

PRZEGLĄD WYKORZYSTANIA DYSKRETNEGO MODELOWANIA KOMPUTEROWEGO W ZARZĄDZANIU PODMIOTAMI OPIEKI ZDROWOTNEJ

Magdalena Jurczyk-Bunkowska^{1*}

¹ Politechnika Opolska, Wydział Ekonomii i Zarządzania, Polska

Streszczenie: Systemy opieki zdrowotnej charakteryzują się dużą złożonością, wysoką zmiennością i koniecznością elastyczności. Rosnące wyzwania zdrowotne i ekonomiczne oraz nowe technologie stanowią presję wobec zarządzających do wprowadzania zmian. DES (ang. Discrete Event Simulation – symulacja zdarzeń dyskretnych) pozwala na szczegółowe modelowanie każdego elementu systemu, uwzględniając zmienności charakterystyczne dla opieki zdrowotnej. Daje to możliwość lepszego zrozumienia systemu i testowania różnych scenariuszy zmian w środowisku wirtualnym, co pomaga w podejmowaniu decyzji zarządczych opartych na danych. W artykule przedstawiono zastosowanie symulacji zdarzeń dyskretnych (DES) w zarządzaniu podmiotami opieki zdrowotnej. Omówiono ograniczenia zastosowania tej metodyki, wskazano rodzaj problemów, jakie są przy jej wykorzystaniu rozwiązywane, zidentyfikowano najchętniej używane oprogramowanie oraz pokazano przykłady wdrożenia DES w praktyce. Artykuł opracowano na podstawie czterech systematycznych przeglądów literatury obejmujących publikacje do 2021 roku uzupełnionych o własną analizę artykułów opublikowanych do czerwca 2024 roku.

Słowa kluczowe: przegląd literatury, symulacja zdarzeń dyskretnych (DES), systemy opieki zdrowotnej, zarządzanie opieką zdrowotną, zarządzanie zasobami

Kod klasyfikacji JEL: M11, C63

¹ Magdalena Jurczyk-Bunkowska, dr inż., ul. Luboszycka 7, 45-036 Opole, Polska,
m.jurczyk-bunkowska@po.edu.pl,  <https://orcid.org/0000-0002-4066-3605>

* Autor korespondencyjny: Magdalena Jurczyk-Bunkowska, m.jurczyk-bunkowska@po.edu.pl

Wprowadzenie

Systemy opieki zdrowotnej to głównie elastyczne układy, w których centrum znajduje się człowiek – jako pacjent i jako personel medyczny. Charakteryzują się one skomplikowanymi relacjami pomiędzy poszczególnymi elementami systemu na różnych szczeblach zarządzania i funkcjonują, wykorzystując ograniczone zasoby fizyczne i materialne. Systemy opieki zdrowotnej mają różną charakterystykę, poczynając od placówek podstawowej opieki zdrowotnej, poprzez kliniki, aż po szpitale. Tworzą struktury niełatwe do zrozumienia, przewidzenia i zaprojektowania, ponieważ cechuje je wysoki poziom niepewności i zmienności oraz konieczność zachowania znacznej elastyczności. W miarę postępu cywilizacyjnego presja na dostęp do zaawansowanych możliwości w obszarze ochrony zdrowia rośnie, a zatem potrzeba osiągnięcia przez te systemy lepszej jakości opieki przy jednoczesnym obniżeniu kosztów staje się kluczowym problemem globalnym. Także w Polsce ochrona zdrowia musi sprostać rosnącym wyzwaniom zdrowotnym, takim jak nierówności społeczno-ekonomiczne, wysokie wskaźniki otyłości, rosnące obciążenie zaburzeniami psychicznymi i starzenie się społeczeństwa, które obciążają zasoby opieki zdrowotnej. Ponadto w krajowych systemach identyfikowane są problemy nadmiernego polegania na oddziałach ratunkowych i intensywnej terapii w porównaniu z innymi rodzajami opieki, w tym opieką ambulatoryjną i długoterminową, niedoborem zasobów ludzkich, znikomą rolą w zakresie promocji zdrowia i zapobiegania chorobom w stosunku do opieki leczniczej oraz słabą sytuacją finansową w sektorze szpitalnym (Sowada et al., 2019). Ogranicza to dostępność ochrony zdrowia, dlatego zmiany w modelach funkcjonowania podmiotów są konieczne. W Stanach Zjednoczonych następuje odejście od modelu opłaty za usługi (fee for service) w kierunku modelu opartego na wartości (value-based care). Tym samym szpitale i kliniki, będące świadczeniodawcami, otrzymują stałą roczną opłatę od różnych płatników, takich jak Medicare/Medicaid czy prywatnych ubezpieczycieli, a następnie oczekuje się, że utrzymają one zdrową populację pacjentów (Forbus & Berleant, 2022). Transformacja ta jest wspierana przez różne inicjatywy rządowe i prywatne, takie jak programy ACO (Accountable Care Organizations) i MIPS (Merit-based Incentive Payment System). Są to programy zachęcające świadczeniodawców do poprawy jakości opieki i efektywności kosztowej.

W zarządzaniu systemami opieki zdrowotnej podejmowane są decyzje strategiczne, taktyczne i operacyjne w celu oceny i poprawy efektywności oraz skuteczności różnych procesów i usług. Wymagają one szczegółowej analizy, dlatego najlepiej dla zarządzających, gdy mogą przetestować i rozważyć alternatywne scenariusze. Potrzebne są zatem narzędzia umożliwiające zrozumienie złożonych systemów i symulujące ich zachowanie pod wpływem różnych czynników. Istnieje kilka rodzajów metod w analizie i rozwiązywaniu złożonych problemów organizacyjnych, np. metodologia miękkich systemów (Soft Systems Methodology – SSM), rozwój i analiza opcji strategicznych (Strategic Options Development And Analysis – SODA) dynamika symulacji, w tym dynamika systemów (System Dynamics – SD) i symulacja zdarzeń dyskretnych (Discrete Event Simulation – DES). Te ostatnie zyskały popularność ze względu na szeroki obszar zastosowania oraz możliwość analizowania wielu wzajemnie powiązanych procesów.

Początki wykorzystania symulacji komputerowej sięgają lat 50. XX wieku. Najbardziej znaczące w tym okresie było wynalezienie metody Monte Carlo przez Metropolis i Ulam w 1946 roku, czyli techniki wykorzystującej pseudolosowe liczby do powtarzania obliczeń i określenia w ten sposób prawdopodobieństwa uzyskania określonego wyniku. Zakres zastosowania metod symulacyjnych do wspomagania podejmowania decyzji zaczął gwałtownie rozrastać się w latach 90. XX wieku wraz ze wzrostem rozwoju systemów komputerowych. W tym czasie powstało oprogramowanie Arena, będące obecnie jednym z najpopularniejszych narzędzi symulacji zdarzeń dyskretnych (Discrete Event Simulation – DES). Kolejne przyspieszenie wykorzystania DES to początki XXI wieku – wtedy na rynku pojawiły się pakiety symulacyjne AnyLogic i Simul8 (Collins et al., 2023).

Systemy komputerowe DES pozwalają opracować model, który jest przybliżeniem rzeczywistego systemu i zawiera większość jego głównych cech, a jednocześnie jest na tyle prosty, że łatwo go zrozumieć i eksperymentować z nim (Hester & Adams, 2017). Modelowana jest struktura systemu, czyli jego komponenty, relacje między nimi, wejścia i wyjścia, a następnie podczas symulacji obserwowane jest jego zachowanie w czasie, np. pod wpływem wprowadzanych zmian. Celem niniejszego artykułu jest pokazanie na podstawie analizy literatury, w jaki sposób DES jest wykorzystywane we wsparciu zarządzania podmiotami opieki zdrowotnej. Celami szczegółowymi są wskazania: jakie zadania z zakresu zarządzania podmiotami opieki zdrowotnej są rozwiązywane przy wykorzystaniu DES, z jakimi innymi metodami lub technikami jest łączone DES przy problemach zarządzania ochroną zdrowia, na jakim etapie rozwoju jest zastosowanie DES w ochronie zdrowia, jakie oprogramowanie DES wspiera rozwiązywanie problemów w ochronie zdrowia.

Metodyka badawcza

Założone cele osiągnięto na podstawie analizy literatury. Została ona przeprowadzona w oparciu o wtórny przegląd literatury, bazujący na czterech publikacjach obejmujących okres do 2021 roku oraz na własnym przeglądzie prac opublikowanych pomiędzy rokiem 2022 a czerwcem 2024 roku. W analizowanych przeglądach zostały uwzględnione i przejrane oryginalne artykuły badawcze, które koncentrowały się na wykorzystaniu techniki DES w ochronie zdrowia. Rozważono je pod kątem zakresu i efektów wykorzystania symulacji zdarzeń dyskretnych w decyzjach związanych z zarządzaniem systemami ochrony zdrowia. Nie wzięto pod uwagę innych zastosowań DES w ochronie zdrowia, takich jak np. modelowanie zachowań zdrowotnych, postępu choroby zakaźnej lub organizacji badań przesiewowych. Własny przegląd literatury został przeprowadzony w bazach PubMed i EBSCO na podstawie haseł w języku angielskim odnoszących się do tytułów, streszczeń i słów kluczowych „symulacja zdarzeń dyskretnych” (discrete event simulation), „ochrona zdrowia” (healthcare), „zarządzanie” powiązanych operatorem logicznym „and”. W bazie EBSCO znaleziono 16 dokumentów w bazie PubMed 17, po ich dokładnej analizie uwzględniającej m.in. powtarzające się publikacje ostatecznie do przeglądu wytypowano 21 publikacji. Podstawowe informacje dotyczące przeprowadzanego przeglądu literatury zostały przedstawione w Tabeli 1.

Tabela 1. Schemat realizacji badań dotyczących zastosowania DES w zarządzaniu systemami opieki zdrowotnej

Analizowana publikacja	Okres przeglądu	Liczba artykułów ujęta w przeglądzie
(Zhang, 2018) <i>Application of discrete event simulation in health care: A systematic review</i>	do 31.03.2017	211
(Liu et al., 2020) <i>The diffusion of discrete event simulation approaches in health care management in the past four decades: A comprehensive review</i>	1981-2014	483
(Vázquez-Serrano et al., 2021) <i>Discrete-event simulation modeling in healthcare: A comprehensive review</i>	do 08.2021	231
(Forbus & Berleant, 2022) <i>Discrete-event simulation in healthcare settings: A review</i>	2017-2021	311
Własny przegląd literatury	2022-2024	21

Źródło: Opracowanie własne

Wskazane publikacje zostały przeanalizowane w celu uzyskania odpowiedzi na następujące pytania:

1. Jakie są ograniczenia wykorzystania DES w problemach zarządzania?
2. W jaki sposób DES może wspierać zarządzanie w ochronie zdrowia?
3. Jaka część publikacji związanych z wykorzystaniem DES w ochronie zdrowia dotyczy problemów zarządzania?
4. Czy DES jest łączone z innymi metodami zarządzania?
5. Jakie oprogramowanie DES jest wykorzystywane w rozwiązywaniu problemów zarządczych w ochronie zdrowia?
6. Jakie są wdrożone w praktyce przykłady wykorzystania DES w zarządzaniu podmiotami leczniczymi?

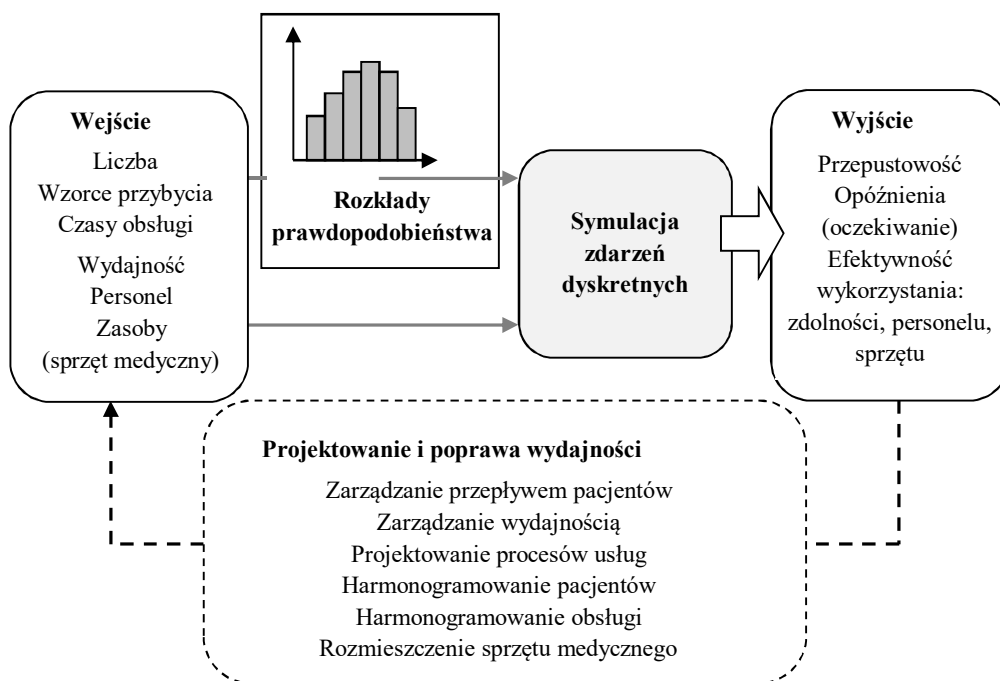
Cel wykorzystywania DES w zarządzaniu podmiotami ochrony zdrowia

Istotą zastosowania modeli symulacyjnych jest uczenie się o złożonych problemach i testowaniu różnych interwencji poza rzeczywistym systemem. Modele symulacyjne mogą pomóc wyjaśnić, nieraz sprzeczne z intuicją, zachowania złożonych systemów, których stopień skomplikowania wykracza daleko poza ludzką zdolność do ich ręcznego rozwiązywania (Davahli et al., 2020). Symulacja jest imitacją sposobu działania rzeczywistego systemu w czasie. Może być używana do identyfikowania punktów krytycznych i wąskich gardeł systemu oraz do odpowiadania na pytania „co by było, gdyby” dotyczące rzeczywistych scenariuszy bez żadnych praktycznych

i/lub finansowych implikacji (Hajjarsaraei et al., 2018). Zdolność DES do wypróbowania różnych scenariuszy w wirtualnym ustawieniu jest znacznie tańsza niż możliwość zaangażowania zasobów do testowania w świecie rzeczywistym. Dodatkowo projektant może przetestować prawie nieograniczoną liczbę różnych scenariuszy, zwiększając prawdopodobieństwo znalezienia idealnej konfiguracji. Celem wykorzystania DES w zarządzaniu jest zatem kompleksowe porównanie potencjalnych praktyk postępowania lub opcji strategicznych, tak aby zidentyfikować te najbardziej wydajne i skuteczne, zwłaszcza w sytuacjach, w których przeprowadzenie wymaganych badań ankietowych lub eksperymentów porównawczych w praktyce może być niewykonalne (Brennan et al., 2006). DES może uchwycić zachowanie systemu i efekty relacji, które wynikają z kombinacji wielu losowych procesów, połączonych ze strukturą systemu. Odpowiadając jednak na pierwsze z pytań badawczych o ograniczenia zastosowania tego rozwiązania, należy wspomnieć, że badanie symulacyjne wymaga zdefiniowania modelu koncepcyjnego reprezentującego problem w systemie, który pochodzi z teorii lub obserwacji (Abubakar et al., 2020). Model ten musi integrować różne komponenty, takie jak cele, dane wejściowe, dane wyjściowe, elementy, granice, założenia i uproszczenia, a użyteczność modelu w dużym stopniu zależy od dobrej jakości danych. Sam proces opracowania adekwatnego do badań symulacyjnych modelu złożonego systemu jest czasochłonny i kosztowny, należy zatem zrównoważyć korzyści i wyzwania wynikające z wykorzystania podejścia symulacyjnego (Jurczyk-Bunkowska, 2023). Innymi słowy: wyniki symulacji są na tyle dobre, na ile prawidłowe są dane wejściowe i na ile właściwie opracowany jest model. Dodatkowo, nawet przy dobrych danych wejściowych, wyniki mogą być nadal trudne do interpretacji, szczególnie dla kogoś, kto nie jest przyzwyczajony do probabilistycznych wyjść.

Symulacja zdarzeń dyskretnych to stochastyczne podejście do modelowania chętnie stosowane w przypadku dynamicznych i złożonych systemów, takich jak opieka zdrowotna (Vázquez-Serrano et al., 2021). Odnosząc się zatem do drugiego pytania badawczego, trzeba zauważyć, że pierwotny pomysł wykorzystania DES w zarządzaniu działaniem służby zdrowia pochodzi z początku lat 80. XX wieku (Liu et al., 2020). Dotyczył on oceny czasu oczekiwania pacjenta na szpitalnym bloku chirurgicznym. Wyniki pokazały, że poprawiając politykę planowania wizyt pacjentów, można zaoszczędzić nawet 30% średniego czasu oczekiwania pacjenta (Kuzdrall et al., 1981). W miarę jak systemy opieki zdrowotnej stają się bardziej złożone, w połączeniu z bardziej rygorystycznymi wymaganiami jakościowymi, rośnie zainteresowanie wykorzystaniem modelowania DES w tych warunkach (Vázquez-Serrano et al., 2021). Obecnie DES jest stosowany w opiece zdrowotnej jako preferowana technika modelowania, ze względu na jego elastyczność w reagowaniu na zmiany skali, poziom szczegółowości, indywidualne skupienie się na pacjencie, czynniki stochastyczne wpływające na system, łatwość zmiany komponentów modelu, oczekiwanie na wydajność związaną z czasem, istnienie kolejek i wizualną reprezentację przepływów pacjentów (Gunal, 2012). Elastyczność wynika z tego, że DES modeluje działanie systemu jako dyskretną sekwencję zdarzeń w czasie. Każde zdarzenie występuje w określonym momencie w czasie i oznacza zmianę

stanu systemu. Niektórzy badacze charakteryzują ją jako „formę modelowania opartego na komputerze, która zapewnia intuicyjne i elastyczne podejście do reprezentowania złożonych systemów” (Karnon et al., 2012). W porównaniu z modelami agregatowymi bez interakcji, takimi jak drzewa decyzyjne lub modele Markowa, metoda DES jest korzystniejsza do modelowania złożonych systemów na poziomie indywidualnym, pozwalając na szczegółowe modelowanie każdego elementu systemu (np. każdego pacjenta w szpitalu), uwzględniając ich unikalne cechy i interakcje, a nie na poziomie kohorty, gdzie analizowane są grupy jednostek jako jedna całość. Symulowane konteksty są zwykle postrzegane jako sieci kolejkowe, w których poszczególne jednostki przechodzą przez serię dyskretnych zdarzeń, jedno po drugim, w dyskretnych odstępach czasu, między którymi muszą czekać w kolejkach z powodu ograniczonej dostępności zasobów (Standfield et al., 2014). Metody DES zakładają, że przemieszczanie się jednostek, takich jak pacjenci, oraz działania, takie jak wizyta lekarska czy testy laboratoryjne, mogą być losowe, a tym samym pozwalają wychwytywać zmienności, które są nieodłączne w opiece zdrowotnej (Doudareva & Carter, 2022).



Rysunek 1. Diagram koncepcyjny wykorzystania symulacji zdarzeń dyskretnych w zarządzaniu podmiotami ochrony zdrowia

Źródło: (Hamrock i in., 2013)

Dlatego istnieje rosnący trend w kierunku stosowania DES w opiece zdrowotnej w celu rozwiązania problemów na poziomie operacyjnym, jednak mniej niż 10% zastosowań DES przedstawia rzeczywiste implementacje po etapie modelowania

(Vázquez-Serrano et al., 2021). Na Rysunku 1 zaprezentowano koncepcję wykorzystania DES w zarządzaniu podmiotami ochrony zdrowia.

Wraz z rozwojem mocy przetwarzania komputerowego zasoby niezbędne do modelowania bardziej złożonych systemów stają się w zasięgu coraz większej puli potencjalnych zastosowań, co dodatkowo podkreśla jego użyteczność i moc (Forbus & Berleant, 2022).

Podsumowując: DES umożliwia badaczom i zarządzającym na różnych poziomach ochrony zdrowia lepsze zrozumienie dynamicznej interakcji komponentów i całego systemu. Ułatwia planowanie scenariuszy, odpowiadając na pytania „co by było, gdyby” poprzez zmianę wzorców przepływu pacjentów i zasad świadczenia usług. Choć wymaga wielu godzin i specjalistycznych umiejętności, a także poniesienia kosztów zakupu pakietu oprogramowania, może zapewnić wsparcie decyzyjne dla kierowników szpitali w zakresie diagnozy nieefektywności systemu i oceny alternatywnych konfiguracji systemu (Huynh et al., 2016). W dalszym ciągu artykułu zostaną omówione rezultaty wykorzystania DES w zarządzaniu ochroną zdrowia.

Zakres wykorzystania DES w zarządzaniu podmiotami ochrony zdrowia

Przegląd literatury przeprowadzony przez Zhanga wskazuje, że działanie systemów opieki zdrowotnej stanowi 65% wszystkich badań modelowania w całym okresie (Zhang, 2018). Należy stwierdzić, że większość problemów, przy których zastosowano DES, dotyczy mniej lub bardziej bezpośrednio zarządzania (trzecie pytanie badawcze). Pozostałe to m.in. modelowanie przebiegu choroby, przebiegu badań przesiewowych czy też modelowanie zachowań zdrowotnych. Wykorzystanie metod DES w zarządzaniu ma na celu umożliwienie menedżerom lepszego zrozumienia mechanizmów leżących u podstaw działania systemu oraz kompleksowego zbadania złożonych relacji między jego różnymi komponentami, tak aby podejmować jak najlepsze decyzje operacyjne i administracyjne. Według Mielczarek i innych struktura DES lepiej nadaje się do symulacji szczegółów operacyjnych i mechanizmów fizycznych określonego procesu zamiast oceny i planowania polityki zdrowotnej. Zatem DES jest odpowiednim narzędziem, jeśli chodzi o konkretne problemy operacyjne związane z dostarczaniem opieki zdrowotnej (Mielczarek, 2021). Są one rozwiązywane w większości w szpitalach i ośrodkach medycznych (38,9% badań) i dotyczą najczęściej czasu i wydajności, alokacji zasobów/harmonogramów oraz oszczędności finansowych i kosztowych (Vázquez-Serrano et al., 2021).

Często DES jest uzupełniane o inną technikę, taką jak badania operacyjne, dzięki czemu mogą one zapewnić szerszy zakres cech do rozwiązywania problemów opieki zdrowotnej (Wang & Demeulemeester, 2023). Poszukując jednak odpowiedzi na czwarte z postawionych pytań badawczych, dotyczące łączenia technik symulacji z innymi metodami zarządzania, trzeba też zwrócić uwagę na modele hybrydowe, które łączą DES z różnymi podejściami symulacyjnymi, takimi jak dynamika systemu (SD), symulacja oparta na agentach (ABS) i symulacja Monte Carlo (MCS), w celu uzupełnienia i rozszerzenia zakresu, celu i perspektywy symulacji

(Vázquez-Serrano et al., 2021; Yip et al., 2017). Prace teoretyczne i koncepcyjne dotyczące symulacji zdarzeń dyskretnych w literaturze obejmują również połączenia DES z optymalizacją lub modelem matematycznym (Enayati et al., 2018), a także z Lean lub Six Sigma (Celano et al., 2012). Vázquez-Serrano i inni wskazują, że w dwóch trzecich artykułów teoretycznych omówione są modele, które obejmują DES wraz z innymi technikami analitycznymi, takimi jak optymalizacja i Lean/Six Sigma (Vázquez-Serrano et al., 2021).

Oprogramowanie DES w zarządzaniu podmiotami ochrony zdrowia

Kluczowe cechy, jakie powinno mieć oprogramowanie wykorzystywane w zarządzaniu podmiotami ochrony zdrowia, to przejrzysta wizualizacja procesów i wyników, możliwość walidacji modelu na danych historycznych, uwzględnianie zmiennych specyficznych dla ochrony zdrowia, łatwość modyfikacji modeli w odpowiedzi na zmieniające się warunki, możliwość importu danych z elektronicznej dokumentacji medycznej, analiza scenariuszy „co-jeśli”, modelowanie ścieżek pacjenta i przepływów w placówkach medycznych. Trudno dać jednoznaczną odpowiedź na piąte z postawionych pytań badawczych, które odnosiło się do popularności oprogramowania wykorzystywanego przy modelowaniu i symulacji procesów w ochronie zdrowia. Jak wskazują Vázquez-Serrano i in. (Vázquez-Serrano et al., 2021), najpopularniejszym oprogramowaniem DES są Arena i Simul8. Jednak Forbus i Berleant wskazują tylko oprogramowanie Arena jako najpopularniejsze narzędzie, plasując Simul8 obok ProModel, FlexSim, Simio i AnyLogic na niższym poziomie (Forbus & Berleant, 2022). Specjalistyczne oprogramowanie DES jest używane w 88% artykułów, podczas gdy w 12% wykorzystywało języki skryptowe symulacji niskiego poziomu, takie jak Python, lub narzędzia symulacyjne poziomu średniego, które zawierały skrypty niskiego poziomu z ulepszonymi interfejsami graficznymi, takimi jak MATLAB i Visual Object Net++. Specyficzne i elastyczne oprogramowanie DES ma większe prawdopodobieństwo dostosowania się do potrzeb interesariuszy opieki zdrowotnej. Podejścia hybrydowe zapewniają bardziej realistyczny obraz złożonych systemów z mniejszą liczbą założeń i mniejszą złożonością. Simul8, AnyLogic i Arena pozwalają na opracowywanie hybrydowych modeli symulacyjnych w tym samym interfejsie/środowisku. Być może właśnie dlatego są to wyraźnie najczęściej używane narzędzia (Forbus & Berleant, 2022). Wszystkie one posiadają interfejs graficzny, który wizualizuje przepływ procesu, co jest szczególnie przydatne do zarządzania, gdzie projektuje często modele przepływów ludzi lub materiałów w klinice lub szpitalu, w których relacje przestrzenne są ważne dla badania.

Przykłady wykorzystania DES w zarządzaniu podmiotami ochrony zdrowia

Przegląd praktycznych problemów, w których wykorzystano DES, należy rozpocząć od spostrzeżenia, że większość z rozpatrywanych badań modelowania jest specyficzna dla konkretnej jednostki, skupiając się na indywidualnych mikrosystemach,

takich jak sala operacyjna, oddział ratunkowy czy oddział intensywnej terapii. Przykładem może być praca Schoenfeldera i innych (Schoenfelder et al., 2021), gdzie opracowano model symulacji obciążenia sal operacyjnych szpitala, wykorzystując oprogramowanie AnyLogic. Przetestowano cztery opcje polityki zarządzania przy użyciu danych chirurgicznych z 10 miesięcy. Rozważono takie możliwości jak częściowe przedłużenie godzin pracy, nałożenie czasu zakończenia poprzedniego zabiegu i znieczulenia pacjenta do kolejnego znieczulenia czy zmianę strategii kolejki pacjenta od pierwszej w pierwszej kolejności do najkrótszej pierwszej lub najdłużej. Podobny problem był rozwiązywany z wykorzystaniem oprogramowania Arena (Hassanzadeh et al., 2023). W badaniu tym wskazano na przyczyny nieefektywności wykorzystania kosztochłonnych sal operacyjnych związane m.in. z dostępnością łóżek, sposobem transferu pacjentów, niewystarczającym przygotowaniem przedoperacyjnym czy też niedostępnością personelu, np. chirurgów, anestezjologów, instrumentariuszek. Oceniono, w jaki sposób zmiana planowanego zabiegu w szpitalu wpływa na kluczowe wskaźniki wydajności. Zaproponowano DES do modelowania przepływu pacjentów do sal operacyjnych w dużym szpitalu metropolitalnym i oceniono skutki sześciu różnych scenariuszy, m.in. mieszania przypadków operacyjnych z różnych oddziałów, zmian czasów rozpoczęcia i zakończenia prac w salach operacyjnych, zmian czasów przygotowania do zabiegu i prac zakończeniowych. Efekty oceniono pod kątem zdefiniowanych przez siebie KPI, takich jak: wykorzystanie sal operacyjnych, czas pobytu przedoperacyjnego, średni czas możliwości do odzyskania, procent wykorzystania sal w ciągu roku oraz czas oczekiwania pacjentów na planowany zabieg. Co ciekawe, autorzy stworzyli graficzny interfejs użytkownika w postaci aplikacji internetowej, która umożliwia dynamiczne definiowanie scenariuszy oraz interaktywne eksplorowanie wyników. Jeszcze inne badanie dotyczące zarządzania salami operacyjnymi doprowadziło do optymalizacji operacji ambulatoryjnych u pacjentów pediatrycznych (Reece et al., 2021). Do rozwiązania problemu efektywnego planowania liczby operacji w tygodniu zostało również wykorzystane oprogramowanie Simul8, dzięki któremu udało się przetestować sześć grup pacjentów, zdefiniowanych na podstawie przewidywanego czasu operacji i długości pobytu na OIOM-ie oraz cztery strategie o różnym odsetku przyjazdów pacjentów w każdej grupie.

Ostatnio DES jest też chętnie wykorzystywane w zarządzaniu oddziałami ratunkowymi, gdzie krótkie terminy realizacji usług i efektywne wykorzystanie zasobów są kluczowe dla sprawnego działania i ratowania bezpośrednio zagrożonego zdrowia i życia pacjentów. Przegląd literatury zastosowania DES do modelowania przepływu pacjentów na oddziałach ratunkowych wskazuje, że jest ono wykorzystywane przede wszystkim do zrozumienia wąskich gardeł systemu i analizowania ograniczeń planowania zdolności zasobów (Doudareva & Carter, 2022). Wdrożony w Szpitalu Uniwersyteckim w Uppsali w Szwecji przykład wykorzystania symulacji zdarzeń dyskretnych z użyciem oprogramowania AnyLogic w zarządzaniu oddziałem ratunkowym szpitala ma na celu badanie alternatywnych rozwiązań dotyczących przepływu pacjentów i układu oddziału ratunkowego, aby poprawić logistykę i zmniejszyć czas oczekiwania pacjentów (Abourraja et al., 2022). W artykule przedstawiono model symulacyjny oparty na danych odnoszących się do 2019 roku. Obejmują one

49 938 rekordów zawierających informacje o przyjęciach pacjentów, głównych problemach i diagnozach, zespołach medycznych, powodach wypisu oraz dodatkowych informacjach o pacjentach przyjętych na oddziały lub skierowanych do pomocy ambulatoryjnej. Dzięki modelowi analizowany jest aktualny stan związany z przepływem pacjentów, a następnie rozważane są potencjalne rozwiązania logistyczne mające przynieść usprawnienia, takie jak wprowadzenie nowego oddziału dla pacjentów ze złożonymi diagnozami wymagającymi więcej czasu oraz zwiększenie pojemności oddziału pośredniej opieki ratunkowej. Innym przykładem jest szczegółowa analiza oddziału ratunkowego poprzez modelowanie i symulację DES z wykorzystaniem oprogramowania Simio, która została przeprowadzona w szpitalu na północy Portugalii (Castanheira-Pinto et al., 2021). Jej celem było skrócenie czasów oczekiwania pacjentów na dostęp do pomocy oraz zwiększenie wykorzystania zasobów. Przy wykonaniu modelu skupiono się w tym przypadku na dokładnym odwzorowaniu procesów na oddziale ratunkowym za pomocą dopasowania probabilistycznego. Symulacja została wykorzystana do planowania zespołu medycznego, jak i punktów, gdzie dokonywane są poszczególne czynności medyczne. Opisano, jak dostępność zasobów ludzkich i przestrzeni wpływa na wydajność obszarów oddziału ratunkowego. Ciekawy jest również przykład wykorzystania symulacji zdarzeń dyskretnych do zarządzania oddziałem ratunkowym w przypadku nagłego wzrostu liczby pacjentów, jaki ma miejsce podczas regionalnych katastrof, takich jak np. trzęsienie ziemi (Fava et al., 2022). Celem tych badań było określenie, jak różne wzorce zwiększonego napływu pacjentów wpływają na kluczowe wskaźniki wydajności oddziału. Wykorzystując oprogramowanie Arena, analizowano takie parametry jak czasy oczekiwania pacjentów, całkowite czasy pobytu oraz wykorzystanie zasobów oddziału. Model wykorzystano do opracowania planu awaryjnego na wypadek urzeczywistnienia się klęsk żywiołowych.

Ważnym i kosztownym elementem szpitala są również oddziały intensywnej terapii. Zapotrzebowanie na łóżka na tych oddziałach rośnie z roku na rok, także ze względu na pandemię COVID-19 (Głód & Rogowska, 2024). Szpitale muszą być w stanie się dostosować, nie tylko zwiększając liczbę łóżek, ale też zarządzając przepływem pacjentów, tak by nie było opóźnień w ich przenoszeniu na inne oddziały. Modelowanie DES może być wykorzystane do określenia optymalnej liczby łóżek na oddziale intensywnej terapii (OIT) oraz symulację scenariuszy „co-jeśli”, aby ocenić wpływ różnych czynników, takich jak zwiększenie liczby łóżek, zwiększenie zapotrzebowania i redukcja opóźnień w przenoszeniu pacjentów poza OIT na wskaźniki wykorzystania łóżek i czas pełnego obłożenia oddziału (Williams et al., 2020). Takie badania zostały wykonane na podstawie danych z bazy WardWatcher (Critical Care Audit, Yorkshire, Wielka Brytania), gdzie wykorzystano 1637 rekordów pacjentów obejmujących okres od kwietnia 2017 roku do marca 2018 roku oraz dane z Intensive Care National Audit and Research Centre, dotyczące dwóch istniejących oddziałów intensywnej terapii z okresu od stycznia 2016 roku do grudnia 2017 roku zawierające 2650 rekordów pacjentów. Modelowanie i symulację przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania Simul8. Autorzy badania w scenariuszach „co by było, gdyby” ustalili, że zwiększenie liczby łóżek z 23 do 28 przy utrzymaniu stałego wskaźnika przyjęć zmniejsza średni wskaźnik obłożenia do 70%, jednak

przewidywany 4-procentowy roczny wzrost liczby przyjęć może przeciążyć nawet oddział z 28 łózkami, jeżeli będą powtarzać się przypadki opóźnionego przenoszenia pacjentów na oddziały.

Kolejny przykład wskazuje na efekty wykorzystania symulacji zdarzeń dyskretnych w zarządzaniu siecią oddziałów intensywnej terapii w kontekście planowania zasobów w odpowiedzi na pandemię COVID-19 (Rutherford et al., 2022). Model obejmował przepływ pacjentów wewnątrz oddziałów każdego ze szpitali oraz transfery pacjentów pomiędzy szpitalami w celu zarządzania zdolnością oddziałów intensywnej terapii z uwzględnieniem zasobów takich jak łóżka, respiratory oraz personel medyczny. Do modelowania wykorzystano bazę danych, która zawiera szczegółowe informacje o przyjęciach w większości szpitali w Kolumbii Brytyjskiej w Kanadzie w latach 2010-2020. Autorzy wykorzystali oprogramowanie AnyLogic do implementacji modelu symulacji. Jak zauważyli, symulacja może być wykorzystana do wspierania planowania operacyjnego pod kątem przyszłych wzrostów zapotrzebowania na intensywną terapię, która odgrywa kluczową rolę w zwiększaniu zdolności systemu opieki zdrowotnej, zarówno podczas normalnej pracy, jak i w sytuacjach kryzysowych.

W związku z wyzwaniem opieki zdrowotnej pod wpływem pandemii COVID-19 wykorzystano też modelowanie i symulację zdarzeń dyskretnych do zarządzania masowymi centrami szczepień, zdolnymi do szybkiego i bezpiecznego obchodzenia się z dużą liczbą pacjentów (Sala et al., 2023). Badania te obejmowały opracowanie cyfrowego modelu takiej placówki w Bergamo we Włoszech, przy użyciu oprogramowania FlexSim Healthcare. Można też znaleźć wiele innych artykułów raportujących wykorzystanie DES w tym trudnym dla ochrony zdrowia okresie pandemii (Clarke, 2021; Ortiz-Barrios et al., 2023; Qureshi et al., 2024).

Chociaż DES w sektorze opieki zdrowotnej jest wykorzystywany w większości dla jednostki i koncentruje się na śledzeniu procesów na poziomie operacyjnym, to można znaleźć artykuły pokazujące stosowanie tej metody na bardziej zagregowanym poziomie, zwłaszcza gdy naukowcy zamierzają powiązać globalne trendy (np. demografia) z procesami leczenia, które odnoszą się do małych, wyraźnie wyróżniających się grup pacjentów. Przykładem może być model DES zbudowany w celu prognozowania przyszłego zapotrzebowania na opiekę zdrowotną w oparciu o prognozy populacji dla regionu Dolnego Śląska. Prognozy populacyjne, sformułowane na podstawie eksperymentów symulacyjnych przeprowadzonych w poprzednich badaniach, zostały wprowadzone do modelu DES wraz z danymi pacjentów pobranymi z regionalnego funduszu zdrowia. Symulacja została przeprowadzona do 2030 roku, aby przewidzieć przyszłą liczbę starszych pacjentów w różnych kategoriach diagnostycznych. Wyniki pokazują, że zmiana struktury demograficznej, a w szczególności w starzenie się populacji, doprowadzi do znacznych zmian w zakresie dystrybucji potrzeb zdrowotnych w leczeniu szpitalnym (Mielczarek, 2021). Do tego typu problemów częściej jednak wykorzystywane są modele dynamiki systemowej SD (Barber & López-Valcárcel, 2010; Senese et al., 2015), która jest postrzegana jako bardziej preferowana technika modelowania dla problemów na poziomie strategicznym (Davahli et al., 2020).

Podsumowanie

Przy refundacyjnym sposobie finansowania podmiotów ochrony zdrowia priorytetem dla zarządzających jest maksymalizacja efektywności operacyjnej i redukcja niepotrzebnych kosztów, tj. marnotrawstwa, przy jednoczesnym utrzymaniu lub poprawie jakości świadczonych usług. Dlatego na zarządzających wywierana jest presja, aby podejmowali trudne decyzje operacyjne i budżetowe prowadzące do poprawy skomplikowanych systemów. DES pozwala im testować scenariusze zmian, a tym samym bazować na twardych danych zamiast opierać swoje decyzje na subiektywnych odczuciach. Wykorzystanie DES w zarządzaniu podmiotami opieki zdrowotnej zwykle koncentruje się na: (1) poprawie przepływu pacjentów, (2) zarządzaniu liczbą łóżek, (3) ustalaniu harmonogramu pracy personelu, (4) zarządzaniu procedurami przyjmowania pacjentów i planowania dla nich usług oraz (5) wykorzystaniu zasobów pomocniczych (np. laboratoriów, aptek). Jednak DES jest metodą czasochłonną i kosztochłonną, wymagającą specyficznych kompetencji, np. probabilistycznego rozumowania uwzględniającego niepewności, ryzyka oraz statystykę. Dlatego jest ona efektywna dla najważniejszych problemów szpitala, które w zasadzie nie są możliwe do analizy przy pomocy tradycyjnych metod, jak np. arkusze kalkulacyjne. Przykłady zastosowania DES pokazane w niniejszym artykule dotyczą takich właśnie zastosowań. Sale operacyjne to najkosztowniejsze w utrzymaniu zasoby szpitala, które skupiają także najcenniejszych pracowników: chirurgów, anestezjologów i instrumentariuszki. Zatem każda nieefektywność wiąże się w tym przypadku z wysokimi kosztami. Oddziały ratunkowe i oddziały intensywnej terapii to obszary, do których dostęp jest często na wagę zdrowia lub nawet życia pacjenta. W tych obszarach, gdzie krytycznym celem jest uzyskanie wysokiego poziomu wydajności, zastosowanie metody DES przyniesie najlepsze efekty, oceniając stosunek korzyści do nakładów. Leży to w interesie zarówno świadczeniodawców usług w ochronie zdrowia, jak i świadczeniobiorców. I warto rozważyć utworzenie zespołu na szczeblu centralnym wspomagającego szpitala i inne jednostki ochrony zdrowia w optymalizacji działalności kluczowych obszarów. Na przykład wykorzystanie metody DES wymaga opracowania ram, być może nawet struktur, które mogłyby być wykorzystane jako podstawa modelowania i badania scenariuszy zmian w ochronie zdrowia. Opracowanie ustandaryzowanego sposobu tworzenia i wykorzystania DES wsparte przykładami krajowymi jego wykorzystania w newralgicznych obszarach dałoby zarządzającym obraz możliwości wykorzystania tej metody w usprawnianiu działalności. Analizowane przeglądy literatury wskazywały, że wiedza odnośnie wykorzystania DES w ochronie zdrowia jest na poziomie akademickim i w nielicznych przypadkach wdrożeń jest wykorzystywana do wdrażania rzeczywistych zmian. Na obecnym etapie badania zastosowania DES w ochronie zdrowia opracowywane są głównie przez naukowców wytyczne dotyczące tego, jak najlepiej zastosować DES do specyficznych problemów w ochronie zdrowia. Na przykład jak tworzyć hybrydowe modele DES, łącząc je z metodologiami mapowania, udoskonalania, modelami matematycznymi i statystyką. Największy postęp w realizacji tych prac można zauważyć poprzez publikacje autorów ze Stanów Zjednoczonych, Wielkiej Brytanii i Kanady. DES może być wartościowym narzędziem wspomagającym

zarządzanie opieką zdrowotną, oferującym liczne korzyści w zakresie poprawy efektywności operacyjnej, planowania i optymalizacji procesów. Wymaga jednak badań, których wynikiem byłyby praktyczne wdrożenia zmian w podmiotach opieki zdrowotnej. Pozwoliłyby one na zweryfikowanie postrzeganej użyteczności DES oraz umożliwiły sformułowanie praktycznych wskazówek zastosowania tej metody w zarządzaniu podmiotami opieki zdrowotnej.

Literatura

- Abourraja, M. N., Marzano, L., Raghothama, J., Asl, A. B., Darwich, A. S., Meijer, S., Lethvall, S., & Falk, N. (2022). A data-driven discrete event simulation model to improve emergency department logistics. *2022 Winter Simulation Conference (WSC)*, 748-759. DOI: 10.1109/WSC57314.2022.10015465
- Abubakar, A. M., Adamu, A., Abdulkadir, A., & Abdulkadir, H. S. (2020). Discrete event simulation of clients flow in ante-natal clinic. *Asian Journal of Probability and Statistics*, 6(2), 63-78. DOI: 10.9734/ajpas/2020/v6i230159
- Barber, P., & López-Valcárcel, B. G. (2010). Forecasting the need for medical specialists in Spain: Application of a system dynamics model. *Human Resources for Health*, 8(1), 24. DOI: 10.1186/1478-4491-8-24
- Brennan, A., Chick, S. E., & Davies, R. (2006). A taxonomy of model structures for economic evaluation of health technologies. *Health Economics*, 15(12), 1295-1310. DOI: 10.1002/hec.1148
- Castanheira-Pinto, A., Gonçalves, B. S., Lima, R. M., & Dinis-Carvalho, J. (2021). Modeling, assessment and design of an emergency department of a public hospital through discrete-event simulation. *Applied Sciences*, 11(2), 805. DOI: 10.3390/app11020805
- Celano, G., Costa, A., Fichera, S., & Tringali, G. (2012). Linking Six Sigma to simulation: A new roadmap to improve the quality of patient care. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 25(4), 254-273. DOI: 10.1108/09526861211221473
- Clarke, R. (2021). A simulation model for COVID-19 public health management: Design and preliminary evaluation. *34th Bled eConference Digital Support from Crisis to Progressive Change: Conference Proceedings*, 1-27. DOI: 10.18690/978-961-286-485-9.1
- Collins, A. J., Sabz Ali Pour, F., & Jordan, C. A. (2023). Past challenges and the future of discrete event simulation. *The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology*, 20(3), 351-369. DOI: 10.1177/15485129211067175
- Davahli, M. R., Karwowski, W., & Taiar, R. (2020). A system dynamics simulation applied to healthcare: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 5741. DOI: 10.3390/ijerph17165741
- Doudareva, E., & Carter, M. (2022). Discrete event simulation for emergency department modelling: A systematic review of validation methods. *Operations Research for Health Care*, 33, 100340. DOI: 10.1016/j.orhc.2022.100340
- Enayati, S., Mayorga, M. E., Rajagopalan, H. K., & Saydam, C. (2018). Real-time ambulance redeployment approach to improve service coverage with fair and restricted workload for EMS providers. *Omega*, 79, 67-80. DOI: 10.1016/j.omega.2017.08.001
- Fava, G., Giovannelli, T., Messedaglia, M., & Roma, M. (2022). Effect of different patient peak arrivals on an emergency department via discrete event simulation: A case study. *SIMULATION*, 98(3), 161-181. DOI: 10.1177/00375497211038756
- Forbus, J. J., & Berleant, D. (2022). Discrete-event simulation in healthcare settings: A review. *Modelling*, 3(4), 417-433. DOI: 10.3390/modelling3040027
- Głód, G., & Rogowska, K. (2024). Zarządzanie zmianą jako kluczowy czynnik funkcjonowania szpitala w warunkach pandemii SARS-CoV-2. *Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów*, 194. DOI: 10.33119/SIP.2023.194.10
- Gunal, M. M. (2012). A guide for building hospital simulation models. *Health Systems*, 1(1), 17-25. DOI: 10.1057/hs.2012.8

- Hajjarsaraei, H., Shirazi, B., & Rezaeian, J. (2018). Scenario-based analysis of fast track strategy optimization on emergency department using integrated safety simulation. *Safety Science*, 107, 9-21. DOI: 10.1016/j.ssci.2018.03.025
- Hassanzadeh, H., Boyle, J., Khanna, S., Biki, B., Syed, F., Sweeney, L., & Borkwood, E. (2023). A discrete event simulation for improving operating theatre efficiency. *The International Journal of Health Planning and Management*, 38(2), 360-379. DOI: 10.1002/hpm.3589
- Hester, P. T., & Adams, K. MacG. (2017). Complex systems modeling. W: P. T. Hester & K. MacG. Adams, *Systemic Decision Making* (T. 33, s. 101-125). Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-54672-8_5
- Huynh, N., Snyder, R., Vidal, J. M., Sharif, O., Cai, B., Parsons, B., & Bennett, K. (2016). Assessment of the nurse medication administration workflow process. *Journal of Healthcare Engineering*, 2016, 1-14. DOI: 10.1155/2016/6823185
- Jurczyk-Bunkowska, M. (2023). Wykorzystanie dyskretnej symulacji komputerowej w zarządzaniu systemami wytwórczymi małych i średnich przedsiębiorstw. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie*, 49(1), 61-74. DOI: 10.17512/znpcz.2023.1.05
- Karnon, J., Stahl, J., Brennan, A., Caro, J. J., Mar, J., & Möller, J. (2012). Modeling using discrete event simulation: A report of the ISPOR-SMDM Modeling Good Research Practices Task Force-4. *Medical Decision Making*, 32(5), 701-711. DOI: 10.1177/0272989X12455462
- Kuzdrall, P. J., Kwak, N. K., & Schmitz, H. H. (1981). Simulating space requirements and scheduling policies in a hospital surgical suite. *SIMULATION*, 36(5), 163-171. DOI: 10.1177/003754978103600504
- Liu, S., Li, Y., Triantis, K. P., Xue, H., & Wang, Y. (2020). The diffusion of discrete event simulation approaches in health care management in the past four decades: A comprehensive review. *MDM Policy & Practice*, 5(1), 238146832091524. DOI: 10.1177/2381468320915242
- Mielczarek, B. (2021). A simulation approach to evaluate the effect of demographic changes on projected number of patients across disease categories. *Journal of Computational Science*, 53, 101393. DOI: 10.1016/j.jocs.2021.101393
- Ortiz-Barrios, M., Arias-Fonseca, S., Ishizaka, A., Barbati, M., Avendaño-Collante, B., & Navarro-Jiménez, E. (2023). Artificial intelligence and discrete-event simulation for capacity management of intensive care units during the Covid-19 pandemic: A case study. *Journal of Business Research*, 160, 113806. DOI: 10.1016/j.jbusres.2023.113806
- Qureshi, S. M., Greig, M. A., Bookey-Bassett, S., Purdy, N., Kelly, H., vanDeursen, A., & Neumann, W. P. (2024). Computer simulation as a macroergonomic approach to assessing nurse workload and biomechanics related to COVID-19 patient care. *Applied Ergonomics*, 114, 104124. DOI: 10.1016/j.apergo.2023.104124
- Reece, K., Avansino, J., Brumm, M., Martin, L., & Day, T. E. (2021). Determining future capacity for an ambulatory surgical center with discrete event simulation. *International Journal of Healthcare Management*, 14(3), 920-925. DOI: 10.1080/20479700.2020.1720940
- Rutherford, A. R., Zimmerman, S. L., Moeini, M., Barket, R., Ahkioon, S., & Griesdale, D. E. G. (2022). Simulation model of a multi-hospital critical care network. *2022 Winter Simulation Conference (WSC)*, 951-960. DOI: 10.1109/WSC57314.2022.10015490
- Sala, F., D'Urso, G., & Giardini, C. (2023). Discrete-event simulation study of a COVID-19 mass vaccination centre. *International Journal of Medical Informatics*, 170, 104940. DOI: 10.1016/j.ijmedinf.2022.104940
- Schoenfelder, J., Kohl, S., Glaser, M., McRae, S., Brunner, J. O., & Koperna, T. (2021). Simulation-based evaluation of operating room management policies. *BMC Health Services Research*, 21(1), 271. DOI: 10.1186/s12913-021-06234-5
- Senese, F., Tubertini, P., Mazzocchi, A., Lodi, A., Ruozzi, C., & Grilli, R. (2015). Forecasting future needs and optimal allocation of medical residency positions: The Emilia-Romagna Region case study. *Human Resources for Health*, 13(1), 7. DOI: 10.1186/1478-4491-13-7
- Sowada, C., Sagan, A., Kowalska-Bobko, I., Badora-Musial, K., Bochenek, T., Domagala, A., Dubas-Jakobczyk, K., Kocot, E., Mrozek-Gasiorowska, M., Sitko, S., Szetela, A. M., Szetela, P., Tambor, M., Wieckowska, B., Zabdyr-Jamroz, M., & van Ginneken, E. (2019). Poland: Health system review. *Health Systems in Transition*, 21(1), 1-234.

- Standfield, L., Comans, T., & Scuffham, P. (2014). Markov modeling and discrete event simulation in health care: A systematic comparison. *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, 30(2), 165-172. DOI: 10.1017/S0266462314000117
- Vázquez-Serrano, J. I., Peimbert-García, R. E., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2021). Discrete-event simulation modeling in healthcare: A comprehensive review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(22), 12262. DOI: 10.3390/ijerph182212262
- Wang, L., & Demeulemeester, E. (2023). Simulation optimization in healthcare resource planning: A literature review. *IIE Transactions*, 55(10), 985-1007. DOI: 10.1080/24725854.2022.2147606
- Williams, E., Szakmany, T., Spernaes, I., Muthuswamy, B., & Holborn, P. (2020). Discrete-event simulation modeling of critical care flow: New hospital, old challenges. *Critical Care Explorations*, 2(9), e0174. DOI: 10.1097/CCE.0000000000000174
- Yip, K. C. M., Huang, K. W. H., Ho, E. W. Y., Chan, W. K., & Lee, I. L. Y. (2017). Optimized staff allocation for inpatient phlebotomy and electrocardiography services via mathematical modelling in an acute regional and teaching hospital. *Health Systems*, 6(2), 102-111. DOI: 10.1057/s41306-016-0001-8
- Zhang, X. (2018). Application of discrete event simulation in health care: A systematic review. *BMC Health Services Research*, 18(1), 687. DOI: 10.1186/s12913-018-3456-4

Wkład autorów: Magdalena Jurczyk-Bunkowska – 100%.

Konflikt interesów: Brak konfliktu interesów.

Źródła finansowania: Środki finansowe dyscypliny nauk o zarządzaniu i jakości Politechniki Opolskiej.

A REVIEW OF THE USE OF DISCRETE EVENT SIMULATION IN HEALTHCARE MANAGEMENT

Abstract: Healthcare systems are characterized by high complexity, variability, and the necessity for flexibility. Increasing health and economic challenges, along with new technologies, exert pressure on managers to implement changes within these systems. Discrete Event Simulation (DES) enables detailed modeling of every system component, accounting for the variability specific to healthcare. This approach facilitates a better understanding of the system and allows for testing various change scenarios in a virtual environment, aiding data-driven management decision-making. The article explores the application of DES in managing healthcare entities. It discusses the limitations of this methodology, highlights the types of problems addressed through its use, identifies the most commonly used software, and provides examples of DES implementation in practice. The article is based on four systematic literature reviews covering publications up to 2021, supplemented by an independent analysis of articles published up to June 2024.

Keywords: discrete event simulation (DES), healthcare management, healthcare systems, literature review, resource management

Articles published in the journal are made available under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License. Certain rights reserved for the Czestochowa University of Technology.

