

mgr Łukasz KWIECIŃSKI
ITTI Sp. z o.o. w Poznaniu
mgr Grzegorz TABERSKI
ITTI Sp. z o.o. w Poznaniu
Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

System TASK i analiza *WHAT-IF* w zarządzaniu kryzysowym

The TASK System and the *WHAT IF* Analysis in Crisis Management

Omówienie

Niniejsze opracowanie zostało przygotowane w ramach projektu TASK finansowanego ze środków NCBiR. Ma ono na celu dokonanie oceny przydatności narzędzi analitycznych służących do prowadzenia analiz typu *what-if* w zarządzaniu kryzysowym na przykładzie systemu TASK.

W pierwszej części opracowania zdefiniowano pojęcie sytuacji kryzysowej, dokonano jej dekompozycji na najważniejsze elementy oraz przedstawiono opis przykładowej sytuacji. W dalszej kolejności omówiono analizy *what-if* z perspektywy zarządzania kryzysowego i pokazano sposób ich prowadzenia w systemie TASK. Potwierdzeniem powyższych rozważań są opisy dwóch przykładowych analiz *what-if* przeprowadzanych przy użyciu systemu.

Słowa kluczowe: analiza *what-if*, powódź, symulacja, TASK, zarządzanie kryzysowe, virtual learning environment

Summary

The main goal of presented research paper is to rate the utility of analytical tools used in *what-if* analysis in crisis management. The research is based on the TASK system example.

The crisis situation definition has been presented and factorized in the first part of the research paper and an example situation has been described. In the next part of the paper, the use of *what-if* analysis in crisis management has been discussed and an example of its usage in the TASK system has been presented.

The descriptions of two examples of what-if analysis carried out, using the TASK system, confirm the thesis mentioned above.

Key words: crisis management, flood, simulation, TASK system, what-if analysis, virtual learning environment

1. Wstęp

Aplikacje i systemy wspierające zarządzanie kryzysowe to między innymi ARCUS 2005, DART, e-ZK, SWRK ALASKA, C3M, RiZK itd. Trudno wśród nich wskazać takie pozwalające na symulowanie kilku powiązanych ze sobą zjawisk (opisywanych różnymi modelami) i zbiorczą obserwację skutków ich działania dla jednej sytuacji. Dostępne zaawansowane narzędzia są niezależne od siebie, wymagają dodatkowych starań użytkownika w celu zestawienia i porównania uzyskiwanych wyników. Niniejsze opracowanie koncentruje się na przedstawieniu systemu informatycznego TASK (Treningowo-Analitycznego Symulatora zarządzania Kryzysowego), który jest rozwijany w projekcie o tej samej nazwie, finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach inicjatywy INNOTECH. TASK należy do klasy systemów VLE (ang. *virtual learning environment*). Stanowi on wirtualne laboratorium, które może być wykorzystane zarówno w celu doskonalenia procesu podejmowania decyzji, jak i analizy oraz optymalizacji założeń zawartych na przykład w planach zarządzania i reagowania kryzysowego. Pozwala on na poznanie i uświadomienie najważniejszych konsekwencji podejmowanych decyzji, bez konieczności ponoszenia ich w rzeczywistości. W konsekwencji możliwe jest eksperymentowanie w symulowanej sytuacji kryzysowej i wyciąganie z tego wniosków na przyszłość (ang. *lessons learned*), przy uniknięciu realnych strat. System umożliwia uruchamianie symulacji na zasadzie analizy *what-if*, co daje możliwość stawiania hipotez i ich weryfikacji. Cechą tego typu analiz są aspekty zarówno treningowe, jak i analityczne, które z powodzeniem można wykorzystać w szkoleniach pracowników centrów zarządzania kryzysowego. Celem opracowania jest ocena przydatności narzędzi klasy systemu TASK do prowadzenia analizy metodą indukcyjną *what-if*. Są one szczególnie pomocne w momencie weryfikowania skuteczności działań z zakresu zarządzania kryzysowego. Opracowanie omawia także wybrane elementy funkcjonalne systemu, które wynikają ze scenariusza użycia opartego na procesie testowania hipotez *what-if*.

2. Sytuacja kryzysowa

Sytuacja kryzysowa to pojęcie posiadające wiele definicji zależnie od dziedziny, której dotyczy, osób je wykorzystujących i ich funkcji podczas działań antykryzysowych. W celu ujednoczenia tego pojęcia na potrzeby systemu TASK przyjęto następującą definicję:

Sytuacja kryzysowa to stan narastającej destabilizacji, niepewności i napięcia społecznego, będący następstwem pewnego zagrożenia, charakteryzujący się naruszeniem więzi społecznych, możliwością utraty kontroli nad przebiegiem wydarzeń oraz eskalacji zagrożenia, a w szczególności sytuacją stwarzającą zagrożenie dla życia, zdrowia, mienia lub infrastruktury – w takiej skali lub o takim natężeniu, które wywołują reakcje społeczne powyżej akceptowalnego powszechnie poziomu ryzyka¹.

Wychodząc od tak sformułowanej definicji, powtarzające się elementy sytuacji kryzysowej (tj. otoczenie, zagrożenia, przedmioty ochrony, zjawiska, zachowania i postępowanie antykryzysowe), można przedstawić jako części składowe modelu sytuacji. Dane wejściowe, parametry i zmienne sterujące wprowadzone do opracowanego wcześniej modelu spowodują uzyskanie odpowiedniego wyniku. Podyktowane jest to funkcją, jaką pełnią wymienione elementy w symulowanej sytuacji kryzysowej. Można ją opisać następująco: w zamodelowanym otoczeniu, aktorzy poprzez podejmowanie decyzji składających się na postępowanie antykryzysowe zabezpieczają przedmioty ochrony przed zagrożeniami. Podstawę do opisu tak zdefiniowanych elementów sytuacji kryzysowej stanowi technika modelowania. Co więcej, wytworzone zgodnie z powyższą konwencją modele powinny umożliwiać zasymulowanie sytuacji kryzysowej w sposób pełny i jednoznaczny.

2.1. Dekompozycja sytuacji kryzysowej

Przedstawione powyżej podejście wymaga podziału sytuacji na modele. Mogą one zostać opracowane przez ekspertów zajmujących się danym aspektem (np. postępowaniem kryzysowym, obiektami kluczowymi, wpływem zagrożeń na inne modele, specyficznymi kategoriami zagrożeń itp.). W ramach projektu TASK wyróżniono następujące grupy modeli (rys. 1):

- **modele zagrożenia** – charakterystyka zjawiska, wpływ na środowisko, możliwe skutki;
- **modele przedmiotu ochrony** – życie i zdrowie ludzkie, wybrana infrastruktura, obiekty kluczowe;
- **modele postępowania** – środki bezpieczeństwa, służby mogące podjąć działania, procedury działania, możliwe do wykorzystania siły i środki.

Szczegółową listę modeli opracowanych w projekcie TASK w formie diagramu zaprezentowano na rys. 2. Przedstawia on poszczególne modele, oznaczone grubością ramki zgodnie z powyższą klasyfikacją (zagrożenie, przedmiot ochrony i postępowanie), pogrupowane funkcjonalnie na:



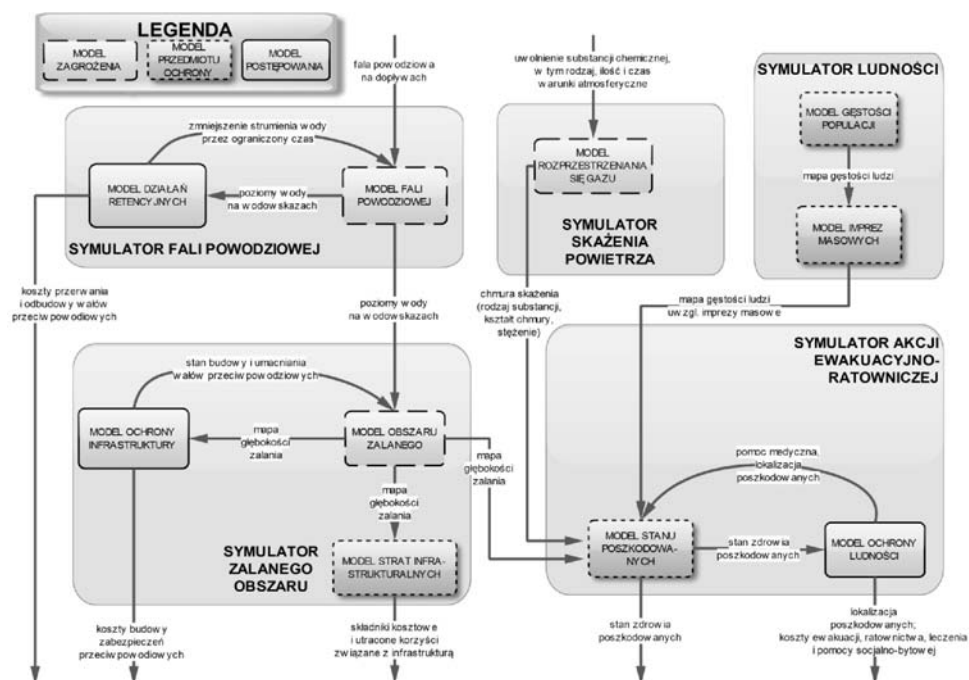
Rys. 1. Rodzaje modeli w systemie TASK

Źródło: opracowanie własne.

¹ Teoria zaczerpnięta w momencie rozpoczęcia projektu ze strony WWW Wielkopolskiego Urzędu Wojewódzkiego w Poznaniu. Tryb dostępu: www.poznan.uw.gov.pl. Znajduje podparcie w książce Gilliland J.: Strategie interwencji kryzysowej, Parpamedia, Warszawa 2008, s. 33–35.

- symulator fali powodziowej zawierający model fali powodziowej i wpływający na niego model działań retencyjnych,
- symulator zabezpieczania infrastruktury zawierający model obszaru zalanego i wpływający na niego model ochrony infrastruktury,
- symulator akcji ewakuacyjno-ratowniczej zawierający wpływające na siebie modele stanu poszkodowanych i ochrony ludności,
- symulator ludności zawierający związane ze sobą modele gęstości populacji i imprez masowych,
- symulator skażenia powietrza zawierający model rozprzestrzeniania się gazu.

Wspomniany podział funkcjonalny umożliwia zdefiniowanie relacji pomiędzy symulatorami oraz określenie, jakie dane będą wizualizowane w interfejsie użytkownika (strzałki skierowane ku dolnej części, rys. 2).



Rys. 2. Modele utworzone w systemie TASK

Źródło: opracowanie własne.

2.2. Hipotetyczny przebieg sytuacji kryzysowej

Przedstawiona poniżej sytuacja stanowi punkt wyjścia dla przykładowego eksperymentu przeprowadzanego w systemie TASK. Wykorzystano w niej hipotetyczny opis wiosennej powodzi roztopowej na Wiśle, grożącej zalaniem Warszawy i towarzyszące jej skutki. Wybrane elementy opisu zostaną wykorzystane w dalszej części opracowania.

Ze stanów wody na wodowskazach w górnym biegu Wisły i jej dopływów wynika, że tworzy się niebezpieczna fala powodziowa. Powagę sytuacji potęgują ciągłe, obfite opady na południowym wschodzie Polski. Członkowie zespołu zarządzania kryzysowego miasta Warszawy i województwa mazowieckiego zastanawiają się, jak optymalnie wykorzystać szanse, które dają zbiorniki retencyjne w dorzeczu Wisły. Korzystając z systemu TASK, analizują sytuację. W efekcie decydują się niezwłocznie rozpocząć opróżnianie zbiorników retencyjnych w całym dorzeczu z maksymalną bezpieczną szybkością, co pozwoli przygotować je na nadejście fali kulminacyjnej. Fala powodziowa powoli przesuwa się na północ, powodując wezbranie wody na odcinku rzeki w województwach świętokrzyskim, lubelskim oraz na południu województwa mazowieckiego.

Używając systemu TASK, członkowie sztabu kryzysowego przewidują moment kulminacyjny dla Warszawy oraz maksymalny przewidywany poziom wody na wodowskazie Wilanów. System przelicza obszar zagrożony zalaniem przy określonym stanie wód. Natychmiast ogłoszona zostaje akcja ewakuacyjna na zagrożonym obszarze. Członkowie zespołu dobierają odpowiednią liczbę służb do ewakuacji konkretnych stref w oparciu o przewidywaną przez system liczbę przebywającej tam ludności. Na podstawie informacji z systemu o wartości infrastruktury miejskiej oraz obiektów kluczowych na obszarze zagrożonym zalaniem, zespół zarządzania kryzysowego planuje lokalizację i techniki wykonania tymczasowych wałów przeciwpowodziowych. Następnie koordynuje dostępne zasoby w taki sposób, by zdążyć z budową umocnień przed nadejściem fali kulminacyjnej.

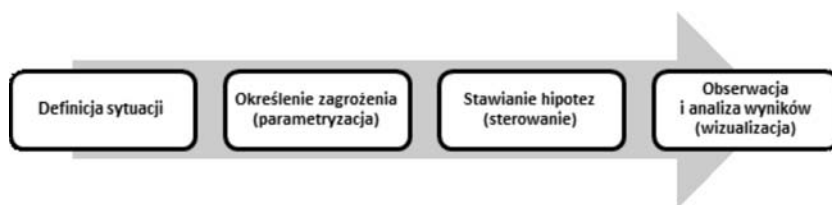
Tymczasem, wskutek zwiększenia zrzutu ze zbiorników retencyjnych, poziom wody w Warszawie podnosi się i przekracza poziom ostrzegawczy. Wprowadzony zostaje stan pogotowia przeciwpowodziowego. Członkowie zespołów zarządzania kryzysowego, korzystając z systemu TASK, analizują konsekwencje wariantywnych momentów otwarcia polderów zalewowych na obszarze województwa mazowieckiego, aby złagodzić główną falę powodziową. Po kilku godzinach Warszawy osiąga fala kulminacyjna. Dochodzi do wystąpienia Wisły z brzegów i w kilku miejscach przerwania wałów przeciwpowodziowych. Woda zalewa kolejne ulice.

Dzięki tymczasowym zaporom ważniejsze miejsca zostają ochronione. Jednak mimo zabezpieczeń, zalany zostaje jeden z warszawskich zakładów chemicznych, gdzie urządzenia ochronne ulegają awarii i do atmosfery uwalnia się znaczna ilość dwutlenku azotu. Związek ten jest silnie toksyczny. Zaalarmowane jednostki Państwowej Straży Pożarnej docierają szybko na miejsce i zapobiegają dalszemu uwalnianiu się substancji. Kolejny problem pojawia się, kiedy z powodu wiatru zachodniego, chmura skażenia przemieszcza się na wschodni brzeg Wisły. System dostarcza informacji o obszarze potencjalnego skażenia i spodziewanej liczbie aktualnie przebywających w tamtym regionie mieszkańców. Po przetestowaniu w systemie planu ewakuacji ludności, zostaje on błyskawicznie wdrożony w życie. Niestety, jeszcze w trakcie przeprowadzania akcji ewakuacyjnej, dochodzi do zatrucia gazem. Członkowie zespołów zarządzania kryzysowego koordynują udział ratowników medycznych, zapewniają pomoc szpitalną oraz socjalno-bytową poszkodowanym. Powoli chmura gazu ulega rozproszeniu, a poziom

wody w Wiśle zaczyna opadać. Zespół, z wykorzystaniem systemu TASK, dokonuje oszacowania strat w ludziach i infrastrukturze oraz kosztów prowadzonych działań.

3. Analiza *what-if*

Analiza *what-if* w systemie TASK polega na zdefiniowaniu serii hipotez składających się z działań antykrzysowych i porównaniu skutków ich zastosowania w ramach symulowanej sytuacji kryzysowej. W takim przypadku ważne jest wskazanie i zamodelowanie relacji zachodzących pomiędzy poszczególnymi zjawiskami, obiektami i zdarzeniami. Jeśli wpływ jednych elementów na inne jest istotny i możliwy do opisanego, to na tej podstawie uzasadnione jest prognozowanie konsekwencji pojawiających się zagrożeń oraz możliwych sposobów ich redukcji. Natomiast skutki są przedstawiane w formie stanów przedmiotów ochrony (np. zmiana wartości, zniszczenie, konieczność odbudowy itp.). W przypadku sytuacji kryzysowych, gdzie występują liczne i trudne do oszacowania powiązania między zjawiskami, a rozproszone i często wybiórcze dane historyczne, istotnie utrudniają efektywne prowadzenie analiz *what-if*, wykorzystanie symulacji zamiast zestawu danych historycznych może okazać się skuteczniejszym substytutem, dostarczającym użytkownikowi dodatkowych informacji i możliwości. Takie podejście pozwala w elastyczny sposób zmieniać warunki wejściowe i na bieżąco obserwować zmiany zachodzące w ramach badanej sytuacji, jednak nie gwarantuje dokładności zestawu danych historycznych.



Rys. 3. Przebieg analizy *what-if* z wykorzystaniem symulacji

Źródło: opracowanie własne.

Wykorzystująca symulację analiza *what-if* powinna odbywać się przy użyciu wirtualnego laboratorium umożliwiającego zmianę parametrów, danych wejściowych i prezentację wyników. Środowisko symulacyjne powinno być oparte na odpowiednich założeniach, ograniczających swobodę opisu badanych zjawisk i jednocześnie zachowujących istotne relacje między tymi zjawiskami. Wspomniane ograniczenia mogą polegać np. na dyskretyzacji czasu, ograniczeniu zakresów wartości dla zmiennych, określaniu warunków zatrzymania. Natomiast analityk korzystający z takiego rozwiązania powinien mieć możliwość obserwowania i porównywania wyników w zależności od podjętych działań.

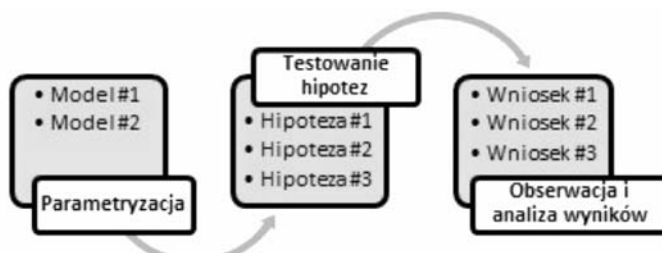
Aby możliwe było przeprowadzenie analizy, niezbędne jest zdefiniowanie sytuacji (poprzez wskazanie czasu, miejsca itd.) i określenie zagrożenia (np. po-

przez podanie parametrów fali powodziowej czy opisu skażenia powietrza). Dopiero na tej podstawie możliwe jest wykonanie dalszych kroków, tj. stawianie hipotez, ich testowanie i wnioskowanie na podstawie obserwowanych wyników.

3.1. Eksperymenty w systemie TASK

System TASK posiada następujące cechy wspierające przedstawioną koncepcję analiz *what-if*:

- **łączenie wyników z wielu symulatorów** – każdy symulator stanowi osobny moduł, opisywany jest danymi wejściowymi, wyjściowymi, parametrami i funkcjami sterującymi, a o jego wywołaniu decyduje kontroler systemu;
- **wyświetlanie wyników w spójnym interfejsie** – w wyniku działania symulatorów aktualizowane są informacje o danych typach obiektów i zjawisk. Komponenty wizualizacyjne pozwalają na jednoczesne wyświetlanie skutków różnych zjawisk w sposób umożliwiający dokonywanie porównań i ułatwiający wskazywanie zależności między poszczególnymi zagrożeniami i ich skutkami;
- **działanie na jednym zbiorze danych** – spójny zbiór danych z jasno określonym interfejsem wymiany pozwala na szybkie i proste wywoływanie zapytań dotyczących badanego zjawiska we wskazanym horyzoncie czasowym;
- **możliwość oceny skutków podjętych działań** – oznacza to zarówno dokonanie oceny z perspektywy jakościowej (np. porównywanie ilości zniszczonych obiektów, liczby osób rannych itp.), jak również finansowej (np. koszty odbudowy, hospitalizacji, działań itp.).



Rys. 4. Cykl prowadzenia analiz w systemie TASK

Źródło: opracowanie własne.

Używanie systemu TASK opiera się na cyklu eksperymentowania zaczerpniętym z metodyk nauk empirycznych². Cykl ten rozpoczyna się po dokonaniu parametryzacji eksperymentu, czyli określeniu jego warunków, polegającego na podaniu parametrów sytuacji, niezmiennych dla całego badania. Etap ten realizuje definicję sytuacji i określenie zagrożenia opisane w punkcie 2.2. Założenie o niezmienności pewnych parametrów w ramach uruchamianych symulacji jest konieczne w związku z określeniem warunków brzegowych rozwiązywanych pro-

² Apanowicz J.: Metodologiczne elementy procesu poznania naukowego w teorii organizacji i zarządzania, Wydawnictwo Diecezji Pelpińskiej „BERNARDINUM”, Gdynia 2000, s. 93–99.

blemów. Nie można weryfikować skutków wystąpienia zagrożenia i podejmowanych działań w ramach zarządzania kryzysowego, jeżeli dla jednych symulacji wprowadzono dodatkowe zjawiska i zdarzenia. Uniemożliwia to porównywanie wyników analiz. Następnie każdy cykl, nazywany w systemie przebiegiem, składa się z wprowadzenia sterowania określającego zakładane działania, symulacji przebiegu sytuacji dla zadanego sterowania i prezentacji wyników symulacji. W ramach wspomnianych cykli odbywa się **testowanie hipotez**. Przykładowa hipoteza może brzmieć w następujący sposób:

Straty generowane działaniami retencyjnymi prowadzonymi w górnym biegu rzeki, np. zalwanie polderów, są mniejsze od ewentualnych strat wynikających z zalania terenów miejskich w dolnym biegu rzeki.

Sposobem na weryfikację hipotezy jest przeprowadzenie kolejnych symulacji (w ramach poszczególnych alternatywnych przebiegów sytuacji), różniących się pewnymi zdarzeniami wynikającymi z decyzji i podejmowanych działań, a następnie dokonanie **obserwacji i analizy uzyskiwanych wyników**. Porównanie wyników poszczególnych przebiegów i pozwala odpowiedzieć na pytanie, czy poszczególne decyzje użytkownika miały wpływ na określone stany końcowe obiektów, zaistniałe zjawiska i zdarzenia symulowanej sytuacji.

Sam TASK nie znajduje optymalnego rozwiązania dotyczącego zadysponowania zasobów ani podjęcia działań, pokazuje jednak konsekwencje każdego z zadanym działań, pozwalając użytkownikowi samemu zdecydować, które rozwiązanie jest najwłaściwsze oraz określić, czy postawiona hipoteza jest prawdziwa.

3.2. Interfejs systemu a cykle eksperymentowania

Interfejs systemu TASK zbudowany jest w oparciu o wyróżnione wcześniej cykle eksperymentowania. Oznacza to, że system przystosowany jest do pracy na dwóch ekranach.

Pierwszy z ekranów, zwany dalej **konfiguratorem**, służy do konfiguracji symulatorów – przygotowania symulacji. Jest on wykorzystywany głównie na etapie parametryzacji eksperymentu i sterowania w ramach testowania hipotez. Składa się z panelów:

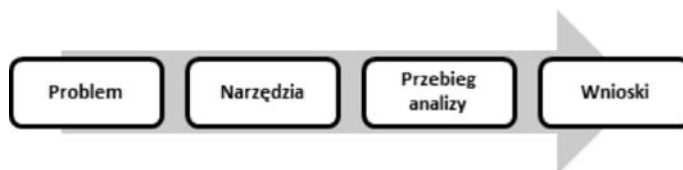
- nawigacyjnego, gdzie użytkownik może przełączać się między widokami symulatorów, na poziomie parametryzacji modeli zagrożeń i przedmiotów ochrony oraz sterowania przebiegami (wpływania na modele postępowania),
- konfiguracji symulatora, gdzie użytkownik podaje wartości poszczególnych zmiennych mających wpływ na omawiane symulatory, w ramach testowania hipotez.

Drugi z omawianych ekranów, zwany dalej **wizualizatorem**, służy do prezentowania wyników symulacji i dalszej ich analizy. Ułatwia on weryfikowanie hipotez, dzięki możliwości wyboru perspektywy (np. topologia rzeki, mapa miasta, tabela strat) oraz wskazania czasu, dla którego dokonywana jest obserwacja. Należy zwrócić uwagę, że wyniki symulacji pozwalają na sprawdzenie stanów po-

średnich zaistniałych dla dowolnego momentu mieszczącego się w przedziale czasu ustalonego dla eksperymentu. Dokonanie zmiany po stronie sterowania na ekranie konfiguratora wymaga ponownego przeliczenia przebiegu – wykonania symulacji – w celu aktualizacji jego wyników na ekranie wizualizatora.

4. Analizy *what-if* wykonywane w systemie TASK

W dalszej części opracowania omówiono wybrane modele opisujące przykładową sytuację kryzysową przedstawioną w podpunkcie 2.2. W oparciu o wskazane modele, przedstawione zostały założenia i przebieg analiz *what-if* pozwalających zweryfikować skutki powodzi w zależności od skali zagrożenia i podejmowanych działań. Omówione analizy związane są z fazami zapobiegania i przygotowania cyklu zarządzania kryzysowego (pozostałe, nieomawiane w opracowaniu fazy to reagowanie i odbudowa).



Rys. 5. Porządek przedstawiania przebiegu analiz

Źródło: opracowanie własne.

Przebieg analiz przedstawiony został zgodnie z porządkiem zaprezentowanym na rys. 5. W pierwszej kolejności definiowany jest problem badawczy i związana z nim hipoteza. Później omówieniu poddawane są wykorzystywane narzędzia (modele), przebieg analizy i wnioski.

4.1. Analiza możliwości przeciwdziałania powodzi

Pierwsza z analiz dotyczy oceny możliwości przeciwdziałania powodzi w głównym biegu Wisły i jej wpływu na straty w Warszawie. Związana jest z fazą zapobiegania.

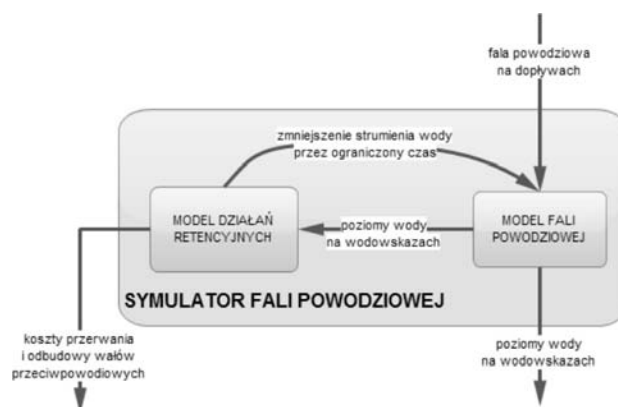
4.1.1. Problemy badawcze w sytuacji powodzi

Stawiane w tym przypadku problemy badawcze są następujące:

- Co stanie się, jeśli dokonam zalania polderów X i Y oraz wykorzystam zbiornik retencyjny Z?
- Jaka będzie wysokość fali w mieście?
- Czy uda się uniknąć zalania kluczowej dla mnie infrastruktury?
- Jakie straty poniosę na terenie polderów w związku z prowadzoną retencją?

4.1.2. Narzędzia w sytuacji powodziowej

Proces testowania hipotez wspierany jest w omawianym przypadku przez modele fali powodziowej oraz działań retencyjnych (rys. 6). Wskazane modele są składowymi symulatora fali powodziowej. Wewnątrz symulatora (między jego modelami), a także między nim a innymi symulatorami zachodzą przedstawione na rys. 6 powiązania. Model fali powodziowej oblicza propagację fali powodziowej na zadanym wcześniej modelu dorzecza obejmującym dopływy, wodowskazy, poldery i zbiorniki retencyjne. W modelu działań retencyjnych zawiera się natomiast sterowanie wspomnianymi polderami i zbiornikami retencyjnymi oraz ocena, czy w wyniku podjętych działań w dorzeczu mogły wystąpić straty.



Rys. 6. Modele opisujące zagrożenie powodziowe i możliwe sposoby postępowania

Źródło: opracowanie własne.

4.1.2.1. Model fali powodziowej

Pierwszy z modeli – **model fali powodziowej** – jest modelem zagrożenia i umożliwia zdefiniowanie wezbrania rzek u źródeł. Oblicza również, jak będą zmieniać się odczyty na wodowskazach w czasie. Oparty jest na topologii dorzecza³ obejmującej rzekę główną, dopływy, zbiorniki retencyjne⁴, poldery⁵ i wodowskazy⁶. Działa on na zasadzie propagacji fali powodziowej, wynikającej z zadanych parametrów. Przyptyw i wysokość fali powodziowej na pewnym wodowskazie x w czasie opisywane są następującymi wzorami:

$$\text{przepływ}(x)_{t+1} \left[\frac{m^3}{S} \right] \quad \text{przepływ}(x)_t \left[\frac{m^3}{S} \right] \quad \text{fala}_t \left[\frac{m^3}{S} \right],$$

³ Atlas hydrologiczny Polski, IMGW, Wyd. Geol., Warszawa, 1986 i 1987.

⁴ Parametry zbiorników retencyjnych, Protokół dostępu: <http://www.pogodynka.pl/polska/hydro/zbiorniki/>

⁵ Parametry wodowskazów wiślanych, Protokół dostępu: <http://www.pogodynka.pl/polska/hydro/wisla/>

⁶ Lokalizacja wodowskazów wiślanych, Protokół dostępu: <http://hydro.bobee.pl/>

$$fala_{t-1}[\frac{m^3}{s}] \quad fala_t[\frac{m^3}{s}] \quad poziom_{bazowy(x)[\frac{m^3}{s}]},$$

gdzie $poziom_{bazowy}$ oznacza domyślny przepływ wody na wodowskazie w sytuacji kiedy nie występuje fala powodziowa. W miejscach, gdzie łączą się dopływy dwóch rzek A i B , wysokość fali opisywana jest wzorem:

$$fala(A, B)_{t-1}[\frac{m^3}{s}] \quad fala(A)_t[\frac{m^3}{s}] \quad fala(B)_t[\frac{m^3}{s}].$$

4.1.2.2. Model działań retencyjnych

Model działań retencyjnych będący modelem postępowania, pozwala wpływać na sposób propagacji fal powodziowych na badanym dorzeczu. Umożliwia określanie harmonogramu zrzutu wody ze zbiorników retencyjnych, podejmowanie decyzji o zalaniu polderu oraz odpowiada na pytanie, ile będą kosztować podjęte działania i jakie spowodują straty⁷. Dzięki jego wykorzystaniu, propagacja fali w pewnych punktach badanej topologii dorzecza opisywana jest dodatkowymi wzorami.

W miejscach, gdzie dochodzi do zalewania polderu, zmodyfikowana fala wynosi:

$$fala_{t-1}[\frac{m^3}{s}] \quad fala_t[\frac{m^3}{s}] \quad wpływ[\frac{m^3}{s}],$$

a wypełnienie polderu w czasie wynosi:

$$wypelnienie(y)_{t-1}[m^3] \quad wpływ[\frac{m^3}{s}] \quad czas_{zalewania[s]},$$

gdzie $wpływ$ oznacza szybkość zalewania polderu, a $czas_{zalewania}$ wskazuje na czas, jaki upłynął od momentu rozpoczęcia zalewania polderu.

Gdy fala powodziowa trafia na zbiornik retencyjny z , zmodyfikowana fala wynosi:

$$fala_{t-1}[\frac{m^3}{s}] \quad zrzut_t[\frac{m^3}{s}],$$

a wypełnienie zbiornika w czasie wynosi:

$$wypelnienie(z)_{t-1}[m^3] \\ (fala_t[\frac{m^3}{s}] \quad przepływ(z)_t[\frac{m^3}{s}] \quad zrzut(z)_t[\frac{m^3}{s}]) \quad czas_{zrzutu(s)}$$

gdzie $zrzut$ oznacza poziom zrzutu wody ze zbiornika, a $czas_{zrzutu}$ wskazuje na czas, jaki upłynął od momentu rozpoczęcia zrzutu na danym poziomie.

4.1.3. Przebieg analizy

Prowadzenie analizy składa się z przeprowadzenia parametryzacji polegającej na zdefiniowaniu wielkości fali powodziowych na wskazanych dopływach rzek

⁷ Bednarczyk R., Jarzębińska T., Mackiewicz S., Wołoszyn E.: Vademecum ochrony przeciwpowodziowej, Gdańsk 2006 Protokół dostępu: http://www.kzgw.gov.pl/files/file/Edukacja/Vademecum_ochrony_przeciwpowodziowej.pdf

w czasie oraz ustaleniu początkowych stanów poszczególnych polderów i startowych parametrów zbiorników retencyjnych. Następnie w ramach kolejnych cykli eksperymentu fala powodziowa jest sterowana za sprawą działań związanych z modelem postępowania – w zadanych momentach otwierane są poldery i zmieniany jest poziom zrzutu ze zbiorników.

4.1.3.1. Model fali powodziowej

Przykładowa parametryzacja eksperymentu oparta na modelu fali powodziowej jest następująca:

1. Określenie bazowego stanu rzeki (bez uwzględniania fali powodziowej).
2. Zdefiniowanie fali powodziowej na poszczególnych dopływach (poprzez serię wartości czas/wysokość), prędkości jej przemieszczania w dół rzeki i innych podstawowych parametrów.
3. Obliczenie kształtu i prędkości fali powodziowej oraz zmian zachodzących w ramach danych elementów rzeki, zgodnie z założeniami modelu.
4. Analiza stanu sieci w czasie obejmująca:
 - sprawdzenie poziomów wody na wodowskazach w czasie,
 - sprawdzenie wypełnienia zbiorników retencyjnych wraz z ich zrzutem w czasie,
 - sprawdzenie, w jakim stopniu zalane zostały poszczególne poldery w czasie,
 - sprawdzenie czy symulacja nie zakończyła się przed czasem np. z powodu zniszczenia zbiornika.

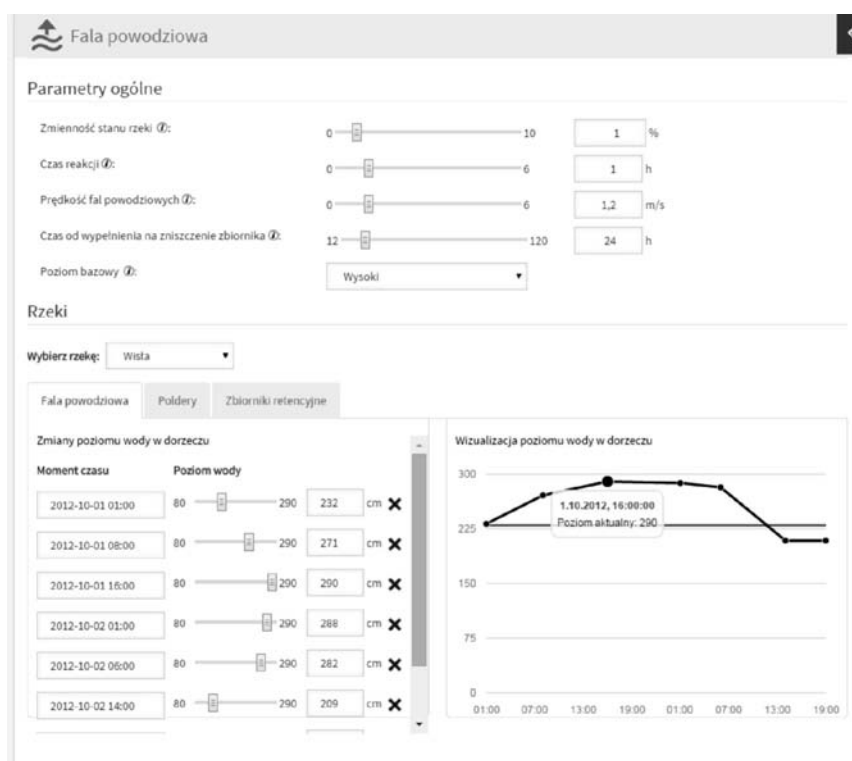
Widok parametryzacji eksperymentu – ustalania parametrów modelu fali powodziowej – przedstawiono poniższym zrzucie ekranu (rys. 7). W jego górnej części ustawiane są parametry globalne eksperymentu, takie jak poziom bazy wody w dorzeczu Wisły. Niżej możliwe jest wprowadzenie kształtu fali na poszczególnych rzekach, a także stanów początkowych polderów i zbiorników retencyjnych.

4.1.3.2. Sterowanie eksperymentem w modelu działań retencyjnych

Przykład sterowania eksperymentem opartego na modelu działań retencyjnych jest następujący:

1. Podjęcie decyzji wpływających na sposób propagacji fali i stan poszczególnych elementów dorzecza poprzez:
 - sterowanie zbiornikami (wprowadzaniu zmian w poziomie zrzutu w zadanych momentach),
 - zarządzanie polderami (rozpoczynanie zalewania polderów w zadanych momentach, bez możliwości wstrzymania zalewania).
2. Ponowne przeliczenie przebiegu, z uwzględnieniem wpływu modelu działań retencyjnych na działanie symulatora fali powodziowej.

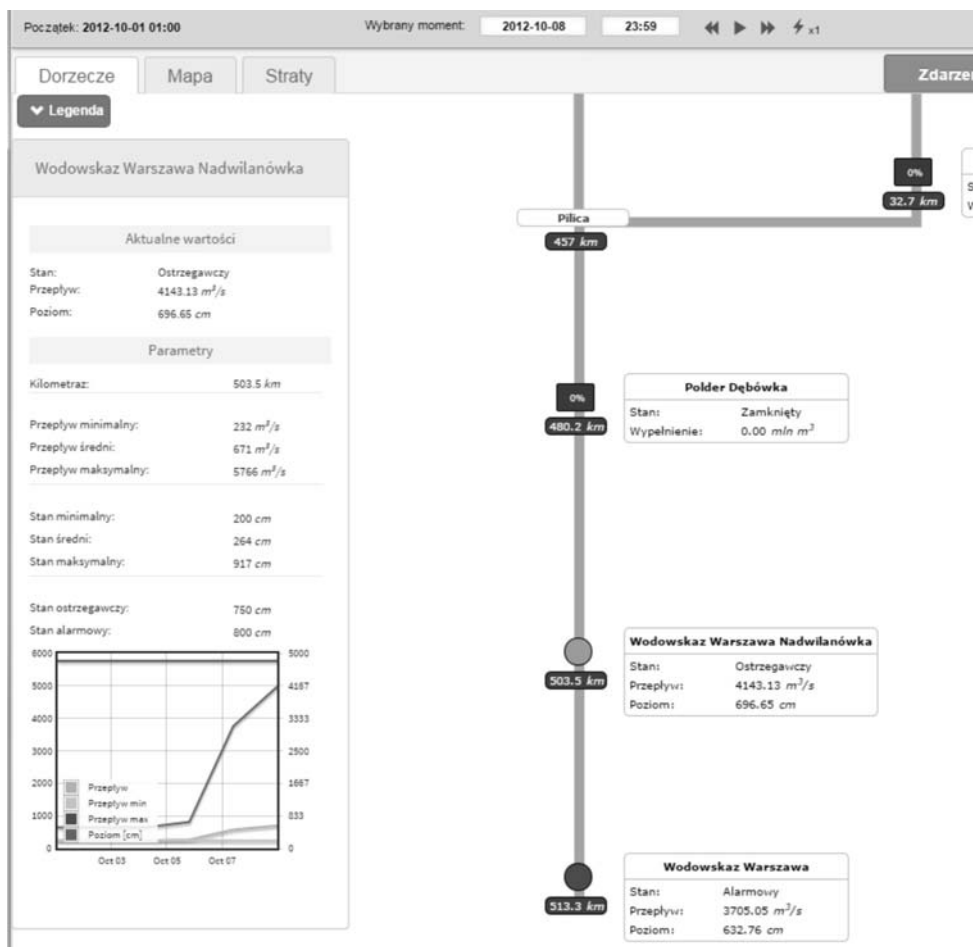
3. Analiza wyników poprzez weryfikację uzyskanych zmian, polegająca na:
 - sprawdzeniu poniesionych strat w relacji do kosztów związanych z wykorzystaniem polderów,
 - sprawdzeniu harmonogramu zrzutów wody ze zbiorników i ich nowego wypełnienia w czasie,
 - sprawdzeniu poziomów wody na poszczególnych wodowskazach w czasie.
4. Ocena skuteczności podjętych działań (w ramach sterowania przebiegiem eksperymentu) i powrót do punktu 2. lub zakończenie eksperymentu.
5. Wyciągnięcie wniosków na podstawie przeprowadzonej oceny i podjęcie decyzji o przyjęciu lub odrzuceniu hipotezy badawczej.



Rys. 7. Widok parametryzacji fali powodziowej w systemie TASK

Źródło: opracowanie własne.

Na zrzucie z ekranu (rys. 8) pokazano wizualizator, na którym wyświetlane są wyniki działania modelu fali powodziowej i wpływającego na niego modelu działań retencyjnych. Użytkownik ma możliwość wskazania momentu, dla którego chce wyświetlić wynik oraz szczegółowe informacje o wybranym elemencie topologii dorzecza.



Rys. 8. Widok wizualizacji wyników fali powodziowej w systemie TASK

Źródło: opracowanie własne.

4.1.4. Wnioski końcowe

Analiza możliwości przeciwdziałania powodzi z użyciem systemu TASK korzystającego z modeli fali powodziowej i działań retencyjnych jest możliwa do przeprowadzenia i pozwala uzyskać wartościowe wyniki, służące jako punkt wyjścia do przeprowadzenia weryfikacji zadanej hipotezy. Użyteczność wyników analizy dostrzegalna jest w kontekście:

- zastosowania polderów i zbiorników w celu modyfikacji wysokości fali powodziowej, a przez to kontrolowania poziomu wody na krytycznych wodowskazach,
- określenia strat wynikających z wykorzystania polderów i ewentualnie późniejszego ich porównania z wartością innej ochronionej infrastruktury.

Model fali powodziowej opracowano na podstawie literatury opisującej topologię rzek⁸, historycznych parametrów wodowskazów i zbiorników⁹, występujących zależności pomiędzy przepływem (m^3/s) a stanem (cm). Podczas użytkowania systemu TASK, zaobserwowano wysoką zbieżność osiąganych wyników z obserwacjami historycznymi, co pozwala wnioskować o jego wiarygodności. Oznacza to osiągnięcie celu prowadzonych analiz, czyli potwierdzenia przydatności systemu TASK do prowadzenia analiz *what-if*.

4.2. Analiza skuteczności zabezpieczania infrastruktury

Druga z analiz dotyczy oceny lokalizacji tymczasowych obwałowań przeciwpowodziowych pod kątem ich skuteczności i kosztów budowy w przypadku pojawienia się zagrożenia powodziowego na terenie Warszawy. Związana jest ona z fazą przygotowania.

4.2.1. Problemy badawcze w sytuacji zabezpieczenia infrastruktury

Stawiane w tym przypadku problemy badawcze są następujące:

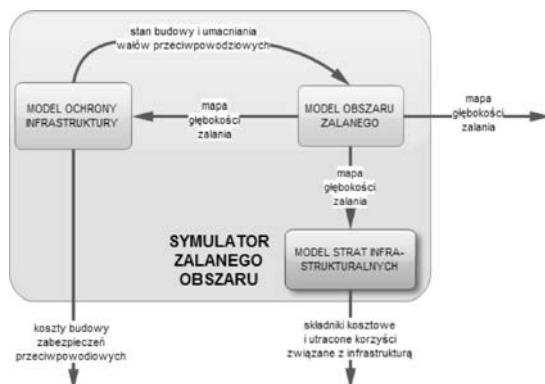
- Co stanie się, jeśli zbuduję tymczasowy wał w miejscu X?
- Czy wał może zostać zbudowany w tym miejscu?
- Co zostanie ochronione? Jaka będzie wartość ochronionych zasobów?
- Jak wybrać metodę budowy?
- Ile będzie kosztować budowa wału X?
- Ile czasu będzie trwać budowa wału X?
- Jakie zasoby powinny być zaangażowane? Jaka metoda będzie najtańsza?
- Czy mam wystarczającą ilość zasobów, by zbudować wał X?

4.2.2. Narzędzia służące zabezpieczeniu infrastruktury

Proces testowania hipotez wspierany jest w omawianym przypadku przez modele obszaru zalanego, ochrony infrastruktury oraz strat infrastrukturalnych (rys. 9). Wskazane modele są składowymi symulatora zalanego obszaru. Model obszaru zalanego odpowiada za zarządzanie aktualnym obszarem zalania w zależności od podjętych działań i wysokości fali powodziowej na wodowskazie. Model ochrony infrastruktury odpowiada natomiast za przygotowywanie tymczasowych obwałowań, ocenę ich skuteczności oraz kosztów budowy. Zajmuje się on również zarządzaniem siłami i środkami, które mogą zostać wykorzystane do budowy wspomnianych obwałowań. Ostatni model przedstawiony na diagramie realizuje element oceny wielkości strat powstałych w wyniku zalania danej powierzchni w obszarze miejskim.

⁸ Atlas podziału hydrograficznego Polski, praca zbiorowa pod kierunkiem Haliny Czarneckiej, IMGW, Warszawa 2005.

⁹ Ibidem.



Rys. 9. Modele opisujące obszar zalania, możliwe sposoby postępowania i ponoszone straty
Źródło: opracowanie własne.

4.2.2.1. Model obszaru zalanego

Pierwszy z modeli – **model obszaru zalanego** – jest modelem zagrożenia i określa obszar zalania miasta w zależności od poziomu rzeki na wodowskazie. Na podstawie wykorzystywanego numerycznego modelu pokrycia terenu¹⁰, pozwala uzyskać informacje o głębokości podtopienia dowolnego obszaru miasta. Algorytm obliczania obszaru zalanego oparty jest na algorytmie rozrostu ziarna (ang. *Flood Fill*), sprawdzającym jeden po drugim siatkę kwadratów 10×10 m,

weryfikując, czy środek kwadratu znajduje się poniżej poziomu lustra wody (rys. 10).



Rys. 10. Algorytm obliczania obszaru zalanego
Źródło: opracowanie własne.

Sprawdzanie rozpoczyna się w pewnym punkcie rzeki i na zasadzie automatu komórkowego rekurencyjnie rozchodzi się we wszystkich kierunkach, aż do trafienia na komórki graniczne. Algorytm uwzględnia również pochylenie terenu, które w przypadku miasta Warszawy jest istotne – różnica między miejscem, gdzie Wisła wpływa do miasta, a miejscem, gdzie wypływa wynosi 9 metrów. Bez odpowied-

¹⁰ Lokalizacja wodowskazów wiślanych, protokół dostępu: <http://hydro.bobee.pl/>

nich przekształceń terenu, działanie modelu kończyłoby się całkowitym zalaniem północnej części miasta. Na rys. 11 pokazany został przykładowy obszar zalania Warszawy przy poziomie wody na wodowskazie Nadwilanówka bliskim 10 metrów. Model zakłada również pewne uproszczenie związane z rodzajem gruntów występujących wzdłuż rzeki, przyjmując, że są one nieprzepuszczalne.



Rys. 11. Przykładowy obszar zalany w Warszawie

Źródło: opracowanie własne.

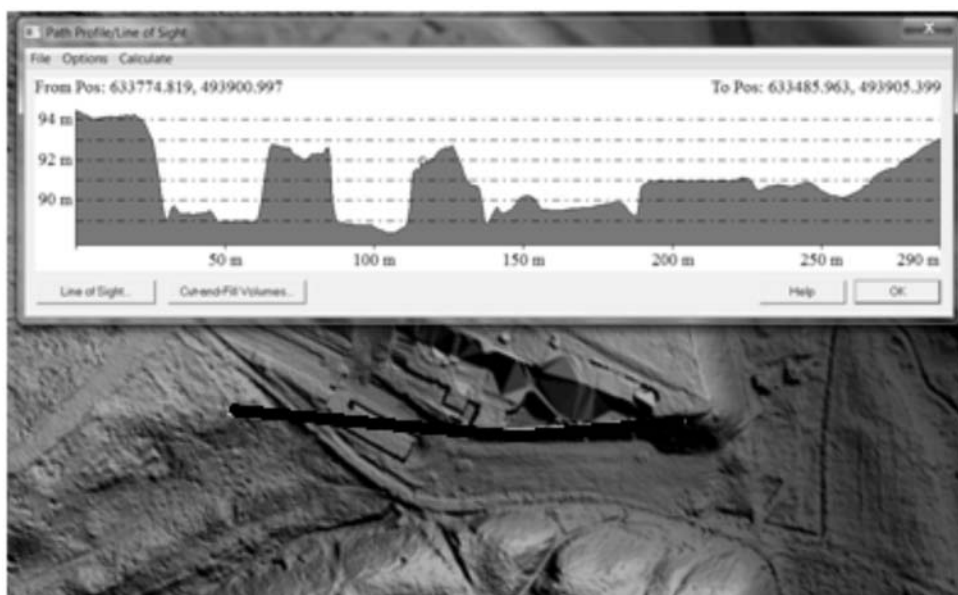
Należy tutaj zaznaczyć, że w opracowanej wersji systemu TASK model ten nie jest przeliczany podczas każdego uruchomienia systemu, lecz polega na danych, które zostały wcześniej wygenerowane zgodnie z przedstawionym algorytmem. Takie podejście umożliwia znaczne przyspieszenia działania systemu, ponieważ obliczanie powierzchni zalania może zająć dużo czasu, gdy obszar ten jest znaczny.

4.2.2.2. Model ochrony infrastruktury

Kolejny model – **ochrony infrastruktury** – pozwala na badanie skuteczności prowadzonych działań przygotowawczych, polegających na budowie tymczasowych obwałowań przeciwpowodziowych¹¹ na terenie miasta w zadanym miejscu i czasie. Uwzględnia on wykorzystanie dostępnych sił i środków w czasie, ich współdzielenie między poszczególnymi działaniami, a także ocenę skuteczności obwałowań i kosztu ich budowy. Model wykorzystuje do obliczeń wartości zmiennych sterujących przekazywane przez użytkownika, którymi są m.in. kształt i poziom gotowości obwałowania, wysokość obwałowania, metoda budowania, rodzaj zespołu czy wykorzystanie agregatów i najaśnic. Model określa

¹¹ Grodzki R.: Zarządzanie kryzysowe Dobre praktyki, ISBN 978-83-7641-560-4, Difin, Warszawa 2012.

koszt prowadzonych działań oraz przekazuje do symulatora zalanego obszaru kształt ochronionego obszaru w zależności od czasu¹². Rys. 12 przedstawia przekrój przykładowego obwałowania (oznaczonego grubą, czarną linią), gdzie wykres prezentuje ukształtowanie terenu. Nietrudno zauważyć, że gdyby obwałowanie miało chronić cały obszar poniżej poziomu 94 metrów, to jego wysokość w niektórych miejscach musiałaby być większa niż 4 metry. Przedstawiony przykład jest abstrakcyjny i ma na celu wyłącznie zobrazowanie, jak rozumiane są obwałowania w ramach modelu.



Rys. 12. Przekrój hipotetycznego obwałowania

Źródło: opracowanie własne.

4.2.2.3. Model strat infrastrukturalnych

Ostatni z modeli symulatora zalanego obszaru – **model strat infrastrukturalnych** – pozwala na określenie strat ponoszonych w konkretnej sytuacji powodziowej. Wykorzystuje on wskaźniki umożliwiające wycenę infrastruktury oraz obszar zalania wraz z głębokością w czasie, generując na tej podstawie tabele wartości strat na danym obszarze w podziale na kategorie.

Model oparty jest na cennikach Sekocenbud¹³ opisujących m.in. koszty prac ziemnych, inwestycyjnych i remontowo-budowlanych, koszty materiałów i prac

¹² Ibidem.

¹³ Źródło informacji stanowiły m.in. Biuletyny cen robót (Biuletyn cen robót ziemnych i inżynierskich BRZ, Biuletyn cen robót budowlanych inwestycyjnych BRB, Biuletyn cen robót instalacyjnych BRI, Biuletyn cen robót elektrycznych BRE, Biuletyn cen robót remontowo-budowlanych oraz zabytkowych BRR), 4 kw. 2013, OWEOB Promocja Sp. z o.o.

ogólnobudowlanych i instalacyjnych, koszty prac odtworzeniowych dla mostów i dróg, wycenę całych obiektów i ich remontów. Wykorzystuje on również wysokość budynków przy szacowaniu strat na ich poszczególnych kondygnacjach¹⁴.

4.2.3. Przebieg analizy

Prowadzenie przedstawionej analizy *what-if* składa się z automatycznej parametryzacji eksperymentu wykorzystującej zmiany poziomu wody na wodowskazie w Warszawie pochodzącej z modelu fali powodziowej. Istnieje również możliwość wprowadzenia własnych wartości, bez korzystania z wyników generowanych przez model fali powodziowej. Następnie w ramach kolejnych cykli eksperymentu (przebiegów) obszar zalany jest modyfikowany w wyniku działań związanych z modelem postępowania – budowane są odpowiednie obwałowania, generujące nowe obszary ochronione. Wyniki kolejnych przebiegów – tj. ponoszone straty – generowane są w wyniku cyklicznego przeliczania się modelu przedmiotu ochrony.

4.2.3.1. Model obszaru zalanego

Przykładowa parametryzacja eksperymentu oparta na modelu obszaru zalanego jest następująca:

1. Pobranie wyników modelu fali powodziowej opisujących zmiany poziomu wody na warszawskim wodowskazie w czasie.
2. Ewentualnie ręczne wprowadzenie kolejnych poziomów zalania w czasie.
3. Przeliczenie modelu operującego na wygenerowanych wcześniej danych i zwrócenie odpowiedniej warstwy zalania dla każdej zmiany wskazania wodowskazu.
4. Wyświetlenie wyników modelu, czyli obszarów dotkniętych powodzią w zadanym momencie, wraz z informacją o głębokości wody.

4.2.3.2. Model ochrony infrastruktury

Przykładowa parametryzacja eksperymentu oparta na modelu ochrony infrastruktury polega na określeniu ilości dostępnych sił i środków oraz kosztów ich użycia, w tym, m.in. worków, piasku, folii, racji żywnościowych, maszyn, agregatów itd.

Przykładowe sterowanie eksperymentu oparte na modelu ochrony infrastruktury jest następujące:

1. Użytkownik wskazuje lokalizację kolejnego wału i czas zakończenia budowy.
2. Użytkownik określa, jaką metodą wał będzie budowany i jakie siły oraz środki zostaną zaangażowane – różne metody charakteryzują się innym zużyciem zasobów i środków.

¹⁴ Baza danych obiektów topograficznych BDOT 10k, CODGiK 2013, Protokół dostępu: <http://codgik.gov.pl/index.php/zasob/baza-danych-obiektow-topograficznych.html> [10.12.2014]

3. System sprawdza, czy wał w danym miejscu może powstać i czy istnieją siły oraz środki konieczne do jego budowy.
4. System oblicza obszar, który został ochroniony przez wał, koszt wykorzystania sił i środków oraz obszar ochroniony przy jego pomocy.

4.2.3.3. Model strat infrastrukturalnych

Model działa zgodnie z przedstawionym poniżej schematem (przy czym krok nr 1 wykonywany jest tylko raz na etapie instalacji systemu):

1. System oblicza straty bazowe, tj. występujące w przypadku braku działań użytkownika. W tym przypadku sprawdzony zostaje obszar dotknięty powodzią oraz następuje obliczenie strat w zależności od stopnia zalania tego obszaru z wykorzystaniem kategorii strat i wartości obiektów szczególnych. Ta czynność jest powtarzana dla wszystkich możliwych poziomów zalania dostępnych w systemie.
2. Wartości strat są modyfikowane na podstawie obszarów ochronionych, obliczonych w modelu ochrony infrastruktury.
3. System wyświetla wyniki modelu w postaci strat w wymiarze finansowym (koszt odbudowy), strat w wymiarze ilościowym (ile obiektów zostało uszkodzonych lub zniszczonych), korzystając z danych z punktu 1 lub 2.

4.2.4. Wnioski

Prowadzenie analiz skuteczności zabezpieczania infrastruktury z wykorzystaniem systemu TASK używające modeli obszaru zalanego, ochrony infrastruktury i strat infrastrukturalnych pozwala weryfikować zadane hipotezy. Omówiona analiza *what-if*, stanowi atrakcyjne narzędzie do, m.in.:

- optymalizacji lokalizacji obwałowania przeciwpowodziowego,
- porównywania różnych metod budowy wałów,
- zarządzania dostępnymi zasobami,
- dokonywania oceny skuteczności obwałowania i jego wpływu na redukcję strat.

Jak pokazano w omawianych przypadkach, analizy mogą być przeprowadzane z wykorzystaniem pojedynczych symulatorów systemu TASK. Istnieje jednak możliwość stawiania dalej idących hipotez, których weryfikacja wymaga użycia kilku powiązanych ze sobą symulatorów. Techniki badawcze oferowane przez systemy typu TASK, stanowią największą wartość dodaną dla procesów testowania hipotez.

Podsumowanie

Podsumowując, wśród charakterystycznych własności systemu TASK, należy wyróżnić:

- **kompleksowość odwzorowanej sytuacji** – symulacja obejmuje zakres od zaistnienia bezpośredniego zagrożenia do końca sytuacji kryzysowej,

- **swobodę w podejmowaniu działań** – możliwość szerokiego parametryzowania sytuacji i precyzyjnego sterowania wieloma rodzajami działań,
- **wszechstronność oceny skutków kryzysu** – wynik uwzględniający wielorakie kategorie strat, użytych sił i środków, zużytych zasobów oraz utraconych korzyści,
- **łatwą roszszerzalność** – architektura oparta na module integratora i konfederacji symulatorów poszczególnych elementów analizowanej sytuacji, która pozwala na dostosowywanie systemu do swoich potrzeb.

Należy również zaznaczyć, że arena działań środowiska TASK może zostać umiejscowiona w dowolnym mieście. Wystarczy wprowadzić do modelu przedmiotu ochrony właściwe dane wejściowe (np. dane geoprzestrzenne, rozmieszczenie ulic, topologię rzeki), na podstawie których zostaną przeprowadzone odpowiednie wyliczenia.

Dopiero po zakończeniu prac nad projektem TASK, system będzie mógł dowieść swej faktycznej wartości użytkowej. Mimo zastosowania pewnych kompromisów i uproszczeń w zakresie działania niektórych symulatorów, wydaje się, że wszystkie symulowane w nich sytuacje kryzysowe z punktu widzenia zarządzania kryzysowego są stosunkowo zgodne z rzeczywistościami.

Literatura

- [1] Apanowicz J.: Metodologiczne elementy procesu poznania naukowego w teorii organizacji i zarządzania, Wydawnictwo Diecezji Pelpińskiej „BERNARDINUM”, Gdynia 2000.
- [2] Atlas hydrologiczny Polski, IMGW, Wyd. Geol., Warszawa, 1986 i 1987.
- [3] Atlas podziału hydrograficznego Polski, praca zbiorowa pod kierunkiem Haliny Czarneckiej, IMGW, Warszawa 2005.
- [4] Baza danych obiektów topograficznych BDOT 10k, CODGiK 2013, protokół dostępu: <http://codgik.gov.pl/index.php/zasob/baza-danych-obiektow-topograficznych.html> [10.12.2014].
- [5] Bednarczyk R., Jarzębińska T., Mackiewicz S., Wołoszyn E.: Vademecum ochrony przeciwpowodziowej, Gdańsk 2006, Protokół dostępu: http://www.kzgw.gov.pl/files/file/Edukacja/Vademecum_ochrony_przeciwpowodziowej.pdf [10.12.2014].
- [6] Biuletyn cen robót (Biuletyn cen robót ziemnych i inżynierskich BRZ, Biuletyn cen robót budowlanych inwestycyjnych BRB, Biuletyn cen robót instalacyjnych BRI, Biuletyn cen robót elektrycznych BRE, Biuletyn cen robót remontowo-budowlanych oraz zabytkowych BRR), 4 kw. 2013, OWEOB Promocja Sp. z o.o.
- [7] Biuletyny scalone (Biuletyn cen asortymentów robót BCA, Biuletyn cen robót drogowych, mostowych i torowych BCD, Biuletyn cen robót przygotowawczych BCP), 4 kw. 2013, OWEOB Promocja Sp. z o.o.
- [8] Biuletyny zagregowane (Biuletyn cen obiektów budowlanych BCO cz. 1 i 2, Biuletyn cen modernizacji i remontów BCM), 4 kw. 2013, OWEOB Promocja Sp. z o.o.
- [9] Błyskawica 12/2013, Informacja miesięczna o stawkach robocizny oraz o cenach wybranych robót, materiałów i sprzętu, OWEOB Promocja Sp. z o.o.

- [10] Gilliland J.: Strategie interwencji kryzysowej, Parpamedia, Warszawa 2008.
- [11] Grodzki R.: Zarządzanie kryzysowe Dobre praktyki, Difin, Warszawa 2012.
- [12] Kliczko A., Komorowski M., Koško R.: Ocena możliwości lokalizacji suchych polderów w dorzeczu Wisły Środkowej – stan wiedzy i kierunki działań, Hydroprojekt Sp. z o.o. 2012.
- [13] Lokalizacja wodowskazów wiślanych, Protokół dostępu: <http://hydro.bobee.pl/> [10.12.2014].
- [14] Numeryczne dane wysokościowe ASCII XYZ, CODGiK 2013, protokół dostępu: <http://codgik.gov.pl/index.php/zasob/numeryczne-dane-wysokosciowe.html> [10.12.2014].
- [15] Parametry wodowskazów wiślanych, Protokół dostępu: <http://www.pogodynka.pl/polska/hydro/wisla/> [10.12.2014].
- [16] Parametry zbiorników retencyjnych, protokół dostępu: <http://www.pogodynka.pl/polska/hydro/zbiorniki/> [10.12.2014].
- [17] Protokół dostępu: <http://www.mazowieckie.pl/pl/urząd/urząd-województwa/województwo/bezpieczenstwo-powodzi/bezpieczenstwo-powodzi/archiwum/2011/ekspertyzy-2011/10194,dok.html> [10.12.2014].
- [18] Winter J., Chudy Ł., Marcinkowski M.: Program ochrony przed powodzią w dorzeczu górnej Wisły, 2010, protokół dostępu: <http://www.malopolska.uw.gov.pl/doc/ProgramochronyprzedpowodziawdorzeczugornejWisly.pdf> [10.12.2014].