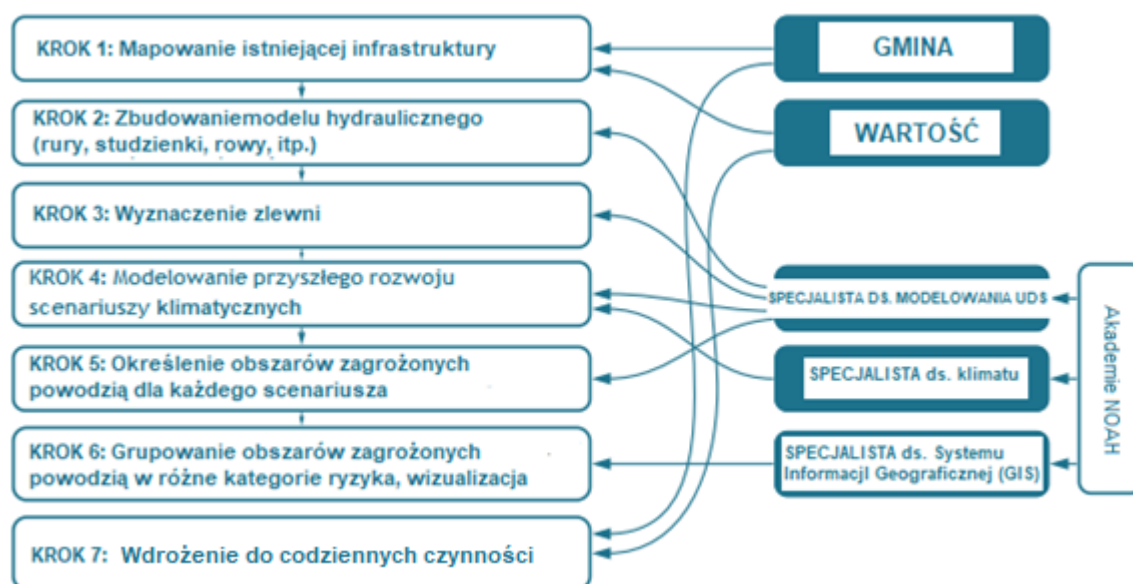
EWL może być wprowadzony w sposób statyczny lub dynamiczny. W pierwszym przypadku gmina może przeanalizować szereg różnych rodzajów przyszłych scenariuszy, aby uzyskać statyczne mapy zmian obszarów zagrożonych powodzią i klas ryzyka powodziowego w środowisku miejskim. W drugim przypadku urbanista może korzystać z systemu EWL i traktować je jako narzędzie codziennego użytku przy ocenie ryzyka powodziowego i sprawności systemu kanalizacji deszczowej, z uwzględnieniem zmian w środowisku miejskim i/lub w klimacie. Projekt NOAH koncentrował się głównie na opracowaniu metodologii EWL, dostarczeniu statycznych map ryzyka powodziowego dla każdego obszaru pilotażowego oraz zaproponowaniu pomysłów na dalszy rozwój PSS odporności powodziowej, które mają być wykorzystane w holistycznym zestawie narzędzi planowania miejskiego (patrz Rysunek 10).



Rysunek 10. Poziomy zastosowania Warstwy ekstremalnych warunków pogodowych NOAH.

EWL można opracować zgodnie z siedmioetapową procedurą opisaną na rys. 11. Miasta i przedsiębiorstwa wodociągowe zarządzające UDS odgrywają znaczącą rolę w zarządzaniu danymi, jak również we wdrażaniu opracowanego narzędzia do wspomagania planowania do codziennej użytku. Zaleca się, aby to zespół specjalistów posiadających wiedzę z zakresu modelowania UDS, stosowania scenariuszy klimatycznych i systemów GIS, był odpowiedzialny za zaprojektowanie systemu EWL. W przypadku NOAH było ono realizowane przez uczestniczące w nim akademie, jednak

proponowaną metodologię mogą powielić również firmy konsultingowe, które posiadają wyżej wymienione doświadczenie. Kluczowe kroki, na które miasta powinny zwrócić uwagę przy tworzeniu systemu wsparcia planowania odporności na powodzie, zostały omówione w poniższych podrozdziałach.



Rysunek 11. Kluczowe kroki i obowiązki konieczne przy tworzeniu Warstwy ekstremalnych warunków pogodowych EWL dla obszaru miejskiego.

Narzędzie NOAH

Narzędzie NOAH jest częścią czynnych środków opracowanych w NOAH, których celem jest przejęcie kontroli nad istniejącym systemem UDS w celu złagodzenia negatywnych skutków zdarzeń powodziowych.

Narzędzie NOAH pomaga użytkownikowi zbadać potencjał wdrożenia rozwiązań kontroli w czasie rzeczywistym (RTC) w miejskich systemach kanalizacyjnych na podstawie istniejącego cyfrowego bliźniaka systemu. W przypadku NOAH modele zbudowano w programie EPA Storm Water Management Model (SWMM) [20], który jest programem komputerowym na system Windows. Jest to oprogramowanie publiczne typu open source i można z niego korzystać zupełnie za darmo na całym świecie. Na rynku dostępne są alternatywne rozwiązania komercyjne.

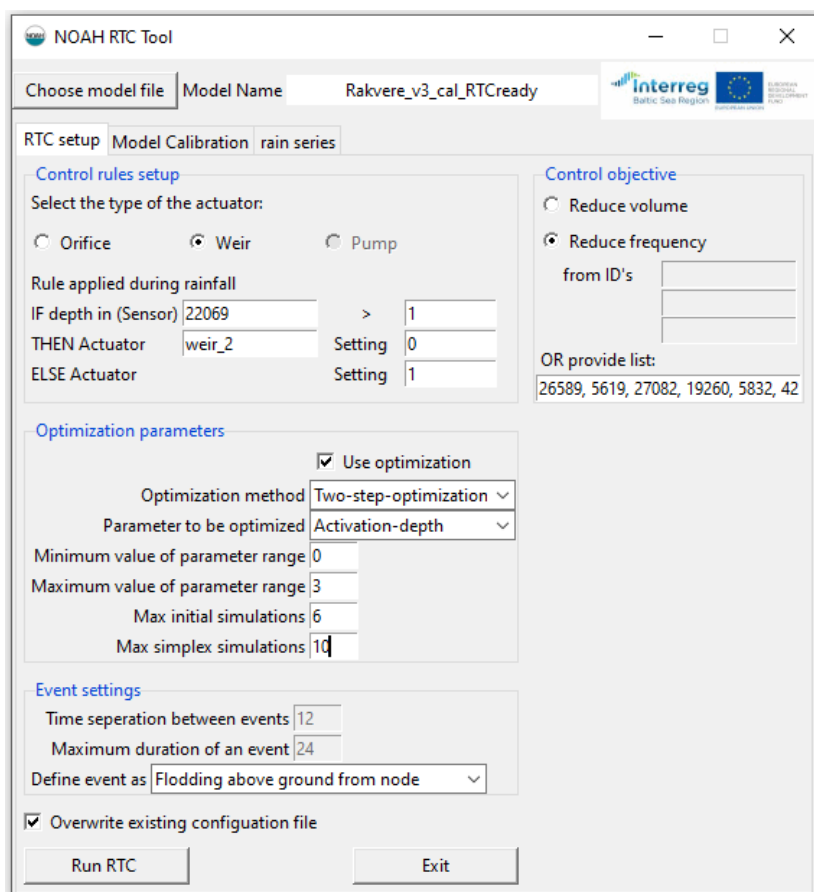
Narzędzie NOAH może być dalej wykorzystywane do kalibracji modelu SWMM w oparciu o pomiary in-situ. Podstawowa funkcjonalność narzędzia może być wykorzystana poprzez graficzny interfejs użytkownika (GUI - Graphical User Interface), natomiast więcej opcji dostępnych jest w repozytorium kodu narzędzia.

W trakcie realizacji projektu opracowano pierwszą wersję narzędzia NOAH. Dalsze rozwijanie funkcjonalności jest możliwe dzięki

otwartemu kodowi (open source), do którego dostęp i zgodę na wprowadzanie poprawek ma każdy, kto korzysta z załączonego w linku repozytorium.

Więcej informacji na temat narzędzia NOAH można znaleźć w RAPORCIE O3.3 oraz w publicznym repozytorium na stronie <https://github.com/mbjjo/NOAH>.





Rysunek 12. Graficzny interfejs użytkownika narzędzia NOAH.

Mapowanie istniejącej infrastruktury UDS

Procedura gromadzenia danych

System wspomagania decyzji NOAH (DSS) jest oparty na cyfrowym bliźniaku UDS. Dlatego też dostępność i jakość danych potrzebnych do stworzenia cyfrowego bliźniaka ma kluczowe znaczenie. W przypadku miast pilotażowych NOAH praca ta rozpoczęła się od podstaw. Większość miast pilotażowych posiadała podstawowy System Informacji Geograficznej (GIS) dotyczący swoich miejskich systemów kanalizacyjnych, ale informacje były rozproszone i zawierały znaczące braki danych. Schemat ustawienia bliźniaka cyfrowego i Systemu Podejmowania Decyzji (DSS) przedstawiono na rysunku 13.

Więcej informacji na temat procesu pozyskiwania danych i jego wyzwań w pilotażach NOAH można znaleźć w RAPORCIE O2.1.





Rysunek 13. Dane potrzebne do stworzenia UDS oraz proponowana koncepcja dotycząca integracji narzędzia wspomagającego planowanie odporności na powódzie jako zintegrowaną funkcję w miejskim systemie GIS.

W przypadku bliźniaków cyfrowych UDS lub modeli matematycznych zawsze konieczne jest oszacowanie optimum pomiędzy poziomem szczegółowości modelu a potrzebnymi do obliczeń zasobami. Szczegółowy model wymaga szczegółowych danych. Dlatego podczas tworzenia modelu musimy wziąć pod uwagę:

- przepływ na powierzchni (droga od zlewni do studzienki);
- przepływ pod powierzchnią ziemi (przepustowość rur, opór hydrauliczny itp.); oraz
- dane dotyczące pomp, zbiorników i innych elementów systemu, jeżeli jest to element istotny dla warunków lokalnych.

Określenie obszaru objętego narzędziem wspomagania decyzji

Narzędzie wspomagające planowanie NOAH można skonfigurować dla obszarów o różnej wielkości i naturze. Średnia powierzchnia obszarów pilotażowych, dla których w ramach projektu stworzono narzędzie, wynosi $\sim 1 \text{ km}^2$ (patrz **Tabela 1**). W przypadku projektu NOAH obszary pilotażowe wyznaczono zgodnie z granicami lokalnych zlewni, choć narzędzie można również skonfigurować dla obszarów obejmujących kilka zlewni.

DSS najlepiej stosować na obszarach, na których zbudowano istniejące systemy kanalizacji miejskiej i które mają duży potencjał do zmiany przestrzeni miejskiej (tj. włączenia terenów zabudowanych i powierzchni nieprzepuszczalnych). Ponadto narzędzie to może być stosowane na obszarach, gdzie system kanalizacji nie został jeszcze zaplanowany (w celu oceny jego efektywności i dostosowania procesu planowania przestrzennego w mieście), lub na obszarach, gdzie możliwe zmiany w przestrzeni miejskiej są ograniczone, ale istnieje potencjał do wdrożenia sterowania systemem

kanalizacji deszczowej (tzn. w systemie istnieją pewne elementy umożliwiające zatrzymywanie, które można by zaopatrzyć w siłowniki do regulacji przepływu). Wszystkie obszary pilotażowe NOAH były również położone w pobliżu naturalnych zbiorników wodnych połączonych z Morzem Bałtyckim (patrz różne miejsca pilotażowe opisane w skrócie w Tabeli 1); jednakże nie należy traktować tego jako warunku koniecznego dla systemu DSS. System DSS nie jest ukierunkowany głównie na zapobieganie powodziom rzeczonym wywołanym podnoszeniem się poziomu wody w naturalnych zbiornikach wodnych. Jednak z racji tego, że model jest w stanie analizować również ryzyka podniesienia się wód przy odpływach, zastosowanie systemu DSS umożliwia podejmowanie decyzji opartych na wiedzy w odniesieniu do wzajemnych skutków ryzyka powodzi opadowej i rzecznej.

Tabela 1. Charakterystyka obszarów pilotażowych NOAH, dla których utworzono system DSS.

Nazwa obszaru pilotażowego	Wielkość miasta (populacja)	Pow. obszaru pilotażowego (km^2)	Typ UDS
Haapsalu, EST	9 500	0,66	Wydzielona sieć kanalizacyjna obejmuje nowe rurociągi, ale także zniszczone odcinki ze starymi rurociągami. Znaczną część systemu stanowią rowy. Odpływ na teren podmokły przez przepust do sztucznej laguny płytkiej zatoki w Morzu Bałtyckim. Kanalizacja deszczowa, system zagrożony napływem wody morskiej, gdy poziom wody jest wysoki.
Rakvere, EST	15 000	1,8	Odrębny system kanalizacji wyposażony w rury o różnym wieku i stanie technicznym. Wody opadowe odprowadzane są do podziemnego kolektora, który kieruje nadmiar wody z tego obszaru do pobliskiej rzeki. Kolektor ma stały przepływ, ponieważ naturalny strumień jest kierowany do kolektora w centrum miasta.
Pori, FIN	84 000	1,6	Odrębny system kanalizacji wyposażony w rury o różnym wieku i stanie technicznym. Obszar pilotażowy składał się z ponad 10 zlewni z wylotami do okolicznych rowów kierujących wodę do Morza Bałtyckiego. Podobszary mają różną topologię użytkowania gruntów. Poziom wody w odpływie różni się przestrzennie i czasowo.
Söderhamn, SWE	12 000	0,98	Odrębny system kanalizacji wyposażony w rury o różnym wieku i stanie technicznym. Ujściem zlewni cząstkowych jest rzeka/zatoka, gdzie rury wylotowe mogą być całkowicie zanurzone ze względu na zmiany poziomu wody. Wody opadowe zebrane z niektórych dachów kierowana jest do rurociągu kanalizacyjnego.

Liepāja, LAT	68 000	0,14	Miejski system kanalizacyjny z podwodnym ujściem do jeziora Liepāja. Plany zakładają przyszłą rozbudowę zlewni, ale obecna przepustowość systemu nie jest wystarczająca.
Jūrmala, LAT	50 000	0,19	System UDS składa się z rur i rowów, które odprowadzają wodę do rzeki Lielupe. Kilka znanych nieoczyszczonych lub częściowo oczyszczonych przyłączy kanalizacji sanitarnej. Kilka odcinków rurociągu o odwróconym spadku, które utrudniają spływ wód opadowych.
Ogr, LAT	23 000	0,25	Obszar pilotażowy znajduje się obok rzeki Ogre. Kanalizacja deszczowa składa się z systemu podziemnych rur, a także sieci rowów.
Słupsk, POL	91 000	22,03	Obszar badań (pilotażowy) nie obejmuje całego systemu kanalizacyjnego używanego przez Wodociągi Słupskie, lecz obszar z najbardziej gęstą zabudową, na którym występuje zarówno system kanalizacji rozdzielczej, jak i ogólnospławnej. Tuż przed pompownią główną (która pełni funkcję odpływu w obszarze pilotażowym) znajduje się przelew, który oddziela nadmiar zużytej wody i kieruje ją do rzeki Słupi. Obszar pilotażowy jest głównym źródłem dopływu ścieków do oczyszczalni ścieków (WWTP), a 30% z nich stanowią wody opadowe.

Typowe braki danych w budowie cyfrowych bliźniaków UDS na podstawie doświadczeń zdobytych przez NOAH.

W trakcie całego procesu gromadzenia danych i tworzenia modelu konieczna jest walidacja danych, aby zrozumieć ich braki. Konieczne mogą być dodatkowe pomiary geodezyjne i nie tylko, w celu uzupełnienia krytycznych braków danych niezbędnych do opracowania i wdrożenia systemu EWL.

W niektórych przypadkach istniejący system GIS musi zostać ulepszony, aby umożliwić automatyczny transfer danych między systemami DSS a GIS. W kolejnych punktach opisano główne przeszkody i wytyczne dotyczące zwalczania tych braków.

Niedostateczna wiedza na temat UDS

W przypadku pilotażu NOAH największe braki danych dotyczyły po pierwsze dostępnych danych o systemie kanalizacji deszczowej, a po drugie jakości tych danych. Układ sieci kanalizacyjnych, obejmujący zarówno cały rurociąg, jak i rowy, studzienki i wpusty deszczowe, w większości przypadków nie został w pełni odwzorowany dla miast. Większość miast biorących udział w inicjatywie NOAH posiadała istniejący system GIS na UDS. System GIS nie obejmował jednak wszystkich elementów systemu kanalizacyjnego (mniejsze rury, rowy) i nie zawierał niezbędnych informacji dotyczących ich charakterystyki (właściwości fizycznych,

stanu, itp.). Czasami, nawet jeśli dokładna przestrzennie baza danych przedstawiająca geometrię systemu UDS istnieje, może ona być niewystarczająca ze względu na braki w integralności, np. rurociągi nie są zatrzaśnięte dokładnie na środku studzienek lub brakuje informacji o wysokości wierzchołków studzienek. Zazwyczaj dane z systemu GIS służą jako nowoczesny sposób inwentaryzacji zasobów, ponieważ pomagają w natychmiastowej aktualizacji informacji w terenie, a także umożliwiają bardziej efektywne zarządzanie, w tym regularne lub nagłe prace konserwacyjne. W celu realizacji procesu modelowania nie

wystarczy jednak wiedzieć tylko, gdzie znajdują się rurociągi i otwory - potrzebna jest wiedza, czy i w jaki sposób są one ze sobą połączone

lub czy jedynie mijają się, lub przecinają na mapie.

Dokumentacja dotycząca UDS nie odzwierciedla sytuacji w terenie

Ponadto przebudowano wiele studzienek i/lub rur kanalizacji deszczowej, a nowe połączenia zostały w przeszłości dodane z niewystarczającą dokumentacją. Spowodowane może być to awaryjnymi naprawami kanalizacji, zasypywaniem ziemi i innymi przebudowami mającymi wpływ na system UDS (remonty dróg itp.). Z tej właśnie przyczyny informacje znajdujące się w GIS lub nawet na rysunkach projektu powykonawczego

nie odpowiadają rzeczywistości. W niektórych przypadkach dostępne były tylko rysunki projektowe, brakowało natomiast raportów powykonawczych. Wszystkie takie przypadki powinny być dokładnie sprawdzone, a w celu potwierdzenia ważności danych należy przeprowadzić wizytacje w danym miejscu. System GIS powinien zawierać specjalne pole do notowania tego typu przypadków w bazie danych.

Brak dostępnych danych dotyczących opadów deszczu i natężenia przepływu wody przez ujście wody opadowej

Oprócz dostępności danych na temat właściwości fizycznych systemu UDS, dane na temat opadów i jednocześnie prędkości przepływu i głębokości wody są potrzebne do kalibracji i walidacji cyfrowych bliźniaków systemu kanalizacji deszczowej. W projekcie NOAH zdarzały się przypadki, że w obszarze pilotażowym lub w jego pobliżu nie było żadnego deszczomierza, bądź też okres pomiaru był zbyt duży, aby wykorzystać te dane w modelowaniu. Bez lokalnych informacji o opadach atmosferycznych, istnieje prawdopodobieństwo, że wyniki modeli hydraulicznych nie będą do końca dokładne. Wynika to z tego, że model powinien zostać skalibrowany na podstawie zaobserwowanych przepływów lub/i cykli wód opadowych, a

jednak dane wejściowe dostarczane są z odległego deszczomierza. W związku z tym parametry modelu nie zostały dobrane prawidłowo w procesie kalibracji, aby uzyskać wystarczający poziom dopasowania symulowanych i obserwowanych przepływów. Dlatego też zdecydowano się na zainstalowanie nowych deszczomierzy na wczesnym etapie realizacji projektu i zebranie dokładnych danych reprezentujących analizowany obszar. Rozważano i testowano również wariant alternatywny, zakładający zastosowanie wysokorozdzielczych szacunków opadów wstępnych, które mogą być oparte na połączeniu sieci deszczomierzy, sieci radarów meteorologicznych i satelitów meteorologicznych[21].

Brakujące lub nieadekwatne dane dotyczące jakości wody

We wszystkich obszarach pilotażowych wycieki charakteryzowano przy użyciu próbek uznaniowych lub poprzez pobieranie próbek proporcjonalnych do natężenia przepływu, lub próbek czasowo proporcjonalnych. Próbką proporcjonalną do natężenia przepływu może być połączona w jedną próbkę i uznana za opisującą jedno zdarzenie; stężenia analitów będą przedstawione jako wskaźnik EMC (EMC -

Event Mean Concentration: Średnie Stężenie Zdarzenia). Zalecane parametry jakości wody do analizy w każdym obszarze pilotażowym to: pH, temperatura, konduktancja, BZT7, zawiesina ciał stałych, tlen rozpuszczony, rozpuszczony węgiel organiczny (RWO), całkowity węgiel organiczny (CWO), azot amonowy, suma azotu azotanowego i azotynowego,

azot całkowity, fosfor fosforanowy, fosfor całkowity, niektóre metale ciężkie, metale i półmetale, bakterie coli i indeks oleju.

Jakość wody można ocenić za pomocą pięciu różnych metod; poprzez porównanie wyników analitycznych z wartościami granicznymi wynikającymi z różnych przepisów i typów wód, takich jak oczyszczone ścieki, wody powierzchniowe, dane dotyczące wód opadowych z bazy danych wód opadowych w StormTac, wartości zalecane dla wód opadowych w Göteborgu, w Szwecji i parametry jakości wody dla wód opadowych w Estonii. Wybór metod oceny zależy od zainteresowania gmin, rodzaju wycieków i rodzaju zbiornika, w którym doszło do zdarzenia (wody słodkie lub strefy przybrzeżne i przejściowe). Jeśli kraje znajdujące się w obrębie Morza Bałtyckiego ustaliły różne limity, najniższy z nich został użyty przy przeprowadzeniu tej oceny. Przedstawiono również wytyczne dotyczące pobierania próbek jakości wody, oparte na normach ISO [22] i wnioskach wyciągniętych na podstawie badań przeprowadzonych na obszarach pilotażowych. Należy zwrócić szczególną uwagę na nabycie, instalację i obsługę próbobiornika. Ponadto warto także uwzględnić samo planowanie procesu pobierania próbek, wpływ warunków pogodowych na pobieranie próbek oraz harmonogram laboratoriów, które mają je przyjąć.

Ocena dokonana na podstawie bazy danych StormTac wykazała, że właściwości jakościowe wody różnią się znacznie w zależności od miejsca pobrania próbki, a także od daty jej pobrania i warunków pogodowych w miejscu pobierania. Najbardziej zanieczyszczona woda pochodziła ze ścieków nieoczyszczonych (CSO) ze Słupska, czyli rodzaju ścieków znacznie różniących się od wody pobrana w pozostałych obszarach. Stwierdzono, że zmierzone parametry próbek były powyżej, w granicach i poniżej przedziału dla wód opadowych w bazie danych StormTac. Tego typu konkluzja sprawdzała się nawet po wyłączeniu próbek słupskich z oceny. Stężenia zanieczyszczeń powyżej przedziału stwierdzono kilkakrotnie przy wartościach parametrów TN, TP i/lub bakterii wskaźnikowych. Można wysnuć wniosek, że próbka została zanieczyszczona ściekami, jednak nie można też

Więcej informacji na temat jakości wody można znaleźć w dokumencie RAPORT A3.2.



wykluczyć tego, że próbki pobrane przy bezopadowej pogodzie z wody stojącej w studzience, zawierają osad. Gminy powinny regularnie monitorować jakość wód opadowych w różnych zlewniach w różnych porach roku. Jakość wód opadowych należy porównywać z wartościami określonymi przez normy krajowe i międzynarodowe lub, w regionie Morza Bałtyckiego, przez miasto Göteborg [23]. Jeśli wartości stężenia przekraczają wartości dopuszczalne, należy podjąć działania zgodnie z zaleceniem Helcom 23/5 [19].

Zalecenia dotyczące sposobu poprawy lokalnego zarządzania danymi w celu utworzenia systemu NOAH DSS

NAJWAŻNIEJSZE WSKAZÓWKI DOTYCZĄCE ZARZĄDZANIA DANymi SYSTEMU UDS

- **Jakość danych** (model danych umożliwiający integrację z innymi aplikacjami):
 - kierunek połączenia (rury/rowu) musi być zgodny z nachyleniem (przepływem);
 - każde połączenie powinno mieć węzły (skrzyżowania, studzienki) na obu końcach;
 - punkty początkowe/końcowe łączy muszą być podłączone do kolejnych łączy, należy unikać przesunięć;
 - każdy element powinien mieć łącznie do pliku bazy danych w celu dostarczenia informacji o obiekcie (typ, data instalacji, materiał, wymiary, czy obiekt został zmierzony, czy dane pochodzą z planów);
 - wszystkie elementy powinny mieć unikalne identyfikatory; dane o różnych typach elementów muszą być przechowywane na oddzielnych warstwach (lub w atrybucie identyfikacyjnym); identyfikatory powinny być wartościami liczbowymi, a nie łańcuchowymi;
 - dla wszystkich danych wysokościowych wymagana jest specyfikacja dotycząca sposobu pozyskania danych (pomiar terenowy, archiwum, rysunki powykonawcze itp.);
 - podczas konwersji systemu GIS do modelu należy zwrócić uwagę na pokrywające się cechy. Zdarza się, że podczas tworzenia mapy elementy są wielokrotnie rysowane jeden na drugim, co prawda nie musi to stanowić problemu przy tworzeniu ilustracji, ale na pewno zacznie podczas modelowania.
- **Zarządzanie danymi** (aktualizacja w przypadku przebudowy, naprawy itp.):
 - aktualizować dane wraz z systemem GIS, zapisywać daty w bazie danych;
 - należy wziąć pod uwagę typy danych i precyzji danych - odnośniki do podręczników referencyjnych znajdują się poniżej;
 - zapewnić płynną komunikację między personelem terenowym a zarządzającymi danymi;
 - stworzyć system, który będzie zawierał bank zdjęć elementów w systemie GIS.
- **Atrybuty krytyczne w GIS:**
 - dla rur: średnica, rok instalacji, materiał, studzienki wlotowe i wylotowe, wysokość wlotu i wylotu;
 - dla rowów: wysokość dna, pomiary przekrojów poprzecznych, informacje dotyczące konserwacji, wysokość wlotu i wylotu, połączenia (przepusty, studzienki);
 - dla danych dotyczących wysokości: poziom sklepienia dolnego, przesunięcia rur (w razie potrzeby) przy połączeniach ze studzienką, wysokość podłoża (pokrywy);
 - dla wylotów: wysokość poziomu wody przy wylocie (poziom zbiornika odbiorczego, rowu, morza).
- dla kwestii technicznych (kierunek przepływu dla rurociągów grawitacyjnych).

Wytyczne:

Bardziej szczegółowe informacje dostępne w dokumencie raport NOAH O2.3.



Opracowanie cyfrowego bliźniaka dla miejskiego systemu kanalizacji

Sukces zastosowania systemu NOAH DSS zależy bezpośrednio od jakości modeli hydraulicznych. Do stworzenia odpowiednich bliźniaków cyfrowych dla miejskich sieci odwadniających potrzebne są różnego rodzaju dane (jak wyjaśniono w poprzednim rozdziale). Po zebraniu wszystkich wymaganych danych możliwe jest stworzenie sieci w oprogramowaniu, dzięki któremu można przeprowadzić symulację dynamicznego spływu wód opadowych.

Więcej informacji na temat budowy modeli dla pilotów NOAH można znaleźć w dokumencie
RAPORT O2.3.



Rys.14. Szkieletyzacja modelu, przykład Pori. Po lewej: cały system, po prawej: rury, które zostały uwzględnione w modelu.

Budowa hydraulicznego odpowiednika systemu UDS

Proces budowy hydraulicznego odpowiednika systemu UDS został szczegółowo opisany w raporcie O2.3. Poniżej wyjaśniono najważniejsze etapy tego procesu.

I Agregacja i walidacja danych. Dane zebrane z GIS, rysunków powykonawczych i wizyt na budowie mają być analizowane w kontekście procesu modelowania. Identyfikacja braków w danych i określenie rozwiązania w celu uzupełnienia luk w danych.

II Określenie poziomu wierności modelu. Zdecydowanie które rurociągi zostaną uwzględnione w modelu i określenie oczekiwanej dokładności modelu.

III Budowa modelu. Ustawienie hydraulicznego odpowiednika systemu UDS (rur,

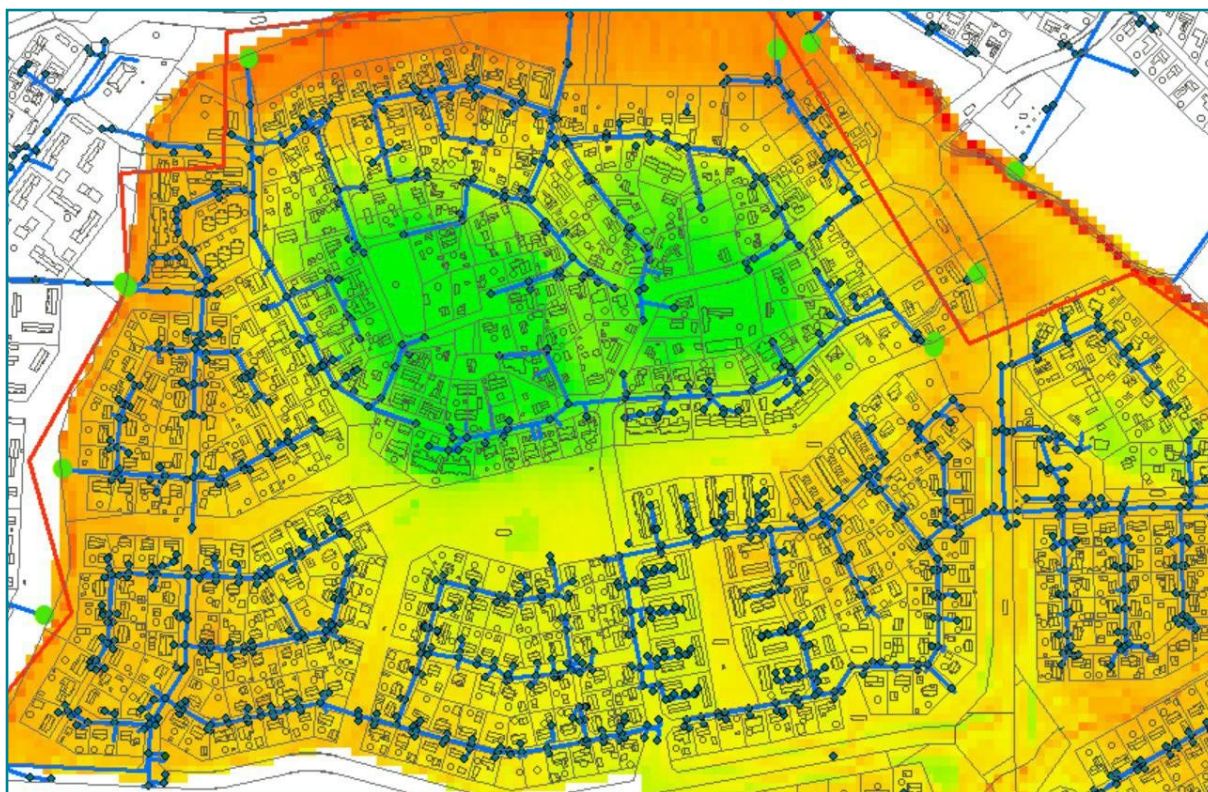
rowów, skrzyżowań i innych cech technicznych sieci).

IV Walidacja i kalibracja. Walidacja danych i redukcja niepewności przy pomocy specjalistów z lokalnego urzędu miasta/ zakładu energetycznego. Prowadzenie pomiarów terenowych w celu kalibracji i walidacji modelu.

Zlewnie

Zlewnie to istotny element przy procesie rozwoju cyfrowego bliźniaka, ponieważ ich parametry mają bezpośredni wpływ na rzeczywisty spływ do systemu podziemnego. Spływ zależy również od nachylenia terenu.

W projekcie NOAH zastosowano różne koncepcje określania zlewni. Na początku należy określić wielkość zlewni - rozdzielczość i wielkość powodzi.



Rysunek 15. Podstawą do stworzenia zlewni był dobrej jakości cyfrowy model wysokościowy (DEM) oraz dane o sposobie użytkowania terenu (Corine lub alternatywny). Zlewnie zostały utworzone automatycznie za pomocą modułu GISStoSWMM. Dla każdej studzienki utworzono zlewnię cząstkową.

Obszary zagrożone są bezpośrednio związane z tym, w jaki sposób wyznaczono daną zlewnię. W niektórych pilotażowych projektach NOAH zlewnie wyznaczono tylko na podstawie map topograficznych i wysokościowych. W niektórych przypadkach zlewnie wyznaczono automatycznie na podstawie cyfrowych modeli wysokościowych (DEM) przy użyciu oprogramowania GISStoSWMM [24]. W takich przypadkach zlewnie były generowane automatycznie dla każdego wpustu wlotowego, z uwzględnieniem sposobu użytkowania terenu w zlewni i kierunku przepływu w tej zlewni. W drugiej fazie automatycznie wygenerowane zlewnie zostały zaktualizowane na podstawie informacji zwrotnych uzyskanych od specjalistów z zakładów wodociągowych i lokalnych gmin. Mniejsze zlewnie umożliwiają bardziej szczegółową wizualizację obszarów zagrożonych powodzią, ale wymagają danych wysokościowych o wysokiej rozdzielczości jako danych wejściowych.

Kalibracja

Typowy model hydrauliczny istniejącego UDS zawiera setki, a nawet tysiące rur i zlewni cząstkowych, a każda z nich ma ponad 20 parametrów, które musi zdefiniować użytkownik.

Większości parametrów nie da się zmierzyć bezpośrednio, więc ich oszacowanie stanowi wyzwanie. Dlatego też kalibracja parametrów staje się kluczowa dla osiągnięcia pożądanej dokładności wyników modelowania. Celem kalibracji jest dopasowanie symulowanego i obserwowanego odpływu z obszaru badań lub głębokości wody opadowej/ścieków w systemie.

Dla każdego obszaru pilotażowego przeprowadzono analizę niezawodności kalibracji lub modelowania. Modele zostały skalibrowane, a ich niezawodność została przeanalizowana na podstawie próbek padów i pomiarów historycznych, tam gdzie było to możliwe. Prowadzono pomiary przepływów i poziomów wody w powiązaniu z intensywnością opadów w strategicznych punktach sieci.

Koncepcja NOAH w kwestiach wyboru i wdrażania scenariuszy klimatycznych

IPCC stwierdza z dużą pewnością, że na wzrost intensywności opadów w Europie Północnej wpływ może mieć działalność

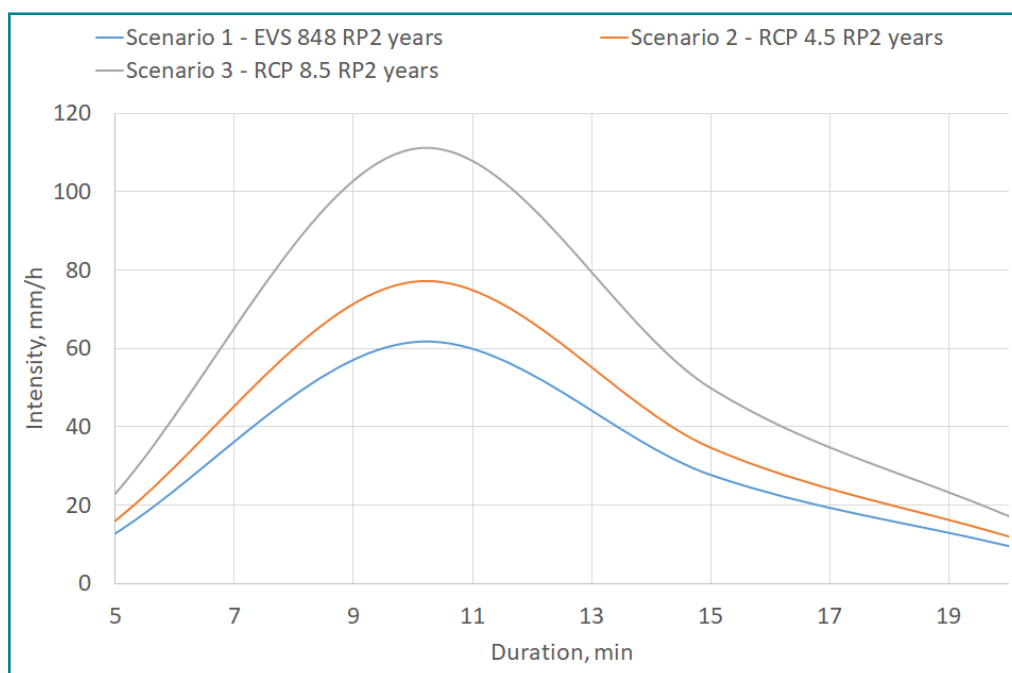
człowieka [17]. W związku z tym w planowaniu adaptacji miejskich sieci kanalizacyjnych należy uwzględnić różne scenariusze klimatyczne. W zakresie planowania adaptacji do zmian klimatu zaproponowano różne ramy adaptacyjne, które są zgodne z opisanymi scenariuszami klimatycznymi. Różne podejścia – w tym Międzyrządowego Zespołu do spraw Zmiany Klimatu (IPCC) oraz podejścia oparte na ocenie ryzyka lub rozwoju społecznym [25], [26] – koncentrują się wyraźnie na parametrach klimatycznych albo analizują wpływ klimatu na konkretne zagrożenia, albo oceniają kwestie klimatyczne w kontekście zdolności adaptacyjnych człowieka i alternatyw rozwojowych. W przypadku UDS konieczne jest połączenie scenariuszy klimatycznych, ryzyka związanego z wydajnością systemu i alternatyw rozwoju miejskiego.

Projekt NOAH skupiał się na adaptacji miejskiego systemu kanalizacyjnego, na który, jak wyjaśniono wcześniej, wpływają nie tylko zmiany klimatyczne, ale także szereg innych czynników. Osiągnięcie tego celu wymagało oszacowania objętości spływu miejskiego (w przypadku kanalizacji ogólnospławnej nacisk kładzie się na objętość ścieków rozlanych), zarówno w celu zagwarantowania wydajności systemu w normalnych warunkach, jak i prawidłowego działania w przypadku

wystąpienia ekstremalnych zjawisk pogodowych. Spowodowało to konieczność przygotowania różnych scenariuszy dla każdego obszaru pilotażowego:

- scenariusza bazowego opracowanego zgodnie z obowiązującymi normami projektowymi o określonym czasie trwania i prawdopodobieństwie wystąpienia (np. 20-minutowe opady deszczu występujące przez 2 lata) lub zaobserwowane opady deszczu;
- różnych scenariuszy adaptacyjnych (w tym scenariuszy dotyczących zmieniającego się klimatu).

Do przygotowania sposobów adaptacji kanalizacji miejskich do przyszłych warunków klimatycznych projekt NOAH stosuje ramy łączone i wiąże różne scenariusze klimatyczne z innymi czynnikami. W celu doboru warunków brzegowych związanych z opadami atmosferycznymi dla różnych scenariuszy krzywe typu IDF zaproponowane w normach krajowych zostały zmodyfikowane zgodnie z wybranymi scenariuszami klimatycznymi. Na ich podstawie opracowano różne krzywe natężenia, czasu trwania i częstotliwości opadów (krzywe typu IDF) (patrz rys. 17), które następnie wykorzystano do oceny wydajności systemu.



Rysunek 16. Alternatywne krzywe opadów typu IDF dla obszaru pilotażowego Haapsalu. Opracowane zgodnie z krajową normą projektową (EVS 848) [27] oraz krajowym planem adaptacji (RCP 4.5 i RCP 8.5) [28].

Wybór odpowiednich scenariuszy zmian klimatu, istotnych z punktu widzenia realizacji zadań projektu NOAH, został oparty na ścieżkach wybranych przez rządy w krajowych planach adaptacji (ang. national adaptation plan, NAP). W większości przypadków zostały one opracowane na podstawie wytycznych IPCC dotyczących Reprezentatywnych ścieżek koncentracji (ang. Representative Concentration Pathways, RCP). Ponieważ system wspomagania decyzji (DSS) opracowany w ramach projektu NOAH umożliwia porównywanie różnych scenariuszy, analizie poddano również scenariusze regionalne oraz przeszłe skrajne wartości. W większości obszarów pilotażowych projektu NOAH przeanalizowano co najmniej trzy scenariusze klimatyczne: stan obecny, RCP 4.5 oraz RCP 8.5.

Wyniki analizy scenariuszy klimatycznych

Scenariusze zmian klimatycznych zostały wykorzystane w projekcie NOAH do ilościowego ujęcia zagrożenia powodziowego oraz do oceny potencjalnego wzrostu odprowadzania wód opadowych i zanieczyszczeń do wód powierzchniowych. Ogólne wyniki wskazały, że w przypadku opadów deszczu występujących przez 2 lata spodziewany wzrost występowania powodzi w miastach na obszarach pilotażowych wynosi od 11 do 118% w scenariuszu RCP 4.5 i od 50 do 440% w scenariuszu RCP 8.5. W przypadku bezpośredniego odpływu do wód, do których odprowadzane są ścieki, szacowany wpływ zmian klimatu jest jeszcze bardziej zróżnicowany, tj. 5–199% i 16–786% odpowiednio w scenariuszu RCP 4.5 i RCP 8.5. Podobny rząd wielkości oszacowano również dla zmian koncentracji zanieczyszczeń. Stosunkowo szeroki zakres oczekiwanych skutków zmian klimatycznych sugeruje, że potencjał adaptacyjny miast jest bardzo zróżnicowany. Zróżnicowanie to wynika przede wszystkim z charakteru miast, tj. zagospodarowania terenu, spadków terenu, rodzaju i stanu sieci kanalizacyjnych.

Podsumowując, można stwierdzić, że nawet jeśli da się zidentyfikować pewne prawidłowości w zakresie wpływu zmian klimatu na zagrożenie powodziowe w miastach i systemach kanalizacyjnych o określonym charakterze, wpływ ten należy uznać za specyficzny dla danego obszaru, zwłaszcza jeśli miastu mają zostać zaproponowane specjalne środki zaradcze. Ocena oddziaływania powinna również mieć wiele celów, a nie skupiać się tylko na jednym się problemie. Konsekwencje takiego niedopatrzenia można zilustrować na przykładzie

Szczegółowe informacje na temat tego, jak i które scenariusze zmian klimatycznych zostały wybrane dla obszarów pilotażowych w ramach projektu NOAH, można znaleźć w raporcie O2.2 „Wybór scenariuszy klimatycznych”.



Szczegółowe wyniki dotyczące wpływu zmian klimatu na nadmiar wody w systemach kanalizacyjnych i koncentrację zanieczyszczeń na obszarach pilotażowych można znaleźć w raporcie 04.1 „Analiza wykonalności i polityki”.



jednego z obszarów pilotażowych projektu NOAH, gdzie oczekuje się, że krótkoterminowe skutki zmian klimatu spowodują wzrost występowania powodzi w miastach "zaledwie" o 11%. Jeśli zatrzymamy się w tym miejscu i skoncentrujemy na problemie zagrożenia powodziowego w najbliższej przyszłości, może umknąć nam inna ważna kwestia – długoterminowy wpływ na wody, do których odprowadzane są ścieki, a w konsekwencji zaproponowane środki zaradcze mogą okazać się krótkowzroczne i nieskuteczne. Na zakończenie tego przykładu należy zauważyć, że we wspomnianym obszarze pilotażowym przewiduje się, że odprowadzanie wód opadowych i zanieczyszczeń (w tym CSO) wzrośnie co najmniej dwukrotnie w długoterminowym scenariuszu zmian klimatycznych. W ramach NOAH zidentyfikowano również odwrotne przypadki, w których wpływ zmian klimatu na wody, do których odprowadzane są ścieki, stanowił jedną dziesiątą wpływu na powódzie w miastach (studia przypadków w Estonii i Finlandii).

GLÓWNE ZALECENIA DOTYCZĄCE MODELOWANIA

Bardziej szczegółowe informacje dostępne w dokumencie raport NOAH O2.3.

- Modelowanie
 - Obecność GIS i jakość danych są kluczowymi elementami modelowania.
 - Należy przeznaczyć środki na pomiary terenowe w celu uzupełnienia braków danych.
 - Automatycznie tworzone zlewnie powinny być zawsze weryfikowane przez lokalny przedsiębiorstwo wodociągowe.
 - Infiltrację należy rozważyć na obszarach o wysokim poziomie wód gruntowych.
 - Jeśli to możliwe, kalibrację należy przeprowadzić zarówno w okresie niskich i wysokich opadów.
 - Dla każdej studzienki należy określić, czy woda może wydostać się z systemu podczas powodzi, czy nie (np. spływając do pobliskiego rowu itp.).
- Pomiary
 - Pomiary przepływu i opadów są kosztowne; należy przeznaczyć na nie specjalny budżet.
 - W wielu przypadkach do instalacji urządzeń pomiarowych potrzebne są niewielkich rozmiarów prace budowlane.
 - Klient powinien zastrzec sobie prawo do przedłużenia umowy o wykonanie pomiarów bez dodatkowych opłat w przypadku, gdy w uzgodnionym terminie nie wystąpią odpowiednie warunki (np. opady deszczu o określonej intensywności itp.).
- Analiza
 - Za pomocą modelu należy przeanalizować różne scenariusze klimatyczne.
 - W tym celu należy wykorzystać opady deszczu o różnym czasie trwania i krzywych intensywności.
 - Wyniki scenariuszy modelowania powinny zostać wyeksportowane do GIS w celu opracowania EWL.
 - Wszystkie prace powinny być udokumentowane, aby analiza była powtarzalna.

Od modelu do środków pasywnych – znalezienie stałego miejsca dla EWL w codziennych praktykach

Narzędzie EWL zostało opracowane oddzielnie dla każdego obszaru miejskiego. Opiera się on na modelu hydraulicznym miejskiego systemu kanalizacyjnego (UDS), unikalnym dla każdego miasta, oraz na danych systemu informacji geograficznej (GIS) miasta, które również są unikalne. Istnieje możliwość wizualizacji obszarów zagrożonych powodzią na mapie w formie widoku powierzchni lub zlewni. Łatwe do zrozumienia kodowanie za pomocą sygnalizacji świetlnej wskazuje które obszary są dotknięte powodzią opadowymi, a które z nich są bezpieczne przy różnych scenariuszach wydarzeń.

Warstwa ekstremalnych zdarzeń pogodowych (EWL)



Rysunek 17. Koncepcja zastosowania EWL

W ramach NOAH opracowano koncepcję tworzenia EWL i generowania statycznych map zagrożenia powodziowego, którą wdrożono w gminach partnerskich. Ponadto, narzędzie daje możliwość dalszych zastosowań w bardziej dynamicznym trybie. Jak widać na rys. 18, użytkownik końcowy EWL może wziąć pod uwagę różne dane wejściowe. Pozwala to na zastosowanie EWL przy rozpatrywaniu różnego rodzaju pozwoleń, planowaniu i projektowaniu UDS, wdrażaniu różnych środków łagodzących i adaptacyjnych, jak również strategii kontroli i kierowania oraz zarządzaniu miejskimi zasobami wodnymi (planowanie ponownego wykorzystania zasobów, zarządzanie środkami mającymi na celu poprawę jakości wody, itp.)

Dalsze informacje na temat konfiguracji EWL można znaleźć w instrukcji obsługi EWL.

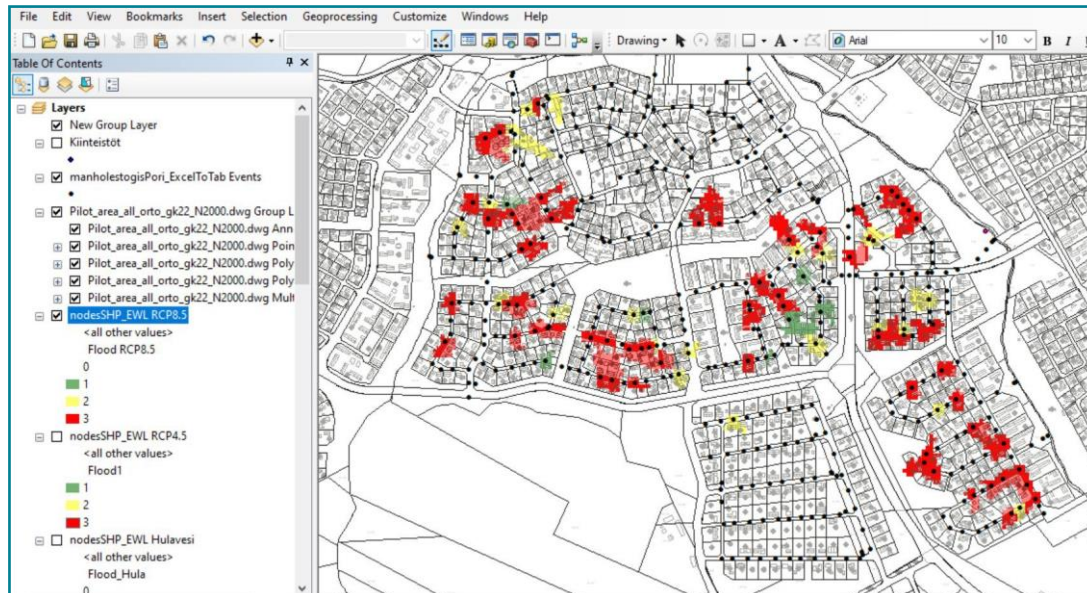


NAJWAŻNIEJSZE WSKAZÓWKI DLA MIAST PRZYGOTOWUJĄCYCH SIĘ DO OPRACOWANIA EWL

- Większa ilość informacji i lepsza jakość danych skutkuje wysoką rozdzielczością w cyfrowym bliźniaku UDS.
- Im mniejsze zlewnie, tym większa rozdzielczość obszarów zagrożonych powodzią i oceny ryzyka.
- GIS powinien odzwierciedlać rzeczywisty system, a nie tylko go wizualizować. W celu uzyskania lepszego obrazu systemu należy dołączyć zdjęcia do bazy danych.
- Wdrożenie innowacji nie jest procesem samodzielnym; wymaga współpracy pomiędzy uczelniami, gminami, przedsiębiorstwami wodociągowymi, społeczeństwem i innymi zainteresowanymi stronami.
- Należy uczyć się od innych, jak organizować zamówienia i opisy techniczne systemu, aby zapewnić, że uzyska się to, do czego się dąży.

Jak widać na rysunku 19, możliwe jest wykorzystanie EWL w standardowym systemie GIS (QGIS, ArcGIS, itp.), który pozwala na wizualizację danych według georeferencji i innych cech. Jak już stwierdzono powyżej, EWL może obrazować zagrożenie powodziowe na

poziomie posesji lub zlewni. W tym ostatnim przypadku możliwe jest zrozumienie kompleksowego działania systemu.



Rysunek 18. EWL pilotażowego obszaru NOAH – Pori w trakcie integracji z miejskim systemem informacji geograficznej (GIS).

Od modelu do aktywnych działań – kiedy kontrola na bieżąco może być użyteczna?

Miejskie systemy kanalizacyjne są w większości przypadków zaprojektowane do pracy pasywnej, co oznacza, że nie dają możliwości regulowania przepływu. Większości systemów nie można dostosować do zmian zachodzących w środowisku miejskim, nie mówiąc już o znacznie gwałtowniejszych zjawiskach, takich jak ekstremalne ulew. Istnieje jednak wiele możliwości bazujących na zastosowaniu inteligentnych siłowników w istniejącym systemie w celu zwiększenia jego wydajności. Aktywna kontrola powodzi jest rozumiana jako inteligentny miejski system kanalizacyjny, w którym jeden lub kilka siłowników (pompa, śluza, jaz ruchomy itp.) są sterowane na podstawie warunków panujących w systemie w czasie rzeczywistym. Takie rozwiązanie pozwala na zwiększenie wydajności istniejącego systemu, tworząc tym samym listę korzyści związaną z lepszym zarządzaniem miejskimi systemami kanalizacyjnymi.

Czym jest RTC?

RTC (ang. real-time control) systemu oznacza, że siłownik (pompa, śluza, jaz ruchomy itp.) jest sterowany na podstawie warunków panujących w systemie w czasie rzeczywistym. Warunki te są zazwyczaj mierzone zdalnie, przez różne czujniki (poziom przepływu, poziom wody itp.). RTC jest zwykle stosowany w przypadku pompy, która włącza się, gdy poziom wody na wlocie do pompy jest wysoki i zatrzymuje się, gdy jej poziom jest niski. Można to nazwać lokalnym RTC, ponieważ kontrola systemu bazuje wyłącznie na lokalnych warunkach, nie biorąc pod uwagę jego ogólnego stanu. Jeśli RTC posiada możliwość reagowania na sygnały pochodzące z czujników zlokalizowanych w innych miejscach w systemie, można brać pod uwagę bardziej globalne rozważania na temat wydajności systemu jako całości. Globalnie rozwiązania RTC wymagają bardziej rozbudowanej infrastruktury komunikacyjnej niż w przypadku RTC na szczeblu lokalnym, jednak może to oznaczać stosunkowo niewielką inwestycję, jeśli np. modernizacja istniejących

komponentów systemu może zostać odłożona w czasie lub całkowicie uniknięta. Jednak rozwiązanie RTC powinno być stosowane wyłącznie wtedy, gdy pociąga za sobą pewne korzyści, ponieważ zwiększa złożoność systemu i wymaga konserwacji siłowników i czujników.

Aktywne środki, takie jak RTC, pozwalają przewidzieć działanie systemu w różnych sytuacjach, a przez to sprawiają, że system statyczny dostosowuje się do sytuacji dynamicznych. Kontrola w czasie rzeczywistym umożliwia połączenie tradycyjnych systemów kanalizacyjnych wykorzystujących rury ze zrównoważonymi systemami odwodnienia miast (ang. sustainable urban drainage systems, SUDS), co jest kluczowym warunkiem dobrze działającego zintegrowanego systemu zarządzania wodami opadowymi.

Potencjalne przykłady zastosowania RTC w UDS

Warunkiem koniecznym do wdrożenia RTC globalnie jest możliwość lokalnego opóźnienia przepływu lub magazynowania wody, co wymaga sporej pojemności zbiorników lub rur o dużej średnicy, lub też duża różnica w stężeniu zanieczyszczeń w ściekach i możliwość nadania priorytetu zatrzymaniu najbardziej zanieczyszczonej wody w systemie poprzez np. wywoływanie przelewów czystszej wody.

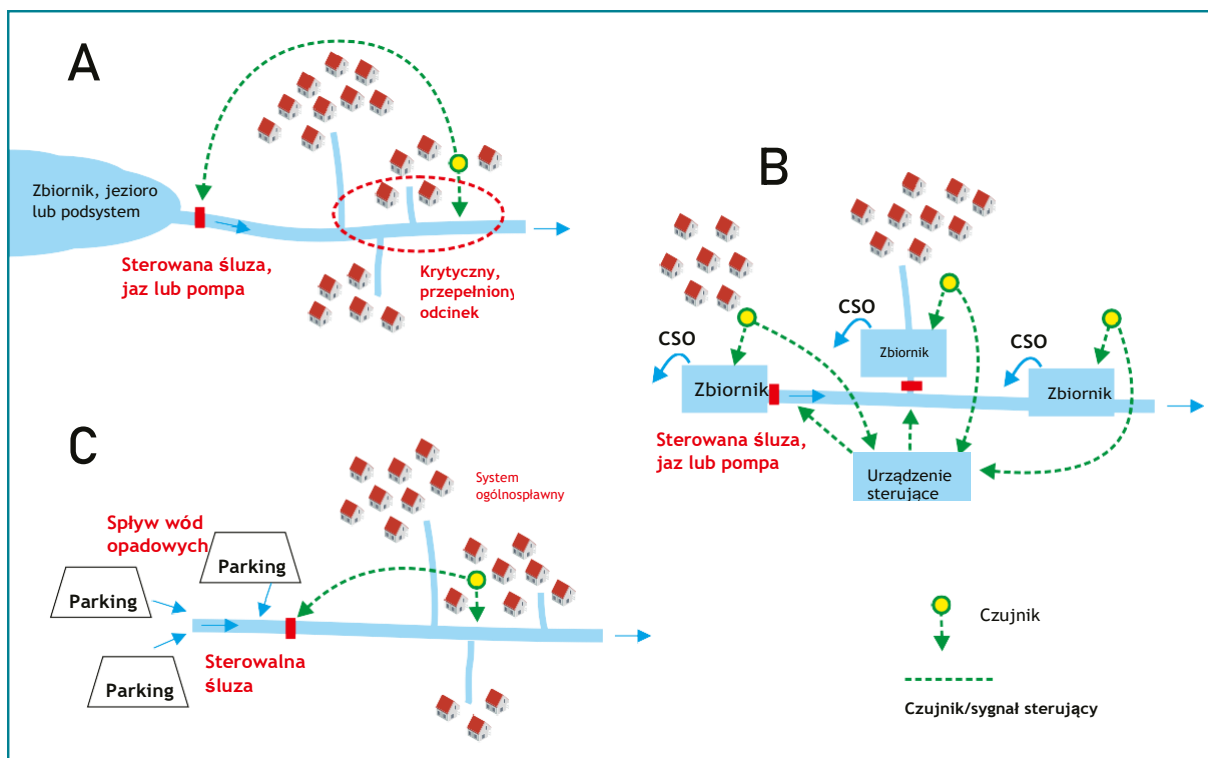
Poniżej wymieniono trzy główne rodzaje RTC analizowane w ramach NOAH.

- **Opróżnianie zbiornika, jeziora lub podsystemu bez przeciążania systemu w dolnym biegu.** Woda ze zbiornika lub jeziora znajdującego się w górnym biegu przyczynia się do powodzi lub przelewów kanalizacji ogólnospławnej (CSO) w dolnym biegu, ponieważ zbiornik jest opróżniany niezależnie od warunków panujących w dolnym biegu. Zjawisko to można ograniczyć poprzez kontrolę, jak pokazano na poniższym rysunku. Urządzenie sterujące reaguje na dane z czujników dotyczące poziomu wody na obszarze krytycznym. Taka konfiguracja RTC może potencjalnie złagodzić problemy powodziowe w biegu dolnym i/lub zmniejszyć objętość i częstotliwość CSO angażując przy tym ograniczone koszty w porównaniu z alternatywnymi rozwiązaniami polegającymi na powiększeniu rur w całym mieście lub budowie dodatkowego zbiornika retencyjnego, i/lub pomóc kontrolować poziom wody w zbiorniku/jeziorze dzięki danym dotyczącym opadów (rys. 20 A).

Więcej szczegółowych informacji na temat systemu RTC i jego zastosowania w pilotażowych obszarach NOAH można znaleźć w raporcie O2.3 „Wdrażanie RTC na obszarach miejskich w regionie Morza Bałtyckiego”.

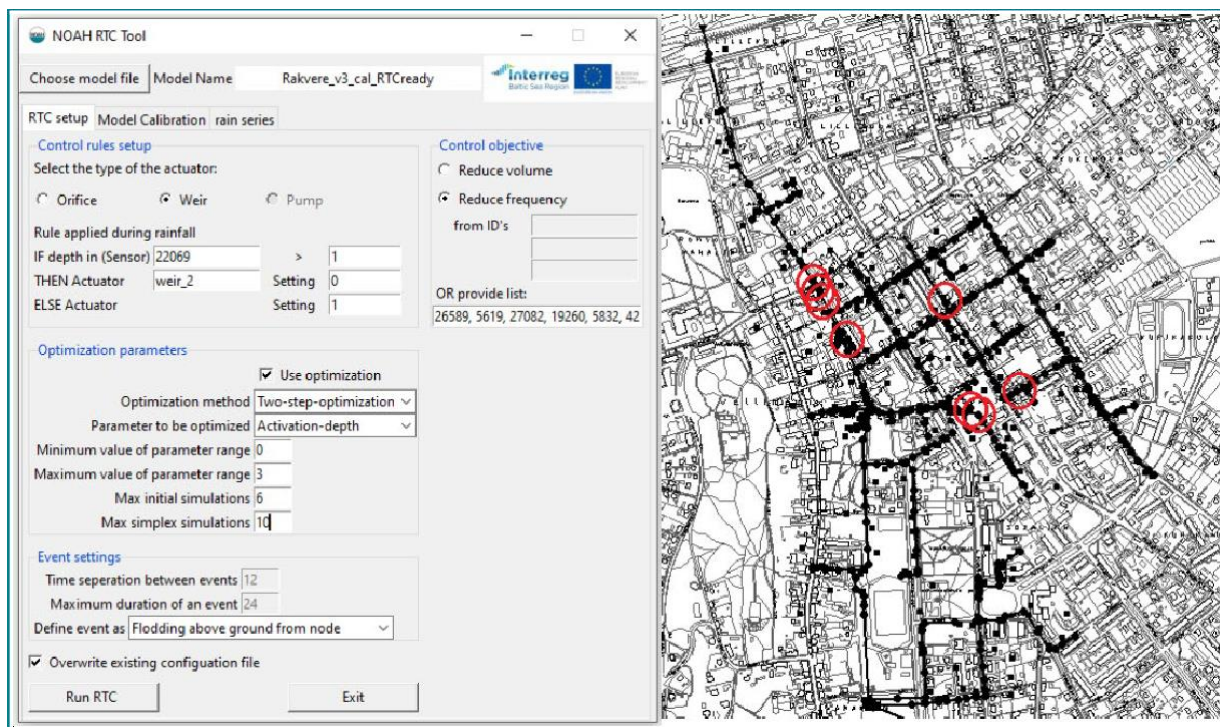


- **Ustalenie priorytetów związanych z opróżnianiem zbiorników w celu zminimalizowania CSO w systemie wielozbiornikowym.** Może to mieć również na celu redukcję obciążenia oczyszczalni ścieków. Urządzenie sterujące reaguje przede wszystkim na dane z czujników poziomu wody zlokalizowanych w zbiornikach, jak również na dane dotyczące opadów deszczu, jeśli są one dostępne (patrz rys. 20 B). Taka konfiguracja daje operatorom duży stopień kontroli i elastyczności. Zakres RTC można dość łatwo zmienić, np. z organizacji CSO równomiernie we wszystkich zlewniach na taki, w którym większość CSO powstaje w miejscach, gdzie ścieki są najbardziej zanieczyszczone. Główna potencjalna korzyść to redukcja CSO, a tym samym zmniejszenie wpływu na zbiorniki, do których odprowadzane są ścieki. Takie ustawienie zwykle pomaga usunąć sporą liczbę niewielkich przelewów, jednak warto zauważyć, że incydenty, podczas których całkowita objętość retencyjna systemu jest znacznie przekroczona, nadal będą prowadzić do przelewów.
- **Ustalanie priorytetów w przypadku awarii systemu w oparciu o jakość wody,** np. wywoływanie powodzi tam, gdzie woda jest najczystsza lub wyrządzi najmniejszą szkodę. Sterowalna śluza reaguje na dane z czujnika poziomu wody znajdującego się w dolnym biegu (patrz rys. 20 C). Takie rozwiązanie może uchronić końcowe zbiorniki wodne przed ściekami, a miasto przed zalewaniem przez ścieki ogólnospławne. Wiąże się to jednak z kosztem częstszych przelewów lub zalewania względnie czystsą wodą opadową w górnym biegu.



Rysunek 19. Trzy główne rodzaje RTC analizowane w ramach NOAH

Poza różnymi wariantami RTC, wybór obszaru ma kluczowe znaczenie dla działania systemu. Narzędzie NOAH RTC zostało skonstruowane i zakodowane w taki sposób, aby pomóc projektantom w tym procesie.



Rysunek 20. Konfiguracja narzędzia NOAH służącego do analizy wpływu RTC na węzły powodziowe w centrum miasta.

Przykłady możliwości zastosowania

Wdrożenie RTC odbywa się na podstawie indywidualnego dopasowania, ponieważ miejskie zlewnie różnią się od siebie. Gotowość lokalnych przedsiębiorstw wodociągowych do zastosowania nowego typu urządzeń regulacyjnych w istniejących systemach zdalnego sterowania jest zróżnicowana. Dlatego też posiadanie skalibrowanego modelu zlewni i rurociągów jest istotnym krokiem w kierunku wdrożenia środków aktywnych, takich jak RTC. Wszelkie opcje można przeanalizować, a korzyści ocenić w porównaniu z innymi metodami, np. wymianą rurociągu, przed dokonaniem realnych inwestycji. W projekcie NOAH potencjał RTC został przeanalizowany za pomocą modeli UDS w ośmiu pilotażowych obszarach, z których sześć pozostało na poziomie teoretycznym, a w przypadku dwóch (Rakvere i Haapsalu) pozostałych, rozwiązania zostały wdrożone w praktyce. Wynik analizy RTC przedstawiono w tabeli 2.

Więcej szczegółowych informacji na temat narzędzia NOAH RTC można znaleźć w „Instrukcji użytkownika i dokumentacji narzędzia NOAH”.

Narzędzie można pobrać ze strony <https://github.com/mbjjo/NOAH>



Tabela 2. *Zarys proponowanych rozwiązań RTC dla obszarów pilotażowych NOAH*

Nazwa obszaru pilotażowego	Proponowane rozwiązanie RTC	Skutki wprowadzenia rozwiązania
Rakvere	Sterowanie przepływem wody z jeziora w górnym biegu za pomocą systemu Inteligentnych Ścian Jazowych (ang. Smart Weir Wall System), kontrolowanego przez poziom wody w systemie w dolnym biegu.	Zmniejszenie ryzyka powodzi w dolnym biegu.
Haapsalu	Sterowanie przepływem wody przez odpływ z jeziora w dolnym biegu za pomocą systemu Inteligentnych Ścian Jazowych i dwóch czujników.	Utrzymanie niskiego poziomu wody w jeziorze w dolnym biegu podczas przypływów i opadów deszczu, co prowadzi do zmniejszenia ryzyka powodzi i przelewów systemu kanalizacji w mieście.
Jürjala	Pompa zainstalowana przy odpływie wody z części systemu kanalizacji burzowej, gdzie przepływ w porze suchej jest szczególnie zanieczyszczony. Pompowanie jest kontrolowane w taki sposób, że w porze suchej woda jest transportowana do systemu kanalizacji sanitarnej, natomiast o wiele czystsza woda gromadząca się podczas opadów może płynąć do zbiornika końcowego.	Potencjalna 71% redukcja ładunku substancji odżywczych w zbiorniku końcowym.
Liepāja	Śluza basenu pływowego i pompa przy odpływie wody w celu zapobiegania przedostaniu się wody morskiej do systemu kanalizacyjnego. Nie zaleca się stosowania śluzy do kontroli napływu wody z nowo przyłączonego obszaru.	Mniej negatywny efekt przypływu w zbiorniku końcowym.
Słupsk	Nie zaleca się kontroli, ponieważ system wdrożony w modelu zarządzania wodą deszczową (SWMM) nie odniósłby na tym korzyści.	–
Ogre	Można zastosować zawór jednokierunkowy/śluzę basenu pływowego i pompę. Proces wdrożenia i jego wynik wyglądałyby podobnie jak w przypadku Liepāja.	Woda opadowa nadal mogłaby wydostawać się z systemu, gdy poziom wody w rzece jest wysoki.
Pori	Brak potrzeby lub potencjału do wdrożenia RTC.	–
Söderhamn	Brak potencjału do wdrożenia RTC, chyba że do systemu zostaną dodane dodatkowe zbiorniki.	–

Warto zauważyć, że zarówno w Rakvere, jak i w Haapsalu rzeczywiste systemy wykazały oczekiwaną skuteczność i były w pełni zintegrowane z innymi systemami kontroli stosowanymi lokalnie przez instytucje zarządzające.

NAJWAŻNIEJSZE WSKAZÓWKI DLA MIAST PRZYGOTOWUJĄCYCH SIĘ DO WDROŻENIA RTC

- Planowanie wdrożenia RTC
 - **Skalibrowany model** jest podstawowym warunkiem wstępnym dla RTC.
 - Należy przeanalizować **różne obszary** z uwzględnieniem odmiennych scenariuszy klimatycznych tak, aby wybrać najbardziej wykonalne rozwiązanie.
 - **Narzędzie NOAH RTC** może być wykorzystane do analizy skutków zaplanowanego wdrożenia RTC.
 - Do określania obszarów, na których wdroży się RTC należy zaangażować **wszystkich interesariuszy**.
- Projektowanie i budowa
 - Należy zbadać **istniejące systemy SCADA** w celu znalezienia możliwości połączenia RTC z istniejącym systemem kontroli.
 - **Zasilanie elementów RTC, takich jak śluzy i czujniki**, w energię elektryczną powinno być starannie przemyślane, a tam, gdzie to możliwe, należy zastosować rozwiązania pozasieciowe.
 - **Podniesienie poziomu wody w stawach i rowach w celach retencyjnych** może wymagać uzyskania specjalnych pozwoleń od Agencji Ochrony Środowiska i sąsiadów.
 - **Scenariusz „co by było gdyby” należy uwzględnić w przypadku awarii systemu.**
- Optymalizacja RTC

Model hydrauliczny może być wykorzystany do wstępnej optymalizacji poleceń RTC.

III Integracja koncepcji NOAH

Koszty i korzyści wynikające z rozważań nad realizacją Koncepcji NOAH

Pilotażowe obszary projektu NOAH różnią się pod wieloma względami – nie tylko warunkami środowiskowymi i lokalizacyjnymi, ale także wielkością obszaru badań i stopniem skomplikowania inwestycji. Co więcej, procesy wdrożenia Koncepcji NOAH przez miasta pilotażowe różniły się od siebie pod względem skali, jak i stopniem realizacji. W niektórych miastach partnerskich wdrożono wyłącznie środki pasywne (ukierunkowane na modelowanie i monitoring), w innych zaś wprowadzono zarówno środki pasywne, jak i aktywne (takie jak modernizacja istniejącej infrastruktury czy wdrożenie inteligentnego miejskiego systemu kanalizacyjnego).

W ramach projektu nie zaplanowano szczegółowych analiz kosztów i korzyści, które uwzględniałyby usługi ekosystemów i szersze skutki społeczno-gospodarcze zwiększenia wytrzymałości przeciwpowodziowej na społeczności zamieszkujące obszary docelowe. Jednak w ankiecie walidacyjnej, którą przeprowadzono w celu oceny ogólnej skuteczności działań, zebrano ogólne koszty poniesione w ramach projektów pilotażowych (więcej informacji w Raporcie O4.1). Pod względem korzyści, w projekcie NOAH oszacowano potencjalne oszczędności będące następstwem zwiększenia wytrzymałości przeciwpowodziowej dzięki wdrożeniu pasywnych i aktywnych środków. Dla dwóch obszarów pilotażowych oszacowano możliwość redukcji szkód w infrastrukturze o ok. 150 000-450 000 EUR na jedno zdarzenie powodziowe w przypadku obecnego scenariusza klimatycznego, o 360 000-560 000 EUR jeśli mowa o scenariuszu RCP 4.5 oraz o 380 000-710 000 EUR biorąc pod uwagę scenariusz RCP 8.5. Należy podkreślić, że obszary pilotażowe dla

których dokonano tych szacunków dotyczą obszaru o wielkości 1-2 km² – w przypadku realizacji projektu w całym mieście, wielkość tych oszczędności mogłyby ulec znacznemu zwiększeniu.

Innym elementem korzyści finansowych poruszanych w NOAH był koszt opłat za usługi odprowadzania zanieczyszczeń do wód powierzchniowych. Przykładowo, koszt przelewu wód występującego raz na dwa lata (z uwzględnieniem niekorzystnych skutków zmian klimatu) oszacowano na 160 euro na jedno zdarzenie opadowe na obszarze pilotażowym w Słupsku; biorąc pod uwagę mniejszą częstotliwość opadów (prawdopodobieństwo 5%), koszt wzrasta do 670 euro. Pomimo, iż koszty te mogą wydawać się niskie w skali całego miasta, byłyby znacznie wyższe, gdyby w obliczeniach uwzględniono częstsze przelewy i zanieczyszczenia inne niż te zawarte w danych monitoringu NOAH.

W porównaniu z bezpośrednimi korzyściami finansowymi, inne wydają się mieć jeszcze większe znaczenie. Narzędzia NOAH zawierają wartość dodaną, przydatną do gromadzenia ważnych informacji, które mogą być wykorzystane do bardziej zrównoważonego zarządzania zagrożeniem powodziowym. Dlatego też nawet na obszarach pilotażowych, gdzie prowadzono wyłącznie monitoring, korzyści zostały potwierdzone przez użytkowników końcowych. Wiąże się to z uzyskaniem wiedzy na temat tego, w jaki sposób można ułatwić miastom nadbałtyckim adaptację do zmian klimatu. Ponadto potwierdzono, że wdrożenie modelu pozwoli na uzyskanie wymiernych oszczędności związanych z redukcją szkód powodziowych niemal na każdym obszarze pilotażowym.

Potrzeba zmiany polityki i przepisów

Zalecenia Helcom 23/5, wer.1, dotyczące redukcji przepływu wód z obszarów miejskich poprzez właściwe zarządzanie systemami wody opadowej [19] uwzględniają rozbudowaną listę działań niezbędnych do poprawy wytrzymałości przeciwpowodziowej miast, jak również ograniczenia zanieczyszczeń powodowanych przez nieodpowiednie systemy kanalizacyjne. Obejmują one adaptacyjne planowanie zintegrowanych rozwiązań w zakresie wód opadowych (z uwzględnieniem rozwoju miast i zmieniającego się klimatu) oraz właściwe zarządzanie (w tym wdrażanie różnych środków proaktywnych) w celach adaptacji. Ogólnie rzecz biorąc, prawo krajowe jest spójne z zaleceniami i pozwala na wdrożenie zintegrowanego systemu zarządzania wodami opadowymi zaproponowanego przez Helcom.

Europejski Zielony Ład wiąże ze sobą ambitny Plan działania na rzecz eliminacji zanieczyszczeń [29], który wymaga drastycznego ograniczenia spływu zanieczyszczeń do wód. Ocena obecnej dyrektywy dotyczącej oczyszczania ścieków komunalnych wykazała pewne braki

związane z brakiem zgodności i różnicami procesów wdrażania. Jedną z problematycznych kwestii są przelewy z kanalizacji ogólnospławnej. Ważnym jest uznanie wielorakich celów, jakim służą sieci kanalizacyjne w całej Europie oraz określenie wyraźnych zobowiązań państw członkowskich dotyczących problemu spływów miejskich i przelewów kanalizacji ogólnospławnej tam, gdzie i kiedy mają one znaczący wpływ na zbiorniki końcowe. Przelewy kanalizacji ogólnospławnej muszą być właściwie zaplanowane i przeprowadzane, aby zapobiegać powodziom, minimalizować negatywny wpływ na środowisko wodne i chronić zdrowie publiczne.

Również Strategia UE w zakresie przystosowania się do zmiany klimatu przewiduje inteligentniejszą, szybszą i bardziej systematyczną adaptację [16], której zasady w bezpośredni sposób odpowiadają Koncepcji NOAH dotyczącej zapobiegania powodziom. Koncepcja NOAH może obejmować kilka kroków w iteracyjnych ramach inicjatywy „Climate-Adapt”, zaproponowanych w odniesieniu do miejskiej adaptacji do zmian klimatu w UE [30].



1. Przygotowanie gruntu pod adaptację

2. Ocena zagrożeń związanych ze zmianą klimatu i wrażliwości na nie

3. Określenie wariantów adaptacyjnych

4. Ocena wariantów adaptacyjnych

5. Wdrożenie adaptacji

6. Monitorowanie i ocena adaptacji

Rysunek 21. Narzędzie wspierające adaptację UE „Climate-Adapt” [30].

Jednak miasta nadbałtyckie nadal cierpią z powodu powodzi rzecznych oraz brakuje im środków zarówno na przygotowanie środowiska miejskiego poprzez działania zapobiegawcze, jak i na ustanowienie aktywnych środków ochrony przeciwpowodziowej. W związku z tym ważnym

jest wdrożenie zasady odzyskiwania kosztów (zarządzanie wodą deszczową) i, w miarę możliwości, zachęcanie do wdrożenia rozwiązań opartych na naturze.

Plan wdrożenia Koncepcji NOAH



INTELIGENTNIE

SZYBKO

**BARDZIEJ
SYSTEMATYCZNIE**

1. PRZYGOTOWANIE GRUNTU POD ADAPTACJĘ ZARZĄDZANIE

- Nawiązywanie partnerstw
- Przygotowanie procesu i planowanie zasobów
- Przygotowanie odpowiedniego UDS GIS

2. OCENA ZAGROŻEŃ ZWIĄZANYCH ZE ZMIANĄ KLIMATU I WRAŻLIWOŚCI NA NIE

ŚRODKI PASYWNE DLA USPRAWNIONEGO PLANOWANIA I OGRANICZANIA RYZYKA

- Identyfikacja obszarów zagrożonych powodzią i wielkości powodzi

3. OKREŚLENIE WARIANTÓW ADAPTACYJNYCH

ŚRODKI PASYWNE DLA USPRAWNIONEGO PLANOWANIA I OGRANICZANIA RYZYKA

- Zastosowanie EWL do zapobiegawczego planowania miejskiego
- Zastosowanie EWL do projektowania aktywnych środków łagodzenia skutków powodzi

4. OCENA WARIANTÓW ADAPTACYJNYCH

ŚRODKI PASYWNE DLA USPRAWNIONEGO PLANOWANIA I OGRANICZANIA RYZYKA

- Identyfikacja obszarów zagrożonych powodzią i wielkości powodzi według alternatywnych scenariuszy adaptacyjnych

5. WDROŻANIE ADAPTACJI

AKTYWNE DZIAŁANIA NA RZECZ PRZEJĘCIA KONTROLI I ZAPOBIEGANIA ZANIECZYSZCZENIOM

- Inteligentne siłowniki dla poprawy wydajności UDS
- Monitorowanie w czasie rzeczywistym w celu kontroli i poprawy wydajności

6. MONITOROWANIE I OCENA ADAPTACJI

ZARZĄDZANIE I KIEROWANIE

- Monitorowanie i sterowanie adaptacyjne UDS
- Polityka miast zgodna z adaptacyjnymi środkami UDS
- Powielanie rozwiązań

BIBLIOGRAFIA

1. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks (Text with EEA relevance), vol. OJ L. 2007. Accessed: Aug. 11, 2021. [Online]. Available: <http://data.europa.eu/eli/dir/2007/60/oj/eng>.
2. "Home | Copernicus EMS - European Flood Awareness System." <https://www.efas.eu/en> (accessed Aug. 11, 2021).
3. C. Tapia et al., "Profiling urban vulnerabilities to climate change: An indicator-based vulnerability assessment for European cities," *Ecol. Indic.*, vol. 78, pp. 142–155, 2017, doi: 10.1016/j.ecolind.2017.02.040.
4. C. J. Murray, B. Müller-Karulis, J. Carstensen, D. J. Conley, B. G. Gustafsson, and J. H. Andersen, "Past, Present and Future Eutrophication Status of the Baltic Sea," *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, p. 2, 2019, doi: 10.3389/fmars.2019.00002.
5. "HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration," p. 20, 2013.
6. "HELCOM Thematic assessment of eutrophication 2011-2016. Supplementary report to the HELCOM 'State of the Baltic Sea' report." Accessed: Aug. 16, 2021. [Online]. Available: <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/BSEP128.pdf>.
7. "Combined Sewer Overflows - Kentucky Energy and Environment Cabinet." https://eec.ky.gov/Environmental-Protection/Water/Comp_Insp/combinedseweroverflows/Pages/default.aspx (accessed Oct. 10, 2021).
8. "World Urbanization Prospects - Population Division - United Nations." <https://population.un.org/wup/> (accessed Jun. 08, 2021).
9. "Land and soil in Europe — Ever-sprawling urban concrete? — European Environment Agency", Accessed: Jun. 09, 2021. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2019-content-list/articles/land-and-soil-in-europe>.
10. European Environment Agency, "Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change," European Environment Agency, Publication 12/2020, 2020. Accessed: Apr. 09, 2021. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-in-europe>.
11. "Urban soil sealing in Europe — European Environment Agency", Accessed: Aug. 11, 2021. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/articles/urban-soil-sealing-in-europe>.
12. European Commission. Joint Research Centre., *Urban water atlas for Europe*. LU: Publications Office, 2017. Accessed: Jun. 09, 2021. [Online]. Available: <https://data.europa.eu/doi/10.2788/114518>.
13. R. Schilling W. (Ed.), Green M.J., Hartong H.J.G., Jacquet G., Kido Y., Petersen S.O., "Real-time control of Urban drainage systems the state-of-the-art. IAWPRC Task Group on Real-Time Control of Drainage Systems.," *IWAPRC*, vol. 2, p. 98, 1989.

14. M. Maiolo et al., "On the Use of a Real-Time Control Approach for Urban Storm water Management," *Water*, vol. 12, no. 10, Art. no. 10, Oct. 2020, doi: 10.3390/w12102842.
15. J. Brasil et al., "Nature-Based Solutions and Real-Time Control: Challenges and Opportunities," *Water*, vol. 13, no. 5, Art. no. 5, Jan. 2021, doi: 10.3390/w13050651.
16. EC, "Forging a climate-resilient Europe - the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change." <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0082&-from=EN> (accessed Sep. 19, 2021).
17. "Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." Cambridge University Press.
18. "Urban adaptation to climate change in Europe 2016 — Transforming cities in a changing climate — European Environment Agency." <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-2016> (accessed Aug. 18, 2021).
19. HELCOM, "REDUCTION OF DISCHARGES FROM URBAN AREAS BY THE PROPER MANAGEMENT OF STORM WATER SYSTEMS." <http://helcom.fi/wp-content/uploads/2021/06/Rec-23-5-Rev.1.pdf> (accessed Sep. 19, 2021).
20. O. US EPA, "Storm Water Management Model (SWMM)," May 21, 2014. <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm> (accessed Sep. 01, 2021).
21. A. Jurczyk, J. Szturc, I. Otop, K. Ośródk, and P. Struzik, "Quality-Based Combination of Multi-Source Precipitation Data," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 11, Art. no. 11, Jan. 2020, doi: 10.3390/rs12111709.
22. 14:00-17:00, "ISO 5667-1:2020," ISO. <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/07/23/72369.html> (accessed Sep. 24, 2021).
23. J. Mossdal, "Riktlinjer och riktvärden för utsläpp av förorenat vatten till dagvattennät och recipient," p. 26.
24. L. Warsta et al., "Development and application of an automated subcatchment generator for SWMM using open data," *Urban Water J.*, vol. 14, no. 9, pp. 954–963, 2017, doi: 10.1080/1573062X.2017.1325496.
25. S. Dessai, X. Lu, and J. Risbey, "On the role of climate scenarios for adaptation planning," 2005, doi: 10.1016/J.GLOENVCHA.2004.12.004.
26. H. Santoso, "Climate scenarios: what we need to know and how to generate them," p. 32, doi: <https://doi.org/10.17528/CIFOR%2F002766>.
27. "EVS 848:2013," EVS. <https://www.evs.ee/et/evs-848-2013> (accessed Sep. 01, 2021).
28. "Kliimamuutustega kohanemise arengukava | Keskkonnaministeerium." <https://envir.ee/kliimamuutustega-kohanemise-arengukava> (accessed Sep. 01, 2021).
29. "Zero pollution action plan." https://ec.europa.eu/environment/strategy/zero-pollution-action-plan_et (accessed Sep. 24, 2021).
30. "Home — Climate-ADAPT." <https://climate-adapt.eea.europa.eu/> (accessed Sep. 24, 2021).