

JERZY BERTRANDT

Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii

ARKADIUSZ NETCZUK, TADEUSZ NOWICKI, TOMASZ TARNAWSKI

Wydział Cybernetyki
Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie

Modelowanie, symulacja i analiza procesu rozwoju epidemii chorób przenoszonych drogą pokarmową

1. Wstęp

Wspomaganie informatyczne modelowania procesów związanych z rozwojem chorób jest coraz popularniejsze¹, powstają implementacje związane z modelowaniem ścieżek klinicznych². W niniejszym artykule została pokazana implementacja symulatora programowego służącego generowaniu możliwych przebiegów epidemii chorób przenoszonych drogą pokarmową. W procesach generowania epidemii są rozpatrywane następujące patogeny powodujące stany chorobowe³: bakterie *E. coli*, bakterie wąglika, bakterie cholery, bakterie salmonelli, bakterie shigielli, toksyny botulinowe (jad), toksyny gronkowcowe, toksyny rycynowe (jad) oraz toksyny campylobacter.

¹ G. Bliźniuk, *Koncepcja implementacji warunków interoperacyjności systemu ścieżek klinicznych i elektronicznego rekordu pacjenta*, „Biuletyn” Instytutu Studiów Informatycznych, nr 6, Warszawa 2010, s. 1–10.

² R. Waszkowski, A. Chodowska, *Modele procesów z wykorzystaniem ścieżek alternatywnych wykorzystywanych w zależności od rezultatów działania podsystemów wspomagania decyzji opartych na modelach dynamicznych oraz symulacji komputerowej*, w: *Modelowanie i symulacja procesów oraz określenie komputerowo wspomaganych procedur w zakresie zarządzania ryzykiem bezpieczeństwa żywności i żywienia*, red. J. Bertrandt, K. Lasocki, BELStudio, Warszawa 2012, s. 890–919.

³ A. Netczuk, T. Nowicki, T. Tarnawski, J. Bertrandt, *Modeling and Simulation of Food-Borne Epidemic Spread*, 11th European Nutrition Conference FENS, Madrid, 26–29 October 2011.

Nośnikami patogenów są w tym przypadku żywność zwierzęca i roślinna lub woda przenoszące patogeny i dostające się do drogi pokarmowej osobników. Nośniki te mają różnego typu atrybuty, w tym wielkość substancji z patogenami, ich rozmieszczenie, drogi dystrybucji itd. Rozpatruje się przy tym model terytorialny rozwoju epidemii. Możliwe są trzy poziomy rozprzestrzeniania się substancji: hurtownie, sklepy oraz ośrodki żywienia zbiorowego (lub rodzinnego).

Zbudowany został symulator programowy⁴, w którym symuluje się powstanie i rozprzestrzenianie się epidemii chorób przenoszonych drogą pokarmową. Użyty mechanizm symulacji jest mechanizmem krokowym. Mamy tu do czynienia z symulacją krokową z możliwością interakcji w zakresie przeciwdziałania epidemii. Model ten wynika stąd, że model rozprzestrzeniania się epidemii jest rozwinięciem modelu epidemii chorobowej, terytorialnej konstruowanego na podstawie modeli komórkowych z modyfikacją dotyczącą wprowadzenia elementów losowości i wpływu aktywności osobowych i inwestycji finansowych na wybrane elementy modelu.

Elementy losowości w modelu rozprzestrzeniania się i przeciwdziałania epidemii są następujące: liczba ognisk epidemicznych, wielkość masy substancji z patogenem, intensywność zachorowań wewnątrzregionalnych, intensywność zachorowań międzyregionalnych, wpływ finansowania działań przeciwepidemicznych na rozwój epidemii (na pozostałą masę nośnika) oraz wpływ działań zespołów osobowych na pozostałą masę nośnika i na zmniejszenie intensywności zachorowań. Uzyskuje się w ten sposób możliwość badania charakterystyk wpływu działań przeciwepidemicznych na rozwój epidemii.

W symulatorze pamiętane jest to, z jakiego źródła pochodzi substancja powodująca dane schorzenie, można taką cechę przypisać również do chorego; można też w danym punkcie obszaru notować przepływ substancji z patogenem oraz liczbę zachorowań związanych z danym źródłem. Chory jest zatem związany z ogniskiem chorobotwórczym, co jest pamiętane w symulatorze. Kontrolowana jest też ilość substancji w poszczególnych ogniskach. Symuluje się przy tym proces docierania inspektorów sanitarnych do chorych i do poszczególnych ognisk. Blokuję się wtedy substancję pozostałą w ognisku, zapamiętując tę daną wraz z chwilą rozpoznania ogniska. Pod uwagę jest brany aspekt upływu czasu (wbudowany własny czas symulacji), symulator daje wtedy sygnał do użytkownika o odkryciu ogniska i przecięciu drogi szerzenia. Na etapach pracy symulatora

⁴ A. Netczuk, T. Nowicki, T. Tarnawski, *Symulator epidemii chorób przenoszonych drogą pokarmową*, XVIII Warsztaty Naukowe PTSK „Symulacja w badaniach i rozwoju”, Zakopane, 26–28 września 2011.

(krokach) dana jest możliwość podjęcia decyzji o tym, kiedy prosić o wsparcie w postaci ludzi lub środków materialnych, z kim i w jakich punktach przeprowadzać wywiady oraz co kontrolować, szukając ognisk.

Symulator zachowuje historię rozwoju choroby: oznaki, zagrożenia oraz przebieg epidemii. Ustalone są charakterystyki czasowe kontroli i zabiegów sanitarnych. Można symulować jednoczesne działanie kilku różnych patogenów. Istnieje możliwość zatrzymania symulatora i oglądu stanu rozwoju choroby, historii rozwoju choroby itp.

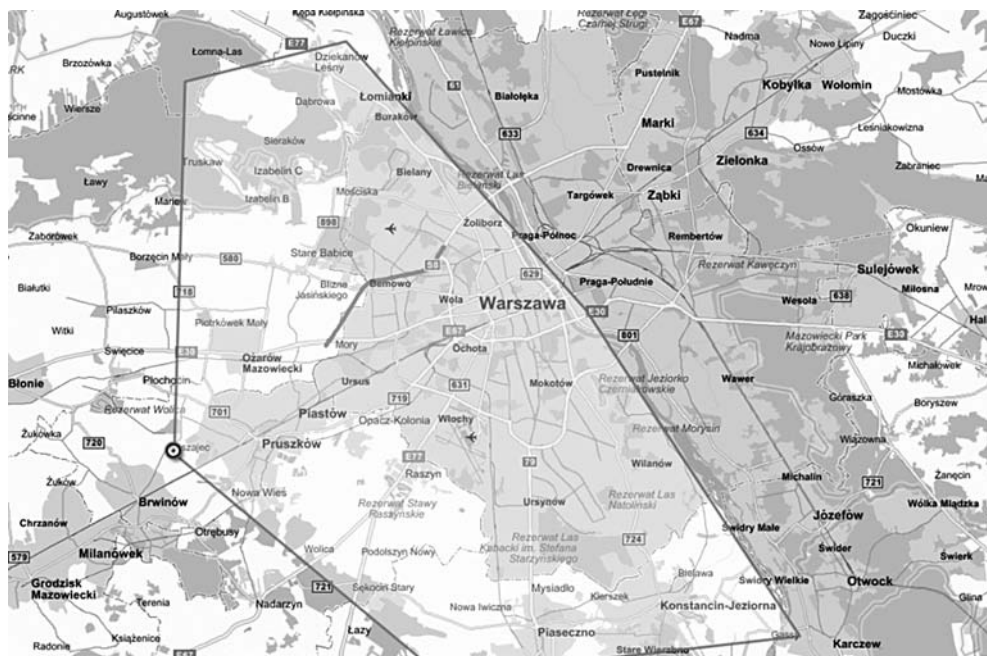
Istnieje też możliwość przerywania pracy symulatora i wszczęcie jego działania (nawet kilkukrotne) przy innych wartościach parametrów lub wyświetlania różnych rodzajów charakterystyk, w tym: liczby chorych w całym obszarze lub z podziałem na punkty obszaru; liczby chorych z podziałem na punkty obszaru oraz informacją, z jakiego źródła było zachorowanie; liczby chorych z podziałem na punkty obszaru i wiek lub płeć chorych; liczby kontroli w obszarze w dniach z zaznaczeniem odkrycia ognisk; liczby odkrytych ognisk wraz z lokalizacją w kolejnych dniach rozwoju epidemii itp.

2. Charakterystyka procesów rozprzestrzeniania się epidemii chorób przenoszonych drogą pokarmową

Przyjmijmy, że mamy określony teren, do którego odnosić się będzie model pojawiania się symptomów i dalej rozwój epidemii dla wybranego patogenu. W tym przypadku zaznaczono na mapie część powiatu zlokalizowanego w województwie mazowieckim (rysunek 1). W obszarze tym wyodrębnia się pewne punkty charakterystyczne zawierające skupiska ludności. Wśród tych grup ludzi pojawiają się zachorowania wynikające z tego, że w dystrybuowanej żywności znajduje się patogen powodujący choroby przenoszone drogą pokarmową. Ze względu na działanie symulatora i badanie charakterystyk rozwoju epidemii nie ma żadnego znaczenia to, jaki obszar zostanie uwzględniony w rozważaniach. Istotne jest tu jednak określenie kompletu danych opisujących z odpowiednią dokładnością środowisko, w jakim prowadzi się badania nad rozwojem epidemii i jej przeciwdziałaniem.

W ramach tych działań przeciwepidemicznych rozpatruje się liczne, szczegółowe procesy: powiadamianie o zachorowaniach drogą pokarmową; działania po rejestracji zachorowań drogą pokarmową; analizę zakażenia (epidemii) w określonym obszarze; analizę możliwych źródeł zakażenia (epidemii); określenie

potencjalnej ilości substancji z patogenem; planowanie działań służb sanitarnych w przypadku zakażenia lub epidemii; działania przeciw zakażeniu lub przeciw-epidemiczne; powiadamianie służb i władz; kontrolę stanu w czasie trwania epidemii; sposoby ewidencjonowania działań służb sanitarnych; ratownictwo przeciwepidemiczne; zlecenie i realizację utylizacji substancji z patogenem oraz wykonywanie rutynowych kontroli⁵.



Rysunek 1. Obszar, którego dotyczy dokonywana analiza rozwoju epidemii

Źródło: opracowanie własne.

Na terenie powstania epidemii są również lokalizowane punkty charakterystyczne dla procesów dystrybucji żywności (rysunek 2). W obszarze rozpatrywanym znajdują się punkty dystrybucji żywności trzech poziomów:

- poziom 1 – są to punkty (duże magazyny, hurtownie itd.), gdzie pojawić się może pewna pierwotna ilość substancji z patogenem w dalszym procesie dystrybucji przesyłanej do punktów drugiego poziomu,

⁵ R. Waszkowski, A. Chodowska, *Architektura, konfiguracja i parametryzacja środowiska informatycznego dla modelowania i planowania w środowisku webowym z dostępem przez Internet*, w: *Modelowanie i symulacja procesów oraz określenie komputerowo wspomaganych procedur w zakresie zarządzania ryzykiem bezpieczeństwa żywności i żywienia*, red. J. Bertrandt, K. Lasocki, BELStudio, Warszawa 2012, s. 865–869.

- poziom 2 – są to punkty (megasklepy, magazyny żywności itd.), do których pozyskiwana jest żywność z pierwszego poziomu w postaci pewnej ilości substancji z patogenem w dalszym procesie dystrybucji przesyłanej do punktów trzeciego poziomu,
- poziom 3 – są to punkty (sklepy, restauracje, detaliczne punkty sprzedaży żywności itd.), do których pozyskiwana jest żywność z drugiego poziomu w postaci pewnej ilości substancji z patogenem sprzedawanej indywidualnym nabywcom.

W rozpatrywanym obszarze znajdują się też miejsca dyslokacji służb sanitarnych, w tym miejsca przebywania pracowników służb sanitarnych (rysunek 2).



Rysunek 2. Analizowany obszar z zaznaczeniem punktów dystrybucji żywności i stacjonowania służb sanitarnych

Źródło: opracowanie własne.

Podstawowym zadaniem inspektorów sanitarnych w systemie analizy rozwoju epidemii chorób przenoszonych drogą pokarmową i wspomaganie decyzyjnego jest opracowanie symulatora rozwoju epidemii. Zadanie to jest o tyle ważne, że jego efekt pozwoli na określenie podstawowych charakterystyk dynamicznych rozwoju epidemii. Rozwój epidemii, w tym epidemii chorób przenoszonych drogą pokarmową, cechuje się tym, że jej liczne charakterystyki mają charakter losowy. Powoduje to naturalną potrzebę zbudowania symulatora rozwoju epidemii. Właśnie losowość pewnych zjawisk nie pozwala na określenie statycznych algorytmów rozwoju epidemii. Modele rozwoju epidemii znane z literatury mają charakter modeli złożonych z układów równań różniczkowych, których implementacja nie

jest łatwa w realizacji. Ponadto, uwzględnienie losowości wybranych wielkości w modelu sprawia, że układ równań różniczkowych dla opisu epidemii staje się na tyle złożony, że nie gwarantuje uzyskania modelu możliwego do implementacji.

Modele symulacyjne rozwoju zjawisk mają tę zaletę, że pozwalają uzyskać duży stopień adekwatności modelu do istniejącej rzeczywistości i jednocześnie ich implementacja jest efektywnie realizowalna. Przez to ostatnie rozumie się uzyskanie oprogramowania, które uwzględnia większość zjawisk obserwowanych w rozwoju epidemii chorób przenoszonych drogą pokarmową oraz jest na tyle szybkie, że daje oczekiwane wyniki w postaci żądanych charakterystyk rozwoju epidemii. Należy przy tym pamiętać, aby oprogramowanie to spełniało pewne istotne założenia, np. związane z jego interoperacyjnością⁶. Istotne są również założenia odnośnie do architektury oprogramowania dla szczególnych⁷ i ogólnych⁸ przypadków projektowych.

3. Wymagania funkcjonalne dotyczące symulatora rozprzestrzeniania się epidemii

W symulatorze muszą być pokazane właściwe procesy występujące w rozwijającej się epidemii chorób przenoszonych drogą pokarmową, jak również muszą być odzwierciedlone działania przeciwepidemiczne realizowane przez służby sanitarne. W trakcie epidemii wywołanej patogenem inspektorzy sanitarni zatrudnieni w danym państwowym powiatowym inspektoracie sanitarnym muszą odbywać wywiady ze zgłoszonymi przez personel medyczny osobami (pacjentami), dla których testy na wywołanie choroby określonym patogenem są potwierdzone przez stosowne służby medyczne i laboratoryjne. Na podstawie wywiadów inspektorzy sanitarni dokonują również kontroli obiektów, które mogą być ogniskami rozprzestrzeniania się epidemii.

Niezbędne zatem stało się opracowanie założeń do konstrukcji symulatora programowego odnoszącego się do rozwoju epidemii oraz do prac inspektorów

⁶ G. Bliźniuk, *O kilku warunkach zapewniających interoperacyjność systemów informacyjnych i informatycznych*, „Biuletyn Instytutu Studiów Informatycznych”, nr 3, Warszawa 2009, s. 13–18.

⁷ T. Górski, *Architektura platformy integracyjnej dla elektronicznego obiegu recept*, „Roczniki” Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, z. 25, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2012, s. 67–84.

⁸ T. Górski, *Architectural view model for an integration platform*, „Journal of Theoretical and Applied Computer Science” 2012, vol. 6, no. 1, s. 25–34.

sanitarnych podejmowanych w trakcie rozwoju i trwania epidemii. Zostały tu również podane elementy projektu symulatora rozwoju epidemii chorób przenoszonych drogą pokarmową.

Wymagania funkcjonalne odnoszące się do uwzględnienia podstawowych własności rozwoju epidemii w procesie jej symulacji oraz działań inspektorów sanitarnych w czasie trwania epidemii dotyczą szeregu zjawisk, obiektów, wielkości lub charakterystyk, które mają istotny wpływ na opis jej rozwoju. Podstawowy obszar, na którym analizowany będzie rozwój epidemii, to powiat. Wynika to z faktu, że jest to podstawowy element organizacyjny w strukturze służb sanitarnych kraju.

Model powiatu powinien uwzględniać miejsca: skupisk ludzi (są to jednocześnie miejsca rejestrowania zmian w liczbie osób zakażonych), dystrybucji żywności, ujęć wody, zbiorowego żywienia itd. Trzeba pamiętać, że dla efektywności podstawowych procedur oprogramowania symulatora powinna obowiązywać w pewnym stopniu agregacja uwzględnianych charakterystyk. W symulatorze powinna istnieć możliwość wyboru patogenu, dla którego chcemy przeprowadzić eksperymenty symulacyjne. Powinien być również możliwy wybór typu substancji, w której usadowiony jest patogen: żywność roślinna, żywność zwierzęca lub woda.

W opisie eksperymentu symulacyjnego powinna istnieć możliwość ustalania lub losowania: liczby i rozmieszczenia ognisk rozwoju epidemii, wielkości substancji (nośnika chorobowego), ścieżek dystrybucji żywności lub wody, wartości charakterystyk pozyskiwania zakażonej żywności przez ludzi, czasu wylęgania się choroby przenoszonej drogą pokarmową charakterystycznego dla danego patogenu oraz przypadków chorobowych u ludzi z terytorialnym rozmieszczeniem w rozpatrywanym powiecie.

Jeśli w trakcie eksperymentu symulacyjnego rozwoju epidemii nie będzie zapobiegania rozwojowi epidemii, to wielkość rozwoju choroby jest ograniczona wielkością substancji (taki wariant jest dobry do ilustrowania skutków bez działań zapobiegawczych). W symulatorze powinny istnieć ujęte w opracowanych procesach biznesowych elementy modelu działań zapobiegawczych inspektorów sanitarnych. Należy też uwzględnić wykonywanie przez inspektorów sanitarnych wywiadów wśród chorych, biorąc pod uwagę rozkład prawdopodobieństwa czasu trwania takiego wywiadu. W symulatorze powinny być uwzględnione: drogi szerzenia (przemieszczanie substancji z patogenem), tj. wskazanie miejsc przesłania substancji do punktów dystrybucji (ogniska wtórne); ilość substancji z patogenem przez losowanie: substancja (ile) – wysłana (gdzie) i niewysłana (pozostająca w ognisku podstawowym); zobrazowanie efektów przerwania

dróg szerzenia, likwidacji ognisk (informacje wyświetlane na żądanie w trakcie i po przebiegu eksperymentu symulacyjnego); dochodzenie przez inspektorów sanitarnych do ognisk epidemicznych wskazanych przez pacjentów w wywiadach oraz badanie przez inspektorów sanitarnych ognisk epidemicznych w obiektach wskazanych przez pacjentów w wywiadach, przy uwzględnieniu rozkładu prawdopodobieństwa czasu trwania badania (kontroli) obiektu. Musi być również uwzględniony fakt przerywania przez inspektorów sanitarnych dróg szerzenia się epidemii. Do tej charakterystyki danego powiatu można dodać sugestię powstania zagrożenia epidemicznego lub epidemii (dwa progi). W symulatorze należy uwzględnić losową strukturę zachorowań w podziałach na miasto i wieś, wiek oraz płeć. Musi być losowany czas wyodrębnienia patogenu na skutek badań laboratoryjnych, co w znaczący sposób przyspiesza proces zapobiegania rozwojowi epidemii.

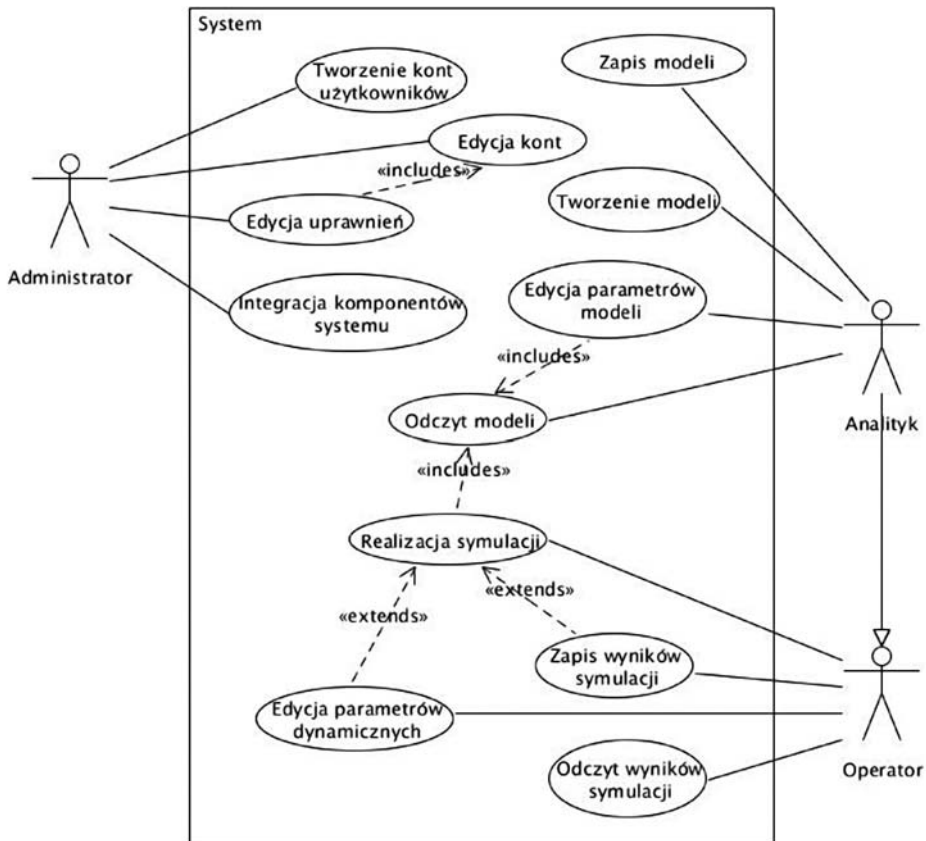
W efekcie działania symulatora powinny być uzyskiwane krzywe zachorowań (liczba ludzi, miejsce w powiecie, przedziały wiekowe itd.). Należy także uwzględnić stan chorych: leczenie w domu, szpitalne, leczenie w warunkach izolacji itd. W symulatorze powinna istnieć możliwość pokazywania efektów epidemii: przypadki leczenia domowego chorych, hospitalizację lub zgon. W oprogramowaniu korzystającym z symulatora powinna być uwzględniona powtarzalność eksperymentów i podawanie charakterystyk zbiorczych. W symulatorze warto uwzględnić dodatkowe siły i środki przeznaczone do zwalczania zagrożeń epidemicznych lub epidemii. Powinna zostać przewidziana również taka sytuacja, gdy czynnik etiologiczny (patogen) nie zostanie poznany. Ponadto, należy uwzględnić to, że analityk może pokusić się o generowanie nie tylko jednej choroby w rozpatrywanym obszarze.

4. Projekt symulatora rozprzestrzeniania się epidemii chorób przenoszonych drogą pokarmową

W celu zapewnienia prawidłowego funkcjonowania systemu wyróżniono następujące role użytkowników: administrator, analityk i operator. Każdy z aktorów ma swoje ściśle określone role (rysunek 3):

- **administrator** – osoba odpowiadająca za zapewnienie dostępu do aplikacji docelowym użytkownikom według ich kompetencji (tj. tworzenie kont użytkowników oraz przypisywanie uprawnień) oraz integralności wszystkich komponentów systemu;

- **analityk** – osoba odpowiedzialna za przygotowywanie i utrzymywanie modeli rozwoju epidemii; do zadań tego użytkownika należy m.in. określanie statycznych parametrów modeli chorób i patogenów; poprzez statyczne parametry należy rozumieć wielkości charakterystyczne, takie jak czas wylegania choroby bądź zjadliwość patogenu;
- **operator** – osoba przeprowadzająca proces symulacji w celu uzyskania pożądaných wyników potrzebnych w trakcie realizacji procesów biznesowych; do uprawnień tej osoby należy m.in. uruchamianie symulacji, zmiana parametrów dynamicznych symulatora, zapisywanie otrzymanych wyników symulacji; parametry dynamiczne należy rozumieć jako definiowanie ogniska początkowego, wielkości pojedynczego kroku symulacji, podejmowane kroki zmierzające do zahamowania epidemii.



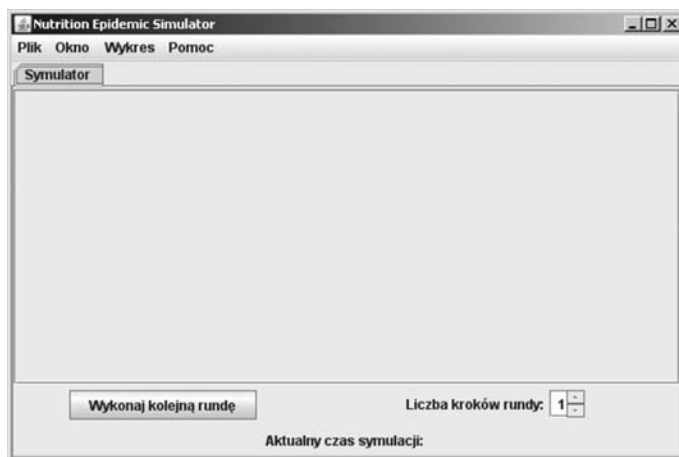
Rysunek 3. Diagram przypadków użycia symulatora rozprzestrzenienia się epidemii

Źródło: opracowanie własne.

Administrator musi mieć możliwość tworzenia, kasowania i zapisywania danych kont użytkowników. Administrator nie może skasować swojego konta. Analityk musi mieć możliwość zarządzania modelami (tworzenie, edycja i zapisywanie modeli). Ponadto, analityk musi mieć możliwość uruchamiania symulacji w celu sprawdzenia poprawności wprowadzonych modeli (czyli posiada uprawnienia operatora). Operator, jako podstawowy odbiorca systemu, musi mieć możliwość uruchamiania symulacji, tj. wprowadzania danych wejściowych, dokonywania wyboru modelu epidemii, wykonywania kolejnych kroków symulacji (m.in. podejmowania działań) oraz zapisu wyników.

5. Implementacja symulatora NES rozprzestrzeniania się epidemii chorób przenoszonych drogą pokarmową

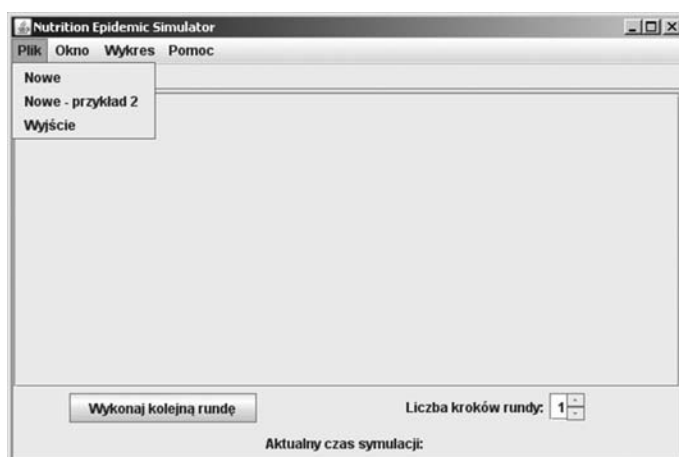
Nazwa aplikacji NES, stanowiącej symulator zdarzeniowy (krokowy) rozwoju epidemii oraz jej przeciwdziałania, powstała od angielskiej nazwy Nutrition Epidemic Simulator. Aplikacja pozwala na ustawienie podstawowych wartości parametrów eksperymentów symulacyjnych. W oknie głównym aplikacji (rysunek 4) na belce z podstawowymi poleceniami mamy możliwość wyboru opcji: Plik, Okno, Wykres oraz Pomoc. Ponadto, na dole okna głównego umieszczono przycisk, który pozwala na uruchomienie pojedynczego etapu symulacji. Mówi się tu o etapie symulacji, ponieważ z prawej strony okna głównego na dole umieszczony jest przycisk, za pomocą którego można zdefiniować to, co rozumie się w danym eksperymencie przez pojedynczy etap (rundę). Zakłada się tu, że etap składa się z pewnej liczby kroków. Przez pojedynczy krok rozumie się w tym przypadku podstawową jednostkę upływu czasu symulacyjnego (pojedynczego kroku symulacji). Po konsultacjach z ekspertami działań służb sanitarnych ustalono, że minimalnym rozpatrywanym kwantem czasu (krokiem) jest w procesach rozwoju epidemii 6 godzin. Wszelkie reakcje na zmieniającą się sytuację w rozwoju epidemii nie mogą być podejmowane częściej niż co 6 godzin. W zasadzie najczęściej między reakcjami lub komunikatami są to inne długości okresów (12 godzin lub 24 godziny), jednak minimalną rozpatrywaną jednostką jest właśnie 6 godzin. Po uruchomieniu procesu aplikacji na dole okna aplikacji NES będzie pokazywana aktualna wartość upływu czasu symulacyjnego.



Rysunek 4. Okno główne aplikacji NES

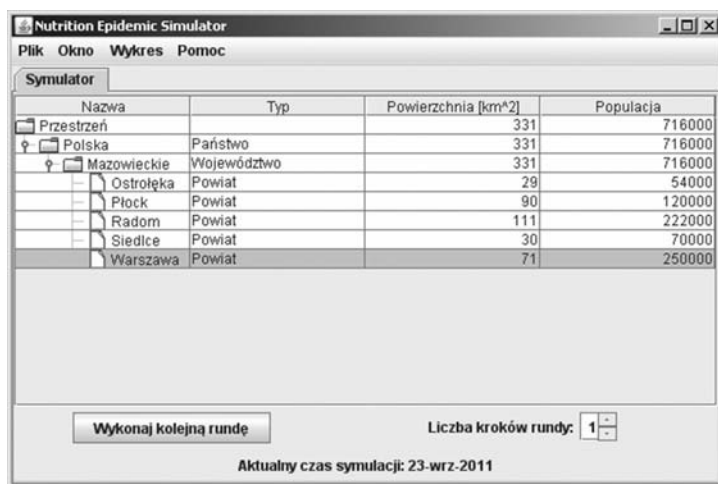
Źródło: opracowanie własne.

Dane odnoszące się do obszaru występowania epidemii, cech choroby, działań służb sanitarnych i medycznych itd. można wprowadzać z pliku (rysunek 5). Wykorzystuje się tu możliwość zawartą w menu Plik/Nowe. W tej części menu można też zrezygnować z dalszej pracy z symulatorem (Plik/Wyjście). W aplikacji można zbudować strukturę obszaru kraju, województwa, powiatu wraz z charakterystyką poszczególnych regionów (rysunek 6).



Rysunek 5. Opcja tworzenia modelu symulacyjnego w aplikacji NES

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 6. Ustalanie struktury województwa i powiatu w aplikacji NES

Źródło: opracowanie własne.

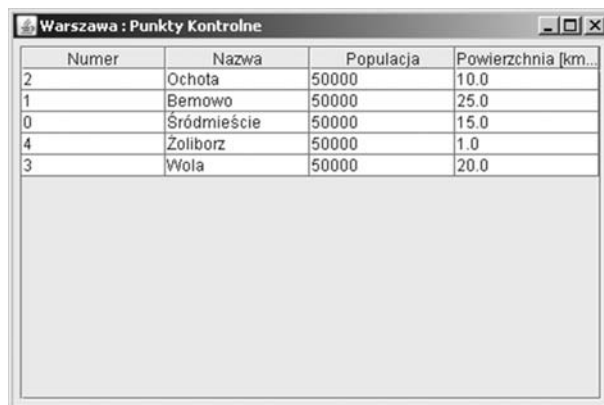
W opcji Okno (rysunek 7) można podawać punkty kontrolne i punkty żywienia, które będą wskazywane przez pacjentów jako potencjalne źródła żywności zakażonej. Ponadto, można będzie tu przeglądać wykryte źródła. Również definiuje się tu inspektorów sanitarnych będących w dyspozycji służb sanitarnych w danym obszarze.



Rysunek 7. Punkty kontroli, punkty żywienia i inspektorzy sanitarni w aplikacji NES

Źródło: opracowanie własne.

Punkty kontrolne są w istocie komórkami w automacie komórkowym reprezentującym wydzielone miejsca w modelowanym obszarze (rysunek 8), np. miejscowości w powiecie, kwartały w dzielnicy itp.



Numer	Nazwa	Populacja	Powierzchnia [km...]
2	Ochota	50000	10.0
1	Bemowo	50000	25.0
0	Śródmieście	50000	15.0
4	Żoliborz	50000	1.0
3	Wola	50000	20.0

Rysunek 8. Struktura obszaru epidemicznego w aplikacji NES

Źródło: opracowanie własne.

W aplikacji deklaruje się inspektorów sanitarnych działających na wyodrębnionym terenie (rysunek 9). Zadeklarowanie liczby działających w powiecie inspektorów sanitarnych jest również związana z określeniem rodzaju ich działań służbowych. Jedni z nich wykonują wywiady z osobami chorymi, natomiast pozostali dokonują kontroli punktów żywienia, sklepów, hurtowni itp.



Inspektor	Tryb pracy	Zajęty
Inspektor#1	Wywiady	Nie
Inspektor#2	Wywiady	Nie
Inspektor#0	Inspekcje	Nie

Dodawanie inspektorów:

Rysunek 9. Deklaracja inspektorów sanitarnych działających w obszarze

Źródło: opracowanie własne.

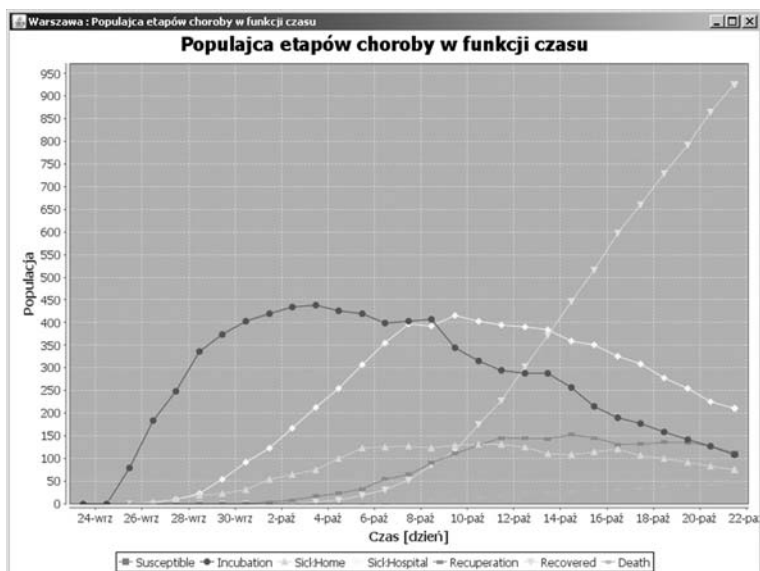
Po upływie dowolnego czasu, np. po kilku dniach, co ustala się w dolnej części okna (rysunek 10), można obejrzyć uzyskane charakterystyki, również zmienić pewne ustawienia wartości parametrów dla dalszej części eksperymentu symulacyjnego. Zazwyczaj krokiem w analizie sytuacji w rozwoju epidemii chorób przenoszonych drogą pokarmową jest jeden dzień, jednak w momentach szczytowych rozwoju epidemii jest to 6 godzin. Dlatego w aplikacji NS przyjęto, że pojedynczym krokiem w eksperymencie symulacyjnym jest 6 godzin. Ustawienie czterech kroków na rysunku 10 oznacza to, że chcemy obejrzyć skutki rozwoju epidemii w wydzielonym obszarze po upływie 1 dnia. Warto dodać, że po każdym przemieszczeniu się na osi upływu czasu można zmieniać pewne dane, np. liczbę inspektorów sanitarnych, którzy zostali skierowani do pomocy z sąsiednich powiatów. Jedną z charakterystyk jest przedstawienie liczby osobników zdrowych, zarażonych, chorych, wyleczonych lub zmarłych w funkcji czasu (rysunek 11).



Rysunek 10. Ogląd wartości parametrów ustalonych dla symulacji

Źródło: opracowanie własne.

W miarę upływu czasu symulacyjnego wzrasta liczba wykrytych potencjalnych źródeł skażenia żywności oraz wykrytych źródeł rozprzestrzeniania się skażonej żywności (rysunek 12).



Rysunek 11. Liczba osobników zdrowych, chorych, wyleczonych i zmarłych

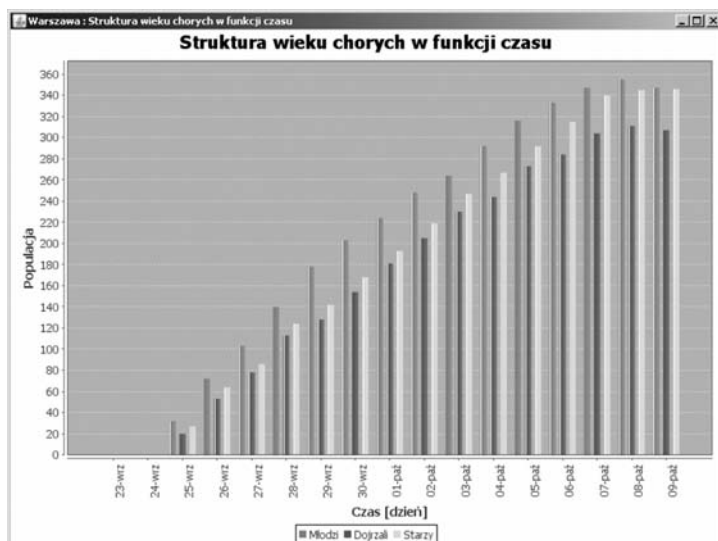
Źródło: opracowanie własne.

Warszawa : Potencjalne źródła skażenia			
Punkt	Liczba zgłoszeń	Zamknięty	Liczba inspekcji
ConsumptionPoi...	1	Nie	0
ConsumptionPoi...	1	Tak	1
ConsumptionPoi...	1	Nie	0
Retail#969	1	Nie	1
Wholesale#935	1	Nie	0

Rysunek 12. Wykryte do ustalonego momentu źródła skażonej żywności

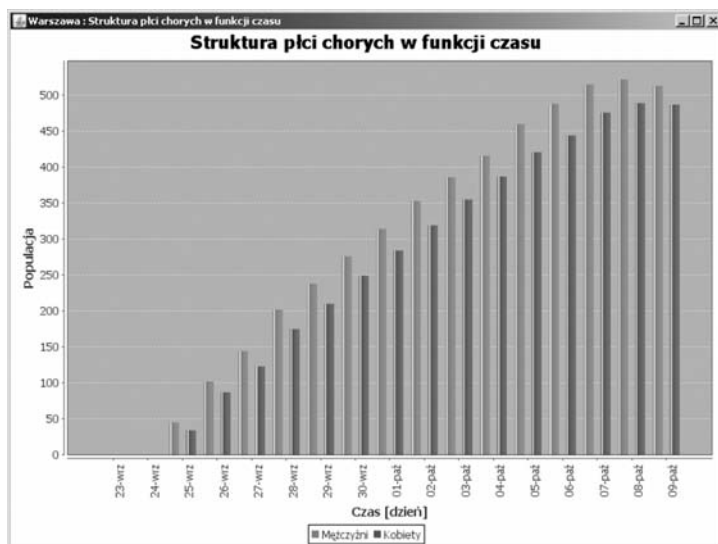
Źródło: opracowanie własne.

Kolejnym elementem charakterystyki jest przedstawienie liczby osobników chorych w funkcji czasu przy uwzględnieniu struktury wieku w regionie (rysunek 13).



Rysunek 13. Liczba osobników chorych przy uwzględnieniu struktury wieku w regionie

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 14. Liczba osobników chorych przy uwzględnieniu struktury płci w regionie

Źródło: opracowanie własne.

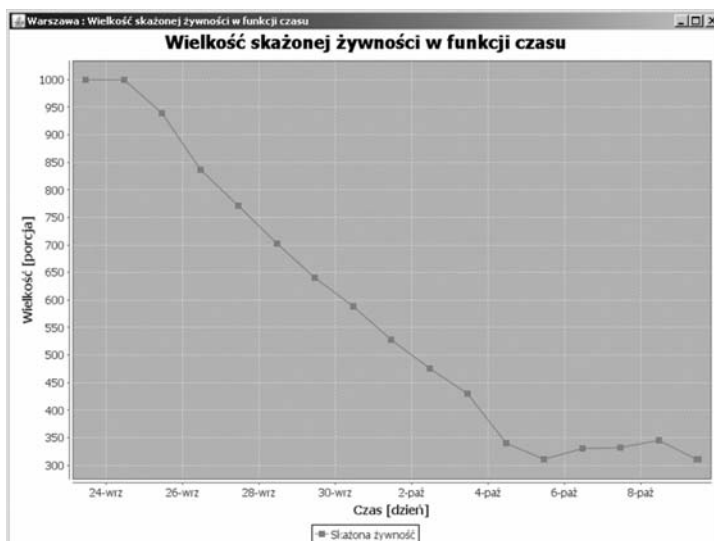
Z danych umieszczonych na rysunku 15 wynika, że po kilku dniach pojawiają się punkty żywienia wskazywane przez pacjentów jako potencjalne źródła

zachorowań. Po tym okresie widać również istotny spadek masy żywności zakażonej patogenem (rysunek 16).

Punkt	Liczba zgłoszeń	Zamknięty	Liczba inspekcji
ConsumptionPoint#128	1	Nie	0
ConsumptionPoint#13	1	Nie	1
ConsumptionPoint#147	1	Nie	0
ConsumptionPoint#155	1	Nie	0
ConsumptionPoint#168	1	Nie	0
ConsumptionPoint#170	1	Nie	0
ConsumptionPoint#181	1	Nie	0
ConsumptionPoint#212	1	Nie	0
ConsumptionPoint#216	1	Nie	0
ConsumptionPoint#235	1	Nie	1
ConsumptionPoint#237	1	Nie	0
ConsumptionPoint#243	1	Nie	0
ConsumptionPoint#267	1	Nie	1
ConsumptionPoint#27	1	Nie	0
ConsumptionPoint#297	1	Nie	1
ConsumptionPoint#339	1	Nie	1
ConsumptionPoint#352	1	Nie	1
ConsumptionPoint#365	1	Nie	1
ConsumptionPoint#53	1	Nie	0
ConsumptionPoint#70	1	Nie	0
ConsumptionPoint#862	1	Nie	1
ConsumptionPoint#90	1	Nie	0
ConsumptionPoint#937	1	Nie	0
ConsumptionPoint#940	1	Tak	1
ConsumptionPoint#959	1	Tak	1
ConsumptionPoint#976	2	Tak	1
ConsumptionPoint#995	1	Nie	0

Rysunek 15. Punkty żywienia wskazywane przez pacjentów jako potencjalne źródła szerzenia się epidemii

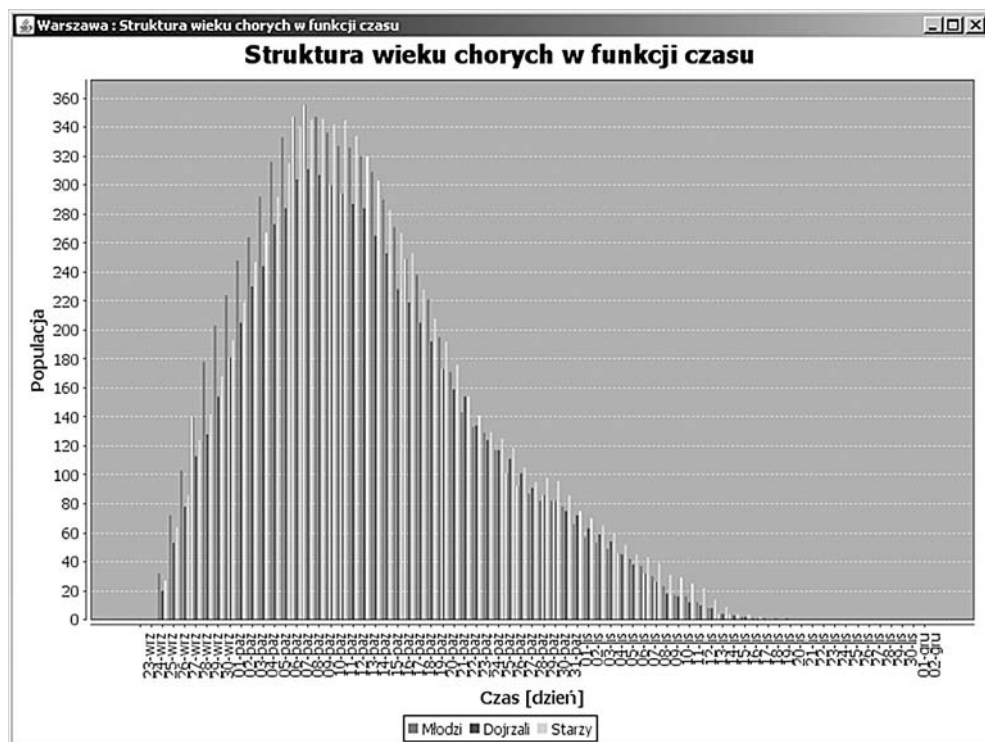
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 16. Ilustracja spadku masy żywności skażonej w funkcji upływającego czasu symulacyjnego

Źródło: opracowanie własne.

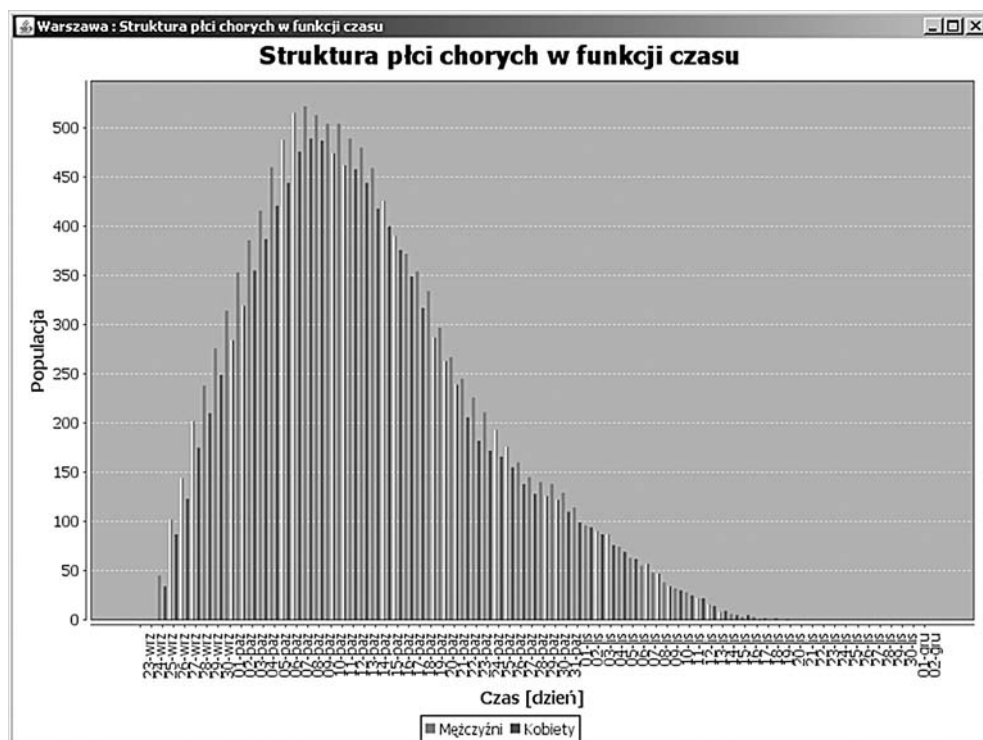
Po zakończeniu epidemii można obejrzeć zbiorcze charakterystyki zachorowań. Podstawową charakterystyką jest przedstawienie liczby osobników chorych w funkcji czasu przy uwzględnieniu struktury wieku w regionie (rysunek 17). Kolejnym elementem końcowej charakterystyki jest przedstawienie liczby osobników chorych w funkcji czasu uwzględniające strukturę płci w regionie (rysunek 18).



Rysunek 17. Zbiorcze zestawienie liczby chorych uwzględniające strukturę wieku w regionie

Źródło: opracowanie własne.

Może być również analizowane zestawienie punktów żywienia wskazywanych przez pacjentów jako potencjalne źródła zachorowań i przebadane przez inspektorów sanitarnych (rysunek 19). Pokazać też można spadek masy żywności zakażonej patogenem w trakcie całego czasu trwania epidemii (rysunek 20).



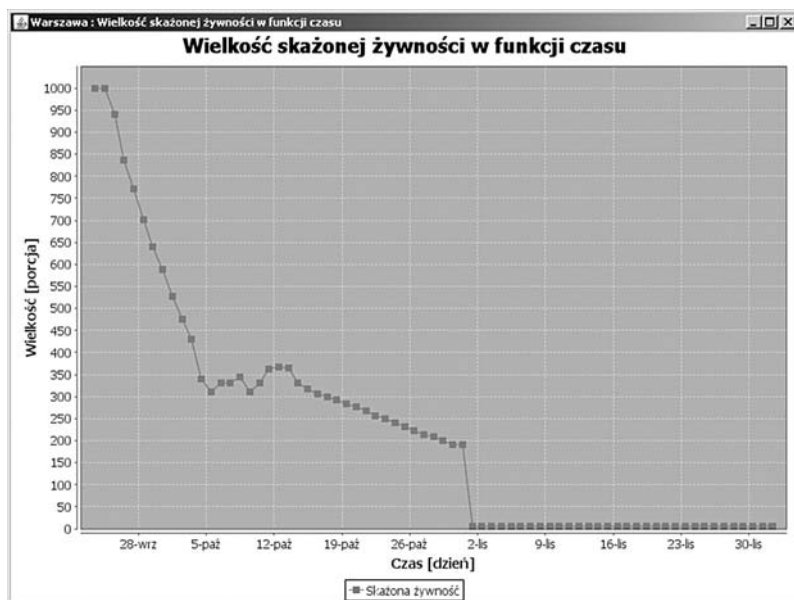
Rysunek 18. Zbiorcze zestawienie liczby chorych uwzględniające strukturę płci w regionie

Źródło: opracowanie własne.

Warszawa : Potencjalne źródła skażenia			
Punkt	Liczba zgłoszeń	Zamknięty	Liczba inspekcji
ConsumptionPoi...	1	Nie	2
ConsumptionPoi...	1	Nie	0
ConsumptionPoi...	1	Nie	2
ConsumptionPoi...	1	Tak	1
ConsumptionPoi...	1	Nie	2
ConsumptionPoi...	1	Nie	0
Retail#975	3	Nie	0
Retail#923	2	Nie	1
Retail#924	1	Tak	1
Retail#951	1	Tak	1
Retail#969	1	Nie	1
Wholesale#935	4	Nie	3

Rysunek 19. Zestawienie zbiorcze punktów żywienia kontrolowanych i zamkniętych

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 20. Przebieg końcowy ubywającej masy żywności zakażonej patogenem

Źródło: opracowanie własne.

6. Podsumowanie

Niniejsza praca zawiera opis funkcjonowania symulatora działającego w ramach większego systemu informatycznego opartego na technologiach systemu Aurea BPM, powstającego na potrzeby projektu rozwojowego „Modelowanie i symulacja procesów oraz określenie komputerowo wspomaganym procedur w zakresie zarządzania ryzykiem bezpieczeństwa żywności i żywienia”. Warto dodać, że ustalono standard przekazywania danych ze środowiska Aurea BPM do symulatora i sposób wywoływania go oraz na końcu odczyt wyników symulacyjnych uzyskanych w wyniku przeprowadzenia serii eksperymentów.

W niniejszej pracy pokazano również sposób analizy rozwoju epidemii przy wykorzystaniu mechanizmów, jakie daje symulator NES. Należy wskazać, że do poprawnego działania symulatora są wymagane zewnętrzne biblioteki programowe. Symulator korzysta z następujących pakietów:

- Apache log4j 1.2.16 (licencja Apache Software License, Version 2.0) – zaawansowana biblioteka służąca do tworzenia logów dokumentujących

uruchomienie oprogramowania, w szczególności zapisująca informację o błędach uruchomienia,

- XStream 1.4.1 (licencja *BSD*) – pakiet implementujący obsługę plików XML, w szczególności w zakresie składowania w nich stanu obiektów oraz (ponownego) odtwarzania tych obiektów na podstawie pliku XML, oraz jej zależności:
 - XML pullparser API 1.1.3.1,
 - XML pull Parser³ (XPP3) 1.1.4c,
- DESKit – pakiet klas użytkowych służących do implementacji symulacji zdarzeniowej lub krokowej, został włączony bezpośrednio jako kod źródłowy.

Bibliografia

1. Bliźniuk G., *Koncepcja implementacji warunków interoperacyjności systemu ścieżek klinicznych i elektronicznego rekordu pacjenta*, „Biuletyn” Instytutu Studiów Informatycznych, nr 6, Warszawa 2010, s. 1–10.
2. Bliźniuk G., *O kilku warunkach zapewniających interoperacyjność systemów informacyjnych i informatycznych*, „Biuletyn Instytutu Studiów Informatycznych”, nr 3, Warszawa 2009, s. 13–18.
3. Górski T., *Architectural view model for an integration platform*, „Journal of Theoretical and Applied Computer Science” 2012, vol. 6, no. 1, s. 25–34.
4. Górski T., *Architektura platformy integracyjnej dla elektronicznego obiegu recept*, „Roczniki” Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, z. 25, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2012, s. 67–84.
5. Kahn H.A., Sempos Ch.T., *Statistical Methods in Epidemiology*, Oxford University Press, 1989.
6. Kermack W.O., McKendrick A.G., *A contribution to the mathematical theory of epidemics*, „Proceedings of the Royal Society” 1927, vol. 115, s. 700–721.
7. Murray J.D., *Mathematical biology*, t. 1, *An introduction*, Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg–New York 1993.
8. Murray J.D., *Mathematical biology*, t. 2, *Spatial models*, Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg–New York 2001.
9. Netczuk A., Nowicki T., Tarnawski T., *Symulator epidemii chorób przenoszonych drogą pokarmową*, XVIII Warsztaty Naukowe PTSK „Symulacja w badaniach i rozwoju”, Zakopane, 26–28 wrzesień 2011.
10. Netczuk A., Nowicki T., Tarnawski T., Bertrand J., *Modeling and Simulation of Food-Borne Epidemic Spread*, 11th European Nutrition Conference FENS, Madrid, 26–29 October 2011.

11. Scandurra I., Hagglund M., Koch S., *From user needs to system specifications: Multi-disciplinary thematic seminars as a collaborative design method for development of health information systems*, „Journal of Biomedical Informatics” 2008, vol. 41, s. 557–569.
12. Vashitz G., Meyer J., Parmet Y., Peleg R., Goldfarb D., Porath A., Gilutz H., *Defining and measuring physicians’ responses to clinical reminders*, „Journal of Biomedical Informatics” 2009, vol. 42, s. 317–326.
13. Waszkowski R., Chodowska A., *Architektura, konfiguracja i parametryzacja środowiska informatycznego dla modelowania i planowania w środowisku webowym z dostępem przez Internet*, w: *Modelowanie i symulacja procesów oraz określenie komputerowo wspomaganych procedur w zakresie zarządzania ryzykiem bezpieczeństwa żywności i żywienia*, red. J. Bertrandt, K. Lasocki, BELStudio, Warszawa 2012, s. 865–869.
14. Waszkowski R., Chodowska A., *Modele procesów z wykorzystaniem ścieżek alternatywnych wykorzystywanych w zależności od rezultatów działania podsystemów wspomagania decyzji opartych na modelach dynamicznych oraz symulacji komputerowej*, w: *Modelowanie i symulacja procesów oraz określenie komputerowo wspomaganych procedur w zakresie zarządzania ryzykiem bezpieczeństwa żywności i żywienia*, red. J. Bertrandt, K. Lasocki, BELStudio, Warszawa 2012, s. 890–919.

* * *

Modeling, simulation and analysis of food-borne epidemic spread processes

Summary

The paper presents a simulation model of epidemic development of food-borne diseases. Contaminated substances of pathogens may be food or water. Model of epidemic spread is a developed model of food-borne disease epidemic process. The model is built on the basis of cellular automata model with a modification concerning territorial characteristics, random nature of many parameters and the impact of an activity of personal and financial investment on selected model elements. This model takes into account both the size of the population in a given area as well as its distribution. In this case some mechanism of stepwise simulation was used with the possibility of countermeasures as disease activities during epidemic spread. Simulation experiments can give many interesting, from a practical point of view, characteristics describing development of the epidemic spread. Results of this work may be used by government for planning countermeasures connected with food-borne epidemic spread.

Keywords: food born diseases, countermeasures, simulation model, computer simulator, food-borne epidemic spread investigation