

Justyna UZIAŁKO*,
Edward RADOSIŃSKI*

METODY ZARZĄDZANIA ZASOBAMI NA PRZYKŁADZIE SŁUŻBY ZDROWIA

W artykule przedstawiono i zanalizowano problem zarządzania zasobami w służbie zdrowia. Omówiono podstawowe zagadnienia w procesie alokacji zasobów medycznych. Zaprezentowano przykłady zastosowania wybranych metod: programowania matematycznego (liniowego, całkowitoliczbowego, celowego, sieciowego), teorii kolejek, modelowania symulacyjnego, systemów hybrydowych oraz standardowych metod kosztowo-efektywnościowych do analizy zagadnień, związanych z podziałem zasobów w systemach opieki zdrowotnej. Przedyskutowano użyteczność tych metod do rozwiązywania szczegółowych problemów dotyczących zarządzania zasobami medycznymi.

Słowa kluczowe: *zasoby opieki zdrowotnej, zarządzanie zasobami służby zdrowia, programowanie liniowe, programowanie całkowitoliczbowe, programowanie celowe, programowanie sieciowe, teoria kolejek, modelowanie symulacyjne, systemy hybrydowe, metody kosztowo-efektywnościowe*

1. Wprowadzenie

Sprawne kierowanie współczesnymi organizacjami zależy w znacznym stopniu od właściwego zarządzania ich zasobami. Ciągła konkurencja na rynku oraz ograniczoność zasobów wymusza ostrożne, a nierzadko wręcz naukowe, podejście do alokacji zasobów zarówno w organizacjach nastawionych na zysk, jak i non-profit. Problem odpowiedniego zarządzania staje się szczególnie istotny w sytuacji, gdy mamy do czynienia z dobrami, które nie występują powszechnie w danym obszarze. Zagadnienie właściwej alokacji nabiera jeszcze większej wagi, gdy te ograniczone zasoby mają zaspokoić newralgiczne potrzeby społeczne. Kwestia zarządzania dobrami jest szczególnie ważna w obszarze służby zdrowia – między innymi ze względu na zależność

* Instytut Organizacji i Zarządzania, Politechnika Wroclawska, ul. Smoluchowskiego 25, 50-372 Wrocław, e-mail: Justyna.Uzialko@pwr.wroc.pl, Edward.Radosinski@pwr.wroc.pl

między wielkością i jakością zasobów a zdrowiem i życiem ludzi czy też na wpływ właściwego rozdziału zasobów kadrowych i materialnych na poziom świadczonych usług medycznych.

W niniejszym artykule omówiono wybrane podejścia do rozwiązywania problemów zarządzania zasobami opieki zdrowotnej, nazywane dalej skrótowo zasobami medycznymi, poczynając od metod programowania matematycznego – programowania liniowego, całkowitoliczbowego, celowego, sieciowego. Następnie skupiono się na teorii kolejek, w kolejnym rozdziale przedstawiono modelowanie symulacyjne, zwłaszcza symulację dyskretną, zaprezentowano także hybrydy integrujące m.in. programowanie liniowe bądź modele symulacyjne z technikami sztucznej inteligencji. Przegląd zamyka omówienie możliwości zastosowania standardowych metod kosztowo-efektywnościowych w zarządzaniu zasobami medycznymi. Użyteczność tych podejść w rozwiązywaniu różnych problemów alokacji zasobów w służbie zdrowia pokazano na przykładzie: przydziału środków finansowych na opiekę zdrowotną, wykorzystania sprzętu medycznego, sal szpitalnych (zwłaszcza oddziałów chirurgicznych i intensywnej terapii) oraz łóżek szpitalnych, harmonogramowania pracy personelu medycznego, a także alokacji zasobów rzadkich, specyficznych dla opieki zdrowotnej – między innymi krwi czy narządów do przeszczepu.

2. Podstawowe problemy w alokacji zasobów

Ogólnie przez alokację zasobów rozumiemy rozplanowanie wykorzystania środków, którymi dysponujemy w celu osiągnięcia w przyszłości określonych zamierzeń. Alokacja to składowa procesu zarządzania, które jest pojęciem znacznie szerszym. Zarządzanie zasobami obejmuje takie zagadnienia jak ustalenie odpowiedniego poziomu dóbr czy kontrola procesu ich wykorzystania, podczas gdy alokacja dotyczy rozdziału zasobów już posiadanych.

Zagadnienie alokacji może być rozpatrywane na poziomie całego regionu lub kraju oraz w ramach pojedynczych zakładów opieki zdrowotnej. Zarówno w pierwszym, jak i drugim przypadku wytycznymi w procesie rozdziału zasobów mogą być kwestie polityczne, prawa rynkowe, jak również wyniki badań analitycznych. Osoby odpowiedzialne za zarządzanie dobrami służby zdrowia powinny mieć stale na uwadze konieczność zachowania odpowiednich dla danego przypadku proporcji pomiędzy wymogami rynkowymi, społecznymi, politycznymi, a rezultatami badań przeprowadzanych za pomocą metod naukowych.

Jednym z podstawowych problemów w zarządzaniu zasobami jest ich ograniczoność. W związku z tym decydenci powinni zdawać sobie sprawę, że nawet właściwe (z określonego punktu widzenia) przydzielenie zasobów w jednym miejscu jest zwykle dokonywane kosztem innego kierunku alokacji. Poza tym rozdzielane zasoby czę-

sto są ze sobą powiązane i dlatego, dokonując ich podziału, należy być świadomym potencjalnych zależności pomiędzy nimi. Nie zawsze też jest możliwe, aby – w sytuacji niedoborów – określony zasób można było łatwo zastąpić innym; ta trudność w substytucji dóbr dodatkowo utrudnia proces zarządzania zasobami. Kwestia zarządzania zasobami nabiera tym większego znaczenia, im wrażliwszy na zmiany jest obszar ich alokacji, im większy wpływ na daną organizację wywrze modyfikacja w poziomie jej zasobów [15]. Jakkolwiek zagadnienie to zawsze jest istotne, to w analizowanych w niniejszym artykule instytucjach medycznych nabiera ono szczególnego znaczenia, gdyż błędne decyzje mogą tu kosztować zdrowie, a nawet życie. Brak miejsc w szpitalach i przychodniach, przestarzały sprzęt medyczny, trudności w zaopatrzeniu w leki oraz podstawowe środki higieniczne, a przede wszystkim niedobory personelu medycznego wymuszają konieczność racjonalnego zarządzania zasobami opieki medycznej przez decydentów tego obszaru, a zatem zarządzania opartego na wynikach dogłębnych studiów analitycznych.

3. Zastosowania wybranych metod do alokacji zasobów w służbie zdrowia

Możliwość zastosowania alternatywnych metod do analizy problemu zarządzania zasobami w służbie zdrowia powoduje, iż koniecznością staje się ustalenie nie tylko tego, w jaki sposób zastosować daną metodę do rozwiązania określonego problemu, ale również odpowiedź na pytanie, które z dostępnych podejść wybrać. W tym rozdziale zaprezentowano różne grupy metod, które można wykorzystać do analizy odmiennych problemów w alokacji zasobów medycznych.

Na podstawie przeglądu literatury możemy stwierdzić, że do analizy wybranych problemów zarządzania zasobami w opiece zdrowotnej stosuje się następujące metody:

1) programowanie matematyczne (m.in. programowanie liniowe, całkowitoliczbowe, celowe, sieciowe) – do organizacji pracy personelu medycznego, określenia poziomu wykorzystania zasobów materialnych;

2) teorię kolejek – do ustalenia schematów napływu pacjentów do systemu oraz harmonogramów pracy lekarzy i pielęgniarek;

3) modelowanie symulacyjne (m.in. symulacja dyskretna, symulacja Monte Carlo) – do określenia sposobu napływu pacjentów do systemu i zorganizowania pracy personelu medycznego, zbadania efektywności podjętych strategii leczenia pacjentów, zarządzania jednostkami służby zdrowia w aspekcie odpowiedniego wykorzystania zasobów;

4) hybrydy łączące różne podejścia (m.in. programowanie liniowe bądź modelowanie symulacyjne z technikami sztucznej inteligencji) – do układania harmonogramów pracy personelu lekarzy i pielęgniarek;

5) standardowe metody kosztowo-efektywnościowe (m.in. CEA, CBA, CUA) – do zbadania efektywności podjętych strategii leczenia pacjentów, zarządzania jednostkami służby zdrowia pod względem jak najlepszego wykorzystania zasobów.

3.1. Metody programowania matematycznego w obszarze organizacji służby zdrowia

Metody programowania matematycznego stosuje się w rozwiązywaniu różnych problemów w obszarze służby zdrowia, analizowaniu ich i proponowaniu usprawnień. Za pomocą tych podejść przedstawiane są zagadnienia optymalizacyjne, formułowane funkcje celu oraz warunki ograniczające.

3.1.1. Programowanie liniowe

Programowanie liniowe należy do grupy zagadnień z zakresu programowania matematycznego. Programowanie matematyczne stosowane jest do rozwiązywania problemów optymalizacyjnych. Poszukując wyniku optymalnego, formułuje się funkcję celu (wraz z ograniczeniami) o charakterze maksymalizacyjnym (na przykład osiągnięcie jak największego zysku) lub minimalizacyjnym (na przykład poniesienie jak najmniejszych kosztów). W programowaniu liniowym dodatkowo zakłada się, że zarówno funkcja celu, jak i warunki ograniczające mają charakter liniowy.

Ogólna konstrukcja modeli, w których wykorzystano programowanie liniowe do zarządzania zasobami medycznymi opiera się na zbiorze równań, w którym jako kryterium optymalizacyjne przyjmuje się minimalizację skutków negatywnych, np. kosztów funkcjonowania placówki medycznej, czasu oczekiwania pacjentów na zabieg lub maksymalizację skutków pozytywnych – zysku, efektywności działalności danej jednostki medycznej. Uwzględnia się przy tym różne ograniczenia, takie jak liczba sal szpitalnych, dostępność sprzętu do przeprowadzania operacji czy liczba personelu medycznego.

Programowanie liniowe może być wykorzystane do analizy wielu zagadnień w zarządzaniu zasobami opieki zdrowotnej; między innymi do odpowiedniej alokacji tych zasobów w celu osiągnięcia jak najlepszych wyników finansowych, zaspokojenia potrzeb pacjentów, organizacji pracy w placówkach medycznych. Epstein i współautorzy [21] proponują zastosowanie programowania liniowego do optymalnego podziału dóbr z zakresu opieki zdrowotnej. Rozpatrując zagadnienie alokacji, badacze ci uwzględniają zarówno długoterminowe koszty każdej strategii leczenia, jak i ograniczenia wynikające z krótkoterminowych reguł budżetowych. W tym przypadku funkcja celu pozwala na wyznaczenie optymalnych wartości (na przykład poziomu kosz-

tów), osiąganych w wyniku wdrożenia różnych strategii leczenia. Maksymalizacji poddawana jest korzyść dla pacjenta, wynikająca z wybranego podejścia (zyskane dodatkowo lata życia, tzw. QALYs w wyniku stosowania określonych strategii leczenia), jednocześnie przy wzięciu pod uwagę ustalonych ograniczeń.

Greenwald i współautorzy [26] wskazują na użyteczność stosowania programowania liniowego do alokacji specjalistycznych urządzeń diagnostycznych. Badacze analizują problem odpowiedniego rozmieszczenia skomputeryzowanych skanerów tomograficznych (*computerized tomographic scanners*) pomiędzy różnymi obszarami terytorialnymi, aby jak najefektywniej pomóc pacjentom. Podkreślają wagę alokacji grupy przynajmniej kilku zasobów jednocześnie. W skonstruowanej przez nich funkcji celu pod uwagę brane są między innymi takie parametry jak liczba skanerów czy koszty transportu.

Mulholland i współautorzy [45] proponują zastosowanie programowania liniowego w planowaniu działalności oddziału chirurgicznego, w tym do oszacowania wpływu takich elementów jak ograniczoność zasobów szpitalnych czy wprowadzenie zmian w procedurach chirurgicznych na uzyskiwane wyniki finansowe. Programowanie liniowe można także wykorzystać do zmaksymalizowania stopnia wykorzystania sali operacyjnej – w aspekcie czasu jej zajęcia i otrzymywanych wyników finansowych [39]. Należy podkreślić, że oddziały chirurgiczne są zwykle miejscami generowania największych kosztów w działalności szpitala, w związku z czym dbanie o jak najbardziej efektywną alokację zasobów w tym obszarze może się przyczynić do istotnej poprawy sytuacji finansowej danej placówki medycznej. Poszukując odpowiedniego dla funkcjonowania danej jednostki poziomu zasobów, bierze się pod uwagę zarówno zarządzanie zasobami rzeczowymi (np. przepustowością sal operacyjnych), jak i ludzkimi (np. ustalanie harmonogramów pracy personelu medycznego).

3.1.2. Programowanie całkowitoliczbowe

Programowanie całkowitoliczbowe to szczególny przypadek programowania liniowego, gdzie na zmienne decyzyjne nałożono warunek przynależności do zbioru liczb całkowitych dodatnich.

Podejście to znajduje zastosowanie w opracowywaniu harmonogramu pracy sal operacyjnych [34]. Biorąc pod uwagę między innymi takie zmienne jak: liczba sal operacyjnych, dostępnych łóżek, czy pacjentów, którzy mogą być operowani danego dnia, a także czas i koszt pobytu pacjenta w szpitalu, proponuje się metodę minimalizowania kosztów funkcjonowania szpitala przy utrzymaniu efektywnego wykorzystania jego zasobów. Denton i współautorzy [20] prezentują możliwość zastosowania całkowitoliczbowego programowania liniowego do opracowania optymalnego harmonogramu pracy zespołu chirurgicznego. Zdaniem tych badaczy zastosowanie dwuetapowego stochastycznego modelu liniowego może skutkować znaczącym zmniejsze-

niem czasu oczekiwania na zabieg i związanych z tym kosztów, a także pełniejszym wykorzystaniem przepustowości sal operacyjnych. Problemem dopasowania zasobów szpitalnych do skali i struktury zapotrzebowań na interwencję chirurgiczną zajmują się Pham i Klinkert [46]. Mając na uwadze strukturę zabiegów chirurgicznych (etap przygotowawczy, operacyjny i pooperacyjny), badacze wykorzystują całkowitoliczbowe programowanie liniowe do poszukiwania odpowiedzi na pytania: *jak przydzielić zasoby szpitalne do poszczególnych operacji oraz jak zaplanować zabiegi, dysponując przypisanymi zasobami*. Z kolei Venkataraman i Brusco [65] skupiają się na zastosowaniu programowania całkowitoliczbowego do opracowania półrocznego harmonogramu pracy pielęgniarek w szpitalu – w podziale na kolejne miesiące. Autorzy analizują problem w dwóch etapach; najpierw zajmują się zaplanowaniem pracy personelu w podanym okresie, a następnie ustalają indywidualne harmonogramy dla poszczególnych pielęgniarek.

Zagadnienie wykorzystania programowania liniowego w alokacji zasobów w służbie zdrowia przedstawiają w sposób nieco odmienny od zaprezentowanych w tym podrozdziale Stinnett i Paltiel [57]. Autorzy zajmują się problemem efektywnej alokacji zasobów w służbie zdrowia, a przedstawiona przez nich funkcja celu mierzy korzyści zdrowotne pacjentów, osiągnięte w wyniku zastosowania określonych strategii alokacji zasobów. Badacze porównują wykorzystanie programowania liniowego w oparciu o analizę kosztowo-efektywnościową (CEA) (o której szerzej w dalszej części artykułu) z ogólnym zastosowaniem programowania całkowitoliczbowego. W obydwu przypadkach jako kryterium optymalizacyjne autorzy przyjmują maksymalizowanie efektywności oraz minimalizację kosztów wdrożonych programów alokacji zasobów. Z tym, że przy poszukiwaniu strategii maksymalizowania efektywności dopuszczona jest możliwość częściowej realizacji danego programu, natomiast przy minimalizacji kosztów zakłada się jego niepodzielność (wykonanie może być rozpatrywane jedynie w kategoriach 0 lub 1).

3.1.3. Programowanie celowe

Programowanie celowe stanowi uogólnienie programowania liniowego – metodę tę wykorzystuje się do analizy zagadnień charakteryzujących się więcej niż jednym celem do osiągnięcia. Dopuszcza się analizę celów sprzecznych, a granica pomiędzy nimi i ograniczeniami może nie być wyraźna. Oznacza to, że w przypadku analizy dużej liczby celów część z nich może być potraktowana nie jako cele do osiągnięcia, ale jako ograniczenia.

Przykładem zastosowania liniowego programowania celowego jest jego wykorzystanie do obniżenia kosztów działania szpitala. Blake i Carter [6] stosują metodę *case mix* (analogia do amerykańskiego systemu DRG) – narzędzie pomocne w analizie kosztów działalności jednostek medycznych – w jednym z kanadyjskich szpitali. Me-

toła polega na rozliczeniu kosztów za wykonane usługi medyczne w danym szpitalu poprzez klasyfikowanie pacjentów w grupy jednorodne pod względem zużycia określonych zasobów. W gestii szpitala pozostaje określenie rodzajów i liczby poszczególnych grup, rozliczanych na podstawie czynności medycznych poświęconych pacjentom, w ramach określonego z góry poziomu budżetu. Problem ten badacze rozwiązują za pomocą programowania celowego. Jako optymalne zestawy usług medycznych podawane są często takie, które pozwolą na rozliczenie jak największej liczby czynności medycznych, nie zawsze jednak brane są pod uwagę zarobki lekarzy, a także ich kompetencje i preferencje. W artykule założono, że lekarze są zainteresowani utrzymaniem określonego poziomu grup *case mix*, a co za tym idzie również swoich dochodów w perspektywie wielu lat. Za pomocą programowania liniowego autorzy chcą ustalić dla zatrudnionych w analizowanym szpitalu lekarzy grupy *case mix* przy utrzymaniu stałych kosztów obsługi pacjentów. W modelu ujęto dwa cele: pierwszy odnosi się do ustalenia liczby i rodzajów poszczególnych grup dla wszystkich lekarzy pod względem możliwości ekonomicznych, drugi dotyczy dopasowania wspomnianych założeń do wymagań poszczególnych lekarzy.

W kolejnym artykule ci sami autorzy [7] przedstawiają problem wyboru odpowiednich sposobów finansowania działalności szpitala, mając na uwadze sposób opłacania lekarzy, aby był on korzystny i z punktu widzenia wyników finansowych jednostki, i dochodów poszczególnych lekarzy (oraz spełnienia zarówno ich celów medycznych, jak i ekonomicznych). Autorzy wychodzą od zaproponowanego wcześniej modelu z zakresu liniowego programowania celowego [6], jednak później rozważania swoje podpierają również zastosowaniem różnych heurystyk. Porównują m.in. metodę budżetu globalnego, przy czym lekarze opłacani są za usługę – *fee for service*, z metodą grup *case mix* i *fee for service*, a następnie oceniają ich wpływ na alokację zasobów szpitalnych.

Zastosowanie programowania celowego do zarządzania zasobami szpitalnymi prezentują również Azaiez i Sharif [2], Topaloglu [62], Kwak i Lee [40]. Pierwsi z nich wykorzystują programowanie celowe do zorganizowania pracy personelu pielęgniarskiego, z uwzględnieniem zachowania ciągłości opieki nad pacjentami, bez konieczności zwiększania liczby pracowników. Autorzy poszukują takiego zaplanowania pracy pielęgniarek, aby większość personelu pełniła dyżur w ciągu dnia, bez konieczności dużej liczby zmian nocnych, i nie występuje sytuacja, w której jedna osoba musiałaby pracować dwie zmiany pod rząd (dzień i noc). Z kolei Topaloglu stosuje programowanie celowe do skonstruowania zmianowego harmonogramu pracy ratowników medycznych (*emergency medicine residents*). Biorąc pod uwagę m.in. takie czynniki, jak: liczba pracowników, liczba i rodzaj zmian, planowane urlopy, autor buduje miesięczny grafik pracy dla izby przyjęć w szpitalu uniwersyteckim. Kwak i Lee zajmują się natomiast organizacją pracy jednostek służby zdrowia na poziomie strategicznym i operacyjnym. Zbudowany przez badaczy model może być zastosowany zarówno do efektywnego wykorzystania zasobów szpitalnych, zatrudnionego per-

sonelu, jak i do odpowiedniej konstrukcji budżetu szpitalnego czy oszacowania wartości określonych wskaźników medycznych (np. średnia długość pobytu pacjentów w szpitalu).

3.1.4. Programowanie sieciowe

Programowanie sieciowe umożliwia przedstawienie analizowanego problemu za pomocą grafu, co może okazać się użyteczne w rozwiązywaniu problemów zarządzania projektami, przedsięwzięciami.

Programowanie sieciowe może mieć zastosowanie w konstruowaniu harmonogramu pracy sali operacyjnej, jak to przedstawiono w pracy [29]. Autorzy skupiają się na przypisaniu pacjentów do poszczególnych sal – wraz z zarezerwowaniem dla nich odpowiedniego personelu, sprzętu i godzin operacji. W zaproponowanym modelu węzły reprezentują zadania (np. interwencja lekarska) oraz dostępne zasoby (np. sale operacyjne), a łuki – przypisanie zasobów szpitalnych do zadań. Millar i Kiragu [44] badają problem najkrótszej ścieżki w odniesieniu do opracowania harmonogramu pracy pielęgniarek w szpitalu. Analogią do poszukiwania najkrótszej drogi pomiędzy poszczególnymi punktami jest tu takie opracowanie harmonogramów pracy pielęgniarek, które charakteryzowałyby się najniższymi kosztami funkcjonowania. Autorzy posługują się grafami, za pomocą których przedstawiają różne kombinacje harmonogramów pracy w wybranym czasie; poszczególnym węzłom w sieci przypisują początek danej zmiany, jej długość i szacunkowy koszt. Ograniczenia, które autorzy musieli wziąć pod uwagę to m.in. konieczność zachowania 12-godzinnej przerwy pomiędzy kolejnymi zmianami, czy zatrudnianie jak najmniejszej liczby pielęgniarek pracujących w niepełnym wymiarze pracy – na rzecz osób zatrudnionych na pełny etat. Jaumard i współautorzy [33] analizują to samo zagadnienie, wstępnie korzystając z całkowitoliczbowego programowania liniowego w celu skonstruowania harmonogramu pracy dla zespołu pielęgniarek, spełniającego określone wymogi, a następnie badają problem najkrótszej ścieżki i stosują teorię grafów, aby otrzymać harmonogramy pracy dla poszczególnych pielęgniarek.

3.2. Teoria kolejek w problemach organizacji opieki medycznej

Teoria masowej obsługi dotyczy zagadnień związanych z analizą zgłoszeń napływających do systemu. Zgłoszenia mogą być obsługiwane według różnych algorytmów, na przykład: FIFO, LIFO, z uwzględnieniem priorytetów. Jeżeli organizacja procesu obsługi jest niewłaściwa, to w systemach pojawiają się kolejki, spowodowane między innymi zbyt dużą liczbą zgłoszeń przybywających do systemu, zbyt małą liczbą stanowisk obsługi, czy niepoprawnym zorganizowaniem harmonogramu wykorzy-

stania zasobów. Poza systemami, w których tworzą się kolejki, w literaturze przedmiotu omawiane są również takie, gdzie zgłoszenia są obsługiwane natychmiast po przybyciu [1]; technicznie zagadnienie to może być ujęte jako system z nieskończoną liczbą stanowisk. Jakkolwiek w rzeczywistości takie systemy nie występują, to, aby zilustrować omawiany obiekt, można sobie wyobrazić most, przez który przejeżdżają samochody poza godzinami szczytu, a gdzie czasem obsługi jest czas potrzebny do pokonania mostu. Symbolicznym zapisem tego typu systemów (prezentujących procesy Markova) jest notacja $M/G/\infty$, gdzie M oznacza rozkład wykładniczy przybywania zgłoszeń, G – ogólny rozkład ich obsługi, a ∞ – dążącą do nieskończoności liczbę stanowisk. Szczególnym przypadkiem jest tu forma $M/M/\infty$, gdzie M oznacza wykładniczy rozkład zarówno przybywania zgłoszeń, jak i ich obsługi ([1] za [35]). Cechą charakterystyczną tego typu systemów jest to, że całkowity czas pobytu zgłoszeń w systemie jest równy czasowi koniecznemu na ich obsłużenie.

Jak wspomniano, odpowiednia obsługa zgłoszeń napływających do systemu zależy od wielu czynników, na przykład liczby stanowisk czy czasu obsługi. Sprawne przyjmowanie pacjentów nabiera szczególnego znaczenia w obszarze służby zdrowia. Dzięki zastosowaniu teorii kolejek do rozwiązywania tego typu problemów możliwe jest efektywniejsze zorganizowanie procesu przyjmowania i leczenia pacjentów, a co za tym idzie również lepsze wykorzystanie zasobów. Fomundam i Herrmann [23] w swoim raporcie przedstawiają rezultaty wykorzystania teorii kolejek w usprawnianiu działania placówek służby zdrowia. Badacze ci zajmują się następującymi zagadnieniami: (1) analizą czasu oczekiwania oraz stopnia wykorzystania zasobów, (2) projektowaniem systemów z naciskiem na najbardziej poprawną alokację zasobów oraz (3) analizą funkcjonowania systemów przyjęć pacjentów. W raporcie autorzy rozpatrują problem celów, które uważają za konfliktowe: skrócenia czasu oczekiwania pacjentów na przyjęcie oraz zwiększenia stopnia wykorzystania zasobów (pracy personelu medycznego). Istotnym czynnikiem w oszacowaniu potencjalnych strat z tytułu wadliwego obsłużenia zgłoszeń jest określenie procentu osób rezygnujących z realizacji świadczeń medycznych (np. w wyniku zbyt długiego czasu oczekiwania). Przykładowym sposobem na zapobiegnięcie tego typu sytuacjom może być podział pacjentów na priorytetowych i standardowych, a następnie określenie odpowiedniego algorytmu obsługi czy skierowanie chorych na wykonanie dodatkowych badań, niezbędnych do postawienia diagnozy, właśnie w niezagospodarowanym czasie oczekiwania.

W literaturze przedmiotu można znaleźć analizę praktycznego zastosowania teorii kolejek w obszarze organizacji opieki medycznej. Wang przedstawia model kolejki pacjentów oraz zagadnienie ryzyka, związanego z długim czasem ich oczekiwania na przyjęcie w placówce medycznej [66]. Kwestia ta jest rozpatrywana w oparciu o tempo przybywania zgłoszeń do systemu, wydajność procesu ich obsługi oraz ryzyko zachorowalności. Analizie poddano model grupy pacjentów homogenicznych pod względem warunków początkowych (co oznacza na przykład, że wszyscy chorzy przybywają zgodnie z rozkładem wykładniczym, obsługiwani są również według tego

samego typu schematu) oraz model grupy pacjentów heterogenicznych z zastosowaniem dyscypliny priorytetu podczas ich obsługi. Podobnym zagadnieniem zajmują się De Bruin i współautorzy, którzy stosują teorię kolejek, aby zidentyfikować wąskie gardła w procesie przyjęć do szpitala pacjentów z chorobami kardiologicznymi [18]. Badacze ci skupiają się na badaniu relacji pomiędzy zmiennością tempa przybywania pacjentów, długością ich pobytu w szpitalu, a stopniem jego obłożenia. Dzięki temu można określić odpowiednią liczbę łóżek dla pacjentów i uniknąć sytuacji, gdy potrzebujący opieki chorzy po udzieleniu pierwszej pomocy muszą być kierowani do innych placówek ze względu na brak wolnych miejsc. Algorytmy kolejkowe znajdują też zastosowanie w organizacji procesu diagnozowania pacjentów za pomocą tomografów komputerowych [8]. Autorzy poddają analizie różne scenariusze, dzięki którym możliwe jest określenie wydajności procesu diagnostycznego w szpitalu i skrócenie czasu oczekiwania pacjentów.

Teoria kolejek w dziedzinie organizacji służby zdrowia może być również zastosowana do usprawnienia działania sieci karetek pogotowia w danym regionie. Singer i Donoso przedstawiają analizę funkcjonowania systemu w aspekcie stopnia wykorzystania zasobów, proponują różne usprawnienia (np. zwiększenie liczby pracowników), a następnie optymalizują terytorialny układ karetek za pomocą programowania liniowego, gdzie funkcją celu jest zminimalizowanie średniego czasu dojazdu karetki do pacjenta [55].

3.3. Modelowanie symulacyjne w zarządzaniu zasobami medycznymi

Jeżeli nie jest możliwe uzyskanie rozwiązania analitycznego problemu zarządzania zasobami, to należy sięgnąć po metody symulacyjne. W symulacji podstawowym narzędziem poszukiwania rozwiązania jest model komputerowy systemu, umożliwiający prowadzenie eksperymentów typu *what-if*. Niezwykle istotna jest ponadto możliwość przedstawienia w modelach symulacyjnych zjawisk o charakterze losowym. Aby wykorzystać symulację komputerową do analizy problemu alokacji zasobów w służbie zdrowia, najpierw należy stworzyć model matematyczny systemu, a następnie dokonać jego implementacji. Stosowanie tej metody umożliwia analizę badanego problemu bez konieczności ingerencji w obiekt rzeczywisty, a nawet wówczas, gdy obiekt ten jest tylko hipotetyczny. Symulację wykorzystuje się więc zarówno jako narzędzie analizy działania systemów już istniejących, jak i do badania układów będących dopiero w fazie projektu. Istnieją różne techniki modelowania symulacyjnego; jedne z najbardziej znanych to symulacja dyskretna, dynamika systemów i metoda Monte Carlo.

Przytoczone w dalszej części pracy przykłady zastosowania modelowania symulacyjnego do zarządzania zasobami medycznymi dotyczą przede wszystkim wykorzystania symulacyjnych modeli dyskretnych. Ogólna idea ich stosowania polega na

przedstawieniu funkcjonowania badanego systemu, dokonaniu jego analizy, a następnie przeprowadzeniu eksperymentów symulacyjnych w celu zaproponowania różnych usprawnień. W modelu dyskretnym proces przybywania pacjentów do systemu ma charakter losowy (w formie np. niestacjonarnego rozkładu Poissona), a następnie odwzorowane zostają kolejne etapy przyjmowania i leczenia chorych. Wprowadza się tu rozkłady prawdopodobieństwa, opisujące czas trwania poszczególnych czynności medycznych, i uwzględnia zasoby (głównie rodzaj i liczbę personelu medycznego), potrzebne do realizacji tych czynności. Dzięki eksperymentom symulacyjnym możliwe staje się przetestowanie funkcjonowania wybranej przychodni czy szpitala i zaproponowanie jak najbardziej odpowiedniego w danej sytuacji wykorzystania zasobów medycznych, zarówno materialnych, jak i ludzkich.

W zarządzaniu zasobami medycznymi modelowanie symulacyjne stosuje się między innymi do analizy wykorzystania dóbr materialnych i ludzkich, koniecznych w procesie leczenia pacjenta. Analizie poddaje się tu zarówno personel medyczny – liczbę pracowników i harmonogram ich pracy, jak i zasoby materialne. W tym drugim przypadku powinno się brać pod uwagę wiele rodzajów zasobów – począwszy od dóbr, których liczba jest ściśle powiązana z liczbą pacjentów, czyli łóżek, leków i środków higienicznych, po takie, które przypisane są całym grupom chorych, na przykład specjalistyczny sprzęt medyczny, sale operacyjne czy karetki. Należy ponadto pamiętać, że rozważanie cząstkowego problemu zarządzania dobrami, jakim jest zakup nowego zasobu, należy poprzedzić analizą medyczno-ekonomiczną, w której porównuje się korzyści i koszty wyboru danej alternatywy (szerzej w dalszej części artykułu).

Właściwe wykorzystanie zasobów materialnych, będących w dyspozycji szpitala czy przychodni, można planować między innymi na podstawie analiz dotyczących sposobu napływu zgłoszeń do systemu. Istotne jest tu oszacowanie tempa przyjęć chorych w danym okresie do określonej placówki (zarówno planowanych, jak i nagłych), przepływu pacjentów już zdiagnozowanych, a w efekcie ustalenie odpowiednich planów przyjęć [12], [13], [36], [37], [42], [49]. Groothuis i współautorzy przedstawiają symulacyjny model dyskretny, zaprojektowany w celu zbadania tempa napływania pacjentów, oszacowania ich czasu pobytu w szpitalu, wyznaczenia liczby osób już przyjętych, jak i nowoprzybytych w danym okresie, a na tej podstawie określenie stopnia wykorzystania łóżek szpitalnych [28]. Niekiedy okazuje się, że problem nie zawsze tkwi w zbyt małej liczbie zasobów, ale w niewłaściwym harmonogramie przyjęć pacjentów na zaplanowane zabiegi medyczne [49]. Powodem są także trudności w oszacowaniu liczby przypadków nagłych w ramach wszystkich przyjęć w danym okresie [37]. Poszukując sposobów umożliwiających zbadanie tempa przybywania pacjentów, Takakuwa i Katagiri przedstawiają procedurę polegającą na mierzeniu – za pomocą elektronicznych kart wręczanych pacjentom – czasów ich oczekiwania zarówno na przyjęcie przez lekarzy, jak i na przeprowadzanie testów diagnostycznych w laboratoriach [59]. Wykorzystując między innymi dane pozyskane z tych kart, autorzy zbudowali model symulacyjny działania szpitala uniwersyteckiego. Dzięki zastosowaniu wspomnianej metody pomiaru możliwe

jest nie tylko określenie tempa napływu pacjentów do szpitala, ale również zredukowanie obciążenia placówki. Z kolei Gupta i współautorzy proponują podział pacjentów na potrzebujących natychmiastowej interwencji medycznej i tych, których stan zdrowia nie wymaga natychmiastowego przyjęcia, a następnie takie konstruowanie obciążeń dla lekarzy, aby było ono równomierne i nie przekraczało z góry ustalonej liczby przyjęć pacjentów w danym dniu [30].

Na podstawie danych, opisujących napływ pacjentów do regionalnego centrum kardiologicznego w okresie kilkunastu miesięcy, możliwe jest konstruowanie scenariuszy typu *what-if*, a następnie przebadanie ich za pomocą symulacji komputerowej [27]. Autorzy analizują problem braku synchronizacji pomiędzy napływem pacjentów a harmonogramem pracy oczekującego na nich personelu medycznego. Za pomocą dyskretnego modelu symulacyjnego badacze testują dwie procedury: pierwsza dopuszcza planowanie przyjęć tylko do określonej godziny, druga zakłada przyjmowanie stałej liczby pacjentów każdego dnia. Natomiast Davies klasyfikuje pacjentów przybywających do szpitalnej izby przyjęć w zależności od rodzaju wymaganej interwencji lekarskiej, przydzielając im następnie opiekę medyczną w taki sposób, aby zwiększyć liczbę przyjętych, a zarazem skrócić czas oczekiwania na wizytę [17]. Wykorzystując rezultaty symulacji dyskretniej, zaproponowano usprawnienia badanego systemu opieki medycznej, aby stał się on efektywniejszy.

Ważnym zagadnieniem jest również odpowiednie rozplanowanie zasobów, gdy leczenie pacjentów odbywa się w systemie ambulatoryjnym, bez konieczności pobytu w szpitalu. Dzięki analizom symulacyjnym można oszacować liczbę sal zabiegowych w przychodni (co wiąże się oczywiście także z problemem określenia liczby personelu medycznego), aby z jednej strony zwiększyć wykorzystanie dostępnych zasobów, a z drugiej nie zmuszać pacjentów do nadmiernego oczekiwania [13]. Podobnie jak w kwestii doboru zasobów personelu medycznego, także wykorzystanie zasobów materialnych można planować nie tylko w oparciu o obecną ich dostępność, ale mając na uwadze zasoby dodatkowe – na przykład zakup niestosowanego dotychczas sprzętu medycznego [9].

Jak podano powyżej, efektywne wykorzystanie zasobów medycznych rozpatruje się także z punktu widzenia właściwego zaplanowania pracy personelu. Ogólnie zarządzanie zasobami ludzkimi danej placówki medycznej polega na dobraniu odpowiedniej liczby pracowników oraz skonstruowaniu optymalnego planu ich pracy w ciągu określonego czasu [3], [54]. Biorąc pod uwagę zarówno dostępne zasoby rzeczowe, jak i spodziewane natężenie przybywania pacjentów, w modelach symulacyjnych można przetestować różne sposoby organizowania pracy personelu medycznego. Należy rozważyć dwie kwestie – zatrudnianie nowych pracowników oraz zmiany harmonogramu pracy osób już pracujących.

W trakcie eksperymentów symulacyjnych analizuje się różne warianty harmonogramów pracy personelu, aby uwzględnić odmienne aspekty pracy jednostki medycznej, a jednocześnie wziąć pod uwagę osobiste preferencje pracowników. Rossetti

i współautorzy stosują symulację komputerową do przetestowania różnych harmonogramów pracy lekarzy pod względem ich wpływu na przepływ pacjentów i stopień wykorzystania zasobów [51]. Innym zagadnieniem analizowanym za pomocą metod symulacyjnych może być określenie maksymalnej liczby pacjentów, którzy w danym okresie mogą być przyjęci do danej jednostki medycznej – w taki sposób, aby czas ich oczekiwania nie przekraczał z góry zadanej wartości, z uwzględnieniem możliwości zwiększenia liczby personelu [3], [10].

Odmiernym problemem jest próba oceny maksymalnej wydajności zespołów operacyjnych, poprzedzona oszacowaniem liczby pacjentów z określonym schorzeniem, czasu ich przebywania w szpitalu, obciążenia sal operacyjnych, wykorzystania zespołów operacyjnych oraz pracy pielęgniarek [5]. W symulacyjnej analizie procesu leczenia pacjentów możliwe jest także zidentyfikowanie tzw. wąskich gardeł, a następnie opracowanie sposobów ich eliminacji [52], [54]. W modelach tych autorzy definiują poszczególne obszary działania szpitalnej izby przyjęć – sposób napływu zgłoszeń do systemu, możliwe ścieżki przemieszczania się zgłoszeń oraz personelu, opuszczenie szpitala przez pacjentów. Za pomocą eksperymentów symulacyjnych badacze są w stanie wyznaczyć takie mierniki działania systemu jak czas oczekiwania i wykorzystanie zasobów. Dzięki zastosowaniu symulacji komputerowej istnieje możliwość przeanalizowania różnych scenariuszy działania i na tej podstawie sformułowania propozycji usprawnień, skutkujących skróceniem czasu oczekiwania pacjentów.

Jakkolwiek konstrukcja harmonogramów powinna być oparta na wynikach analizy pracy personelu pomocniczego (przede wszystkim pielęgniarek), przeprowadzane rozważania muszą obejmować również organizację pracy lekarzy-specjalistów, gdyż jest to szczególnie ważne w przypadku ustalania harmonogramu zabiegów operacyjnych w danej placówce medycznej [19]. Kwestia ta dotyczy nie tylko szpitali, ale również specjalistycznych przychodni, wykonujących różne zabiegi w systemie ambulatoryjnym [48]. W swojej pracy Denton i współautorzy [19] traktują modelowanie symulacyjne jako narzędzie do usprawnienia procesu podejmowania decyzji strategicznych i operacyjnych w omawianym obszarze, między innymi takich jak ustalenie liczby sal operacyjnych czy harmonogramu napływu pacjentów przy zadanej liczbie lekarzy. Ramis i współautorzy [48] skupiają się natomiast na wykorzystaniu symulacji komputerowej do oceny różnych scenariuszy funkcjonowania placówki w systemie ambulatoryjnym, aby zmaksymalizować dzienną liczbę przyjmowanych pacjentów.

Istotnym zagadnieniem jest także zaplanowanie pracy zespołów ratunkowych, czyli określenie odpowiedniej liczby i właściwego rozmieszczenia w czasie karetok i wykwalifikowanego personelu potrzebnego do akcji ratunkowej, w zależności m.in. od miejsca wypadku czy stosowanych reguł przydziału karetok [58], [67]. Do ważnych kwestii należy również poprawne zaplanowanie pracy personelu medycznego w aptekach. W czasach coraz bardziej starzejącego się społeczeństwa praca placówki musi być tak zorganizowana, aby czas oczekiwania klienta w kolejce do aptecznego

okienka był możliwie krótki. Spry i Lawley [56] stosują symulacyjny model dyskretny w celu przetestowania różnych wariantów harmonogramu pracy aptekarzy, by w efekcie wydawać pacjentom leki tak szybko, jak to możliwe.

Zupełnie odmienną kwestią zarządzania zasobami w służbie zdrowia jest dogłębna analiza procesu przydziału organów ludzkich i krwi pacjentom oczekującym na przeszczep lub transfuzję. Ten szczególny rodzaj zasobów wymaga dokładnego rozważenia problemu ich alokacji – od pozyskiwania organów/krwi od dawcy poprzez ich przechowywanie i transport do pacjenta. W celu zapewnienia właściwego dostępu do organów przeznaczonych do przeszczepu tworzone są listy oczekujących pacjentów, których dzieli się na przykład w zależności od wieku czy stopnia zaawansowania choroby, a także czasu oczekiwania na przeszczep [61]. Brane pod uwagę są też koszty transplantacji czy dodatkowe lata życia, uzyskane dzięki przeszczepowi [47]. Zapotrzebowanie na określone rodzaje organów może być oszacowane na podstawie analizy grup ryzyka osób wymagających przeszczepu, tempa pojawiania się chorych i potencjalnych dawców [16]. Istotnym aspektem organizacji procesu transplantacyjnego jest prowadzenie statystyk dotyczących stanu zdrowia osób po przeszczepie oraz wskaźników śmiertelności i na tej podstawie ustalanie polityki transplantacji dla całego kraju. Bazując na danych historycznych zawierających wykaz oczekujących na przeszczep, jak i zgłoszonych dawców, Harper i współautorzy [31] oraz Taranto i współautorzy [60] testują model symulacyjny omawianego zagadnienia, w którym możliwa jest zmiana zdrowotnego statusu pacjenta w trakcie trwania eksperymentu symulacyjnego, czy też uwzględnienie informacji o stanie biorców po zabiegu. Dzięki zastosowaniu symulacji komputerowej możliwe staje się ilościowe porównanie efektów różnych polityk transplantacyjnych.

Niezwykle istotnym zagadnieniem jest również oszacowanie zapotrzebowania na krew do transfuzji. Modelowanie symulacyjne pozwala na odwzorowanie losowego zgłaszania się dawców, zdefiniowania różnych typów pacjentów (np. wymagających rzadkich grup krwi), jak również na uwzględnienie specyficznych cech danej jednostki medycznej, koniecznych do przechowywania tego typu zasobów [38].

3.4. Systemy hybrydowe w problemach organizacji opieki medycznej

Systemy hybrydowe to układy, które łączą w sobie przynajmniej dwie różne metody rozwiązywania problemów. Do budowy hybryd mogą być użyte przede wszystkim techniki bazujące na sztucznej inteligencji (systemy ekspertowe, sztuczne sieci neuronowe, algorytmy genetyczne). Niemniej jednak w skład systemów hybrydowych mogą również wchodzić inne algorytmy, na przykład wykorzystujące programowanie liniowe czy modelowanie symulacyjne. Hybrydy powinno się stosować wówczas, gdy pojedyncza technika nie jest wystarczająca do rozwiązania danego problemu, a jednocześnie istnieje szansa, że będzie to możliwe w przypadku wykorzystania zalet dwu

lub więcej połączonych metod. Niestety może się również zdarzyć, że hybryda powstała po połączeniu kilku technik cechuje się w większym stopniu wadami niż zaletami swoich części składowych. W związku z tym należy dokładnie rozważyć zastosowanie systemu hybrydowego do rozwiązania danego problemu, aby w pełni wykorzystać jego możliwości.

Do alokacji zasobów w instytucjach medycznych próbuje się stosować systemy hybrydowe łączące programowanie liniowe lub modelowanie symulacyjne z technikami sztucznej inteligencji, np. algorytmami genetycznymi. W obszarze zarządzania zasobami medycznymi metody te są zwykle wykorzystywane do usprawnienia istniejących już systemów opieki zdrowotnej i dotyczą takich kwestii, jak: alokacja zasobów rzeczowych, planowanie pracy personelu i przyjmowania pacjentów, analiza istniejącego stanu i propozycja zmian w działaniu jednostki służby zdrowia. Posługując się hybrydami modeli symulacyjnych i algorytmów genetycznych, decydenci mają możliwość usprawnienia systemu opieki personelu medycznego nad pacjentami. Konstrukcja tych hybryd zakłada, że proces napływu chorych do systemu oraz czas ich przyjmowania i badania przez personel medyczny ujmuje się w modelu symulacyjnym. Algorytm genetyczny natomiast służy do zaprojektowania zbioru alternatywnych schematów organizacyjnych, testowanych następnie za pomocą modelu symulacyjnego. Przykład takiego podejścia prezentują w swojej pracy Yeh i Lin [63], którzy za pomocą modelu symulacyjnego analizują proces przybywania pacjentów do szpitalnej izby przyjęć oraz kolejne etapy ich leczenia, aby następnie – za pomocą algorytmu genetycznego – opracować optymalny harmonogram pracy pielęgniarek. Kolejne propozycje harmonogramów są testowane w trakcie eksperymentów symulacyjnych, co pozwala na wybór takiego harmonogramu, który jest najbardziej efektywny pod względem zminimalizowania czasu oczekiwania pacjentów na przyjęcie przez personel medyczny.

Nieco inne rozwiązanie proponują Valouxis i Housos [64] którzy, aby wybrać najbardziej odpowiedni harmonogram pracy personelu medycznego, proponują połączyć możliwości badań operacyjnych (programowanie liniowe) – do znalezienia rozwiązania podstawowego, z metodami sztucznej inteligencji – do poprawy osiągniętego już rozwiązania. Z kolei w celu rozwiązania problemu optymalizacji kosztów pracy sali operacyjnej, w podziale na przyjęcia planowane oraz przypadki nagłe, możliwe jest połączenie symulacji Monte Carlo z programowaniem całkowitoliczbowym [41]. Hybrydę programowania liniowego i modelowania symulacyjnego proponują też Centeno i współautorzy [11], wykorzystując do skonstruowania harmonogramu pracy personelu medycznego nie tylko dane dotyczące liczby pacjentów i pracowników, ale również koszty pracy lekarzy i pielęgniarek. Autorzy ci stosują model symulacyjny do odwzorowania funkcjonowania szpitalnej izby przyjęć i wyliczenia minimalnej liczby personelu wymaganego w określonych przedziałach czasowych, natomiast programowanie liniowe – do ustalenia odpowiedniej alokacji personelu pomiędzy zmianami ich pracy. Odmiennym zagadnieniem zajmują się Balasubramanian i współautorzy [4], którzy połączenie modelu symulacyjnego i algorytmu genetycznego stosują do

wyznaczenia optymalnego rozmiaru tzw. paneli lekarskich (*physical panels*), czyli skategoryzowanych według różnych kryteriów grup pacjentów, objętych podstawową opieką medyczną. Dzięki wyznaczeniu właściwego rozmiaru paneli możliwe jest skrócenie czasu oczekiwania pacjentów na wizytę, a także zredukowanie liczby sytuacji, w których pojemność analizowanego systemu pozostanie niewykorzystana. Za pomocą modelu symulacyjnego autorzy przedstawiają przybywanie pacjentów należących do różnych paneli, a następnie ich wizytę u lekarza lub konieczność oczekiwania na przyjęcie, natomiast algorytm genetyczny stosują w celu zoptymalizowania rozmiaru i struktury paneli.

Z przedstawionych przykładów wynika, że poprzez połączenie różnych technik, w ramach badania jednego systemu, możliwe jest zarówno przeprowadzenie analiz typu *what-if*, jak i rozwiązywanie wybranych problemów optymalizacyjnych.

3.5. Standardowe metody kosztowo-efektywnościowe w zagadnieniach zarządzania służbą zdrowia

W prezentowanych metodach, mających zastosowanie w rozwiązywaniu problemów alokacyjnych w służbie zdrowia, często wykorzystuje się znane podejścia do oceny efektywności decyzji podejmowanych w tym sektorze, takie jak: analiza kosztów i korzyści (*Cost-Benefit Analysis* – CBA), analiza kosztów i wyników (*Cost-Effectiveness Analysis* – CEA) oraz analiza kosztów i użyteczności (*Cost-Utility Analysis* – CUA). Ogólnie rzecz ujmując, metody te polegają na porównywaniu nakładów związanych z określonymi działaniami i powstałych w ich wyniku rezultatów. Za pomocą metody CBA można dokonać takiego zestawienia dla danego przedsięwzięcia w ujęciu pieniężnym. Metody CEA i CUA są natomiast modyfikacjami metody CBA, przy czym metoda CEA pozwala na badanie relacji pomiędzy nakładami i wynikami, ale nie ma tu konieczności posługiwania się wymiarem jednostek monetarnych. Metoda ta jest stosowana po to, aby porównać nakłady różnych wariantów osiągnięcia postawionego celu i wybrać spośród nich najbardziej odpowiedni. Drugie z podejść to także odmiana metody CBA, gdzie do wyznaczenia miary efektywności bierze się pod uwagę raczej indywidualne preferencje jednostki, niż obiektywne konsekwencje zdrowotne różnych przedsięwzięć. Należy tu także wspomnieć, że istotnymi pojęciami w tych metodach są: QALYs – czyli dodatkowe lata życia skorygowane jego jakością i DALYs – czyli dodatkowe lata życia skorygowane niezdolnością, inwalidztwem. QALYs stosuje się do wyznaczenia jakości życia, przypisując wartości od 0 – pacjentowi, który zmarł, do 1 takiemu, którego stan zdrowia jest znakomity [22], [24], [25], [32]. Za pomocą DALYs szacuje się jakość życia pacjenta, przypisując wartości od 0 – pacjentowi w „pełnym zdrowiu”, do 1 – osobie, która nie żyje. Widać więc, że te dwie miary są w pewnym sensie swoimi przeciwieństwami [50].

Wymienione metody stosuje się do analizy różnych problemów z zakresu zarządzania zasobami medycznymi. Metoda CBA może być na przykład pomocna do analizy nakładów ponoszonych w związku ze świadczeniem określonej usługi medycznej, zaangażowaniem wymaganych zasobów i oszacowaniem liczby dodatkowych lat życia, jakie pacjent dzięki temu zyska. Metoda CEA wykorzystywana jest do analizy różnych wariantów działań leczniczych i określenia, który z nich skutkuje najwyższym przyrostem dodatkowych lat życia pacjenta. Trzeba tu pamiętać, że metody te mogą być używane nie tylko w aspekcie konkretnego przypadku chorobowego, ale również są pomocne w podejmowaniu decyzji dotyczących zarządzania zasobami na poziomie przychodni czy szpitala. Metoda CEA może być na przykład zastosowana do rozważenia decyzji dotyczącej kupna nowoczesnej aparatury diagnostycznej [22], [32]. Analizy kosztowo-efektywnościowe w obszarze opieki zdrowotnej omawiają Saha i współautorzy [53], proponując ich wykorzystanie do: porównania kosztów i korzyści w związku z użyciem różnych strategii skryningowych w celu zdiagnozowania nowotworu, określenia przerw pomiędzy przeprowadzaniem kolejnych testów skryningowych czy wieku pacjenta, w którym rozpocznie lub zakończy on korzystanie z tych badań. Autorzy wskazują również na użyteczność tej metody w ocenianiu nowych technik medycznych o charakterze profilaktycznym. Odwołują się także do metody CUA jako sposobu wyjaśnienia, dlaczego ludzie preferują te, a nie inne stany swojego zdrowia. Cunningham wspomina o możliwości zastosowania metod CEA i CBA w stomatologii do porównania materiałów używanych w technice dentystycznej, przeprowadzenia analiz dotyczących zakładania pacjentom implantów czy opracowywania stomatologicznych programów profilaktycznych [14]. Manuel i współautorzy [43] przytaczają z kolei liczne zastosowania metody CEA w obszarze ginekologii onkologicznej. Należy zaznaczyć, że mimo nacisku, jaki w omawianych metodach położony jest na aspekt decyzyjny (np. wybór odpowiedniej strategii leczenia), pośrednio jak najbardziej metody te dotyczą kwestii zarządzania zasobami. W podanych przykładach rolę zasobów w służbie zdrowia pełnią środki finansowe (nakłady).

Omówione analizy przeprowadza się w ramach jednego państwa, natomiast w przypadku prób porównania kilku krajów mogą pojawić się różne trudności, takie jak: niespójność metodologiczna prowadzonych badań, braki w danych, niewystarczająca liczba ekspertów (szczególnie w krajach mniej rozwiniętych), czy opór przed wdrażaniem otrzymanych wniosków do praktyki przez poszczególne kraje [22], [32].

4. Podsumowanie

Odpowiednie zarządzanie zasobami opieki zdrowotnej jest zagadnieniem złożonym i czasochłonnym. Aby właściwie wykorzystać dostępne dobra, a jednocześnie zadbać o wysoką jakość procesu leczenia chorych, należy przede wszystkim przepro-

wadzić szczegółową analizę działania wybranego systemu. Dopiero uwzględnienie różnych aspektów funkcjonowania jednostki medycznej, dotyczących polityki zdrowotnej na poziomie całego kraju, umożliwi odpowiednią alokację zasobów w służbie zdrowia. Mimo konieczności przeprowadzania złożonych analiz, należy mieć świadomość, że poniesione wysiłki mogą się przyczynić do sprawiedliwego podziału zasobów, a w efekcie do poprawy jakości procesu świadczenia usług medycznych i zapewnienia społeczeństwu lepszej kondycji zdrowotnej.

W artykule zanalizowano główne problemy z zakresu zarządzania zasobami w opiece zdrowotnej. Przedstawiono zagadnienie zorganizowania pracy personelu medycznego – podano przykłady, kiedy do tych celów posłużono się programowaniem liniowym, całkowitoliczbowym, celowym oraz sieciowym, a także symulacją dyskretną i systemami hybrydowymi. Pokazano, jak za pomocą tych narzędzi badacze analizowali takie kwestie, jak: zatrudnienie dodatkowych lekarzy, zmodyfikowanie już istniejących harmonogramów pracy, zbadanie wpływu różnych koncepcji zarządzania personelem na jakość obsługi pacjentów. Omówiono zagadnienie efektywnego wykorzystania zasobów medycznych – przytoczono prace, w których proponuje się, jako metodę rozwiązania tego problemu, zastosowanie programowania liniowego, całkowitoliczbowego, celowego oraz sieciowego, teorii kolejek, a także symulacji dyskretnej i standardowych metod kosztowo-efektywnościowych. Przedstawiono, jak przy użyciu wspomnianych metod autorzy cytowanych artykułów określali liczbę – koniecznych do sprawnego działania placówek medycznych – zasobów materialnych, na przykład sal operacyjnych, specjalistycznego sprzętu medycznego czy karettek pogotowia, a także proponowane przez nich sposoby przypisania posiadanych zasobów personelowi medycznemu. Zanalizowano problem sprawnego przyjmowania pacjentów – zaprezentowano przykłady, w których zastosowano do tych celów: teorię kolejek, symulację dyskretną i systemy hybrydowe. Wskazano, jak za pomocą omawianych narzędzi analizowano proces napływu pacjentów do systemu opieki zdrowotnej, szukano wąskich gardeł w procesie leczenia i sprawdzano różne scenariusze obsługi chorych.

Przytoczone w artykule metody mają różne zalety, między innymi takie, jak: możliwość testowania zmian w działalności systemu na modelu zamiast na obiekcie rzeczywistym, przeprowadzanie eksperymentów, generowanie nowych rozwiązań, a przez to proponowanie usprawnień. Należy sobie jednak zdawać sprawę z tego, że mają one też pewne ograniczenia; można tu na przykład wymienić czasochłonność procesu tworzenia modeli, konieczność znajomości zasad ich budowania i sprawdzania poprawności, częsty wymóg przyjmowania różnych założeń upraszczających, którzy rzutuje na otrzymywane wyniki końcowe. Znajomość wad i zalet zaprezentowanych w pracy metod umożliwia wybór najbardziej odpowiedniego podejścia w rozwiązywaniu danego problemu z zakresu zarządzania zasobami w służbie zdrowia. W obszarze zagadnień, w których istotne jest uwypuklenie losowych zmian w działaniu systemu, korzystne będzie zastosowanie modelowania symulacyjnego; w przypadkach, gdy należy się skupić na przedstawieniu badanego problemu za po-

mocą funkcji celu i towarzyszących jej ograniczeń, zalecane będzie programowanie matematyczne, z kolei w sytuacji analizy problemów o wysokim stopniu złożoności użyteczne mogą okazać się metody hybrydowe.

Metody te mogą być odbierane przez menedżerów placówek medycznych jako stosunkowo skomplikowane, co więcej – niekiedy pojawia się konieczność łączenia różnych metod we wspomniane wcześniej hybrydy. Jednak ich właściwe stosowanie może zdecydowanie przyczynić się do usprawnienia działania szpitala czy przychodni, a przez to skutkować większą satysfakcją pacjentów ze świadczonych im usług.

Bibliografia

- [1] ARMERO C., BAYARRI M.J., *A Bayesian analysis of a queueing system with unlimited service*, Journal of Statistical Planning and Inference, nr 58, 1997, s. 241–261.
- [2] AZAIEZ M.N., SHARIF S.S.A., *A 0-1 goal programming model for nurse scheduling*, Computers & Operations Research, nr 32, 2005, s. 491–507.
- [3] BAESLER F.F., JAHNSEN H.E., DACOSTA M., *The use of simulation and design of experiments for estimating maximum capacity in an emergency room*, Proc. 2003 Winter Simulation Conference, 2003, s. 1903–1906.
- [4] BALASUBRAMANIAN H., BANERJEE R., GREGG M., DENTON B.T., *Improving primary care access using simulation optimization*, Proc. 2007 Winter Simulation Conference, 2007, s. 1494–1500.
- [5] BALLARD S.M., KUHL M.E., *The use of simulation to determine maximum capacity in the surgical suite operating room*, Proc. 2006 Winter Simulation Conference, 2006, s. 433–438.
- [6] BLAKE J.T., CARTER M.W., *A goal programming approach to strategic resource allocation in acute care hospitals*, European Journal of Operational Research, nr 140, 2002, s. 541–561.
- [7] BLAKE J.T., CARTER M.W., *Physician and hospital funding options in a public system with decreasing resources*, Socio-Economic Planning Sciences, nr 37, 2003, s. 45–68.
- [8] BOSIRE J., WANG S., GANDHI T., SRIHARI K., *Comparing simulation alternatives based on quality expectations* Proc. 2007 Winter Simulation Conference, 2007, s. 1579–1585.
- [9] CAHILL W., RENDER M., *Dynamic simulation modeling of ICU bed availability*, Proc. 1999 Winter Simulation Conference, 1999, s. 1573–1576.
- [10] CENTENO M.A., ALBACETE C., TERZANO D.O., CARRILLO M., OGAZON T., *A simulation study of the radiology department at JMH*, Proc. 2000 Winter Simulation Conference, 2000, s. 1978–1984.
- [11] CENTENO M.A., GIACHETTI R., LINN R., ISMAIL A.M., *A simulation-ILP based tool for scheduling ER staff*, Proc. 2003 Winter Simulation Conference, 2003, s. 1930–1938.
- [12] COELLI F.C., FERREIRA R.B., ALMEIDA R.M.V.R., PEREIRA W.C.A., *Computer simulation and discrete-event models in the analysis of a mammography clinic patient flow*, Computer methods and programs in biomedicine, nr 87, 2007, s. 201–207.
- [13] COTE M.J., *Patient flow and resource utilization in an outpatient clinic*, Socio-Economic Planning Sciences, nr 33, 1999, s. 231–245.
- [14] CUNNINGHAM S.J., *Economic evaluation of healthcare – is it important to us?*, British Dental Journal, 2000, vol. 188, nr 15, s. 250–254.
- [15] CZEKAJ J., OWSIAK S., *Finansowy mechanizm alokacji zasobów w gospodarce rynkowej*, PWN, Warszawa 1992.
- [16] DAVIES R., *Use of simulation to determine resource requirements for end-stage renal failure*, Proc. 2006 Winter Simulation Conference, 2006, s. 473–477.

- [17] DAVIES R., “*See and treat*” or “*see*” and “*treat*” in an emergency department, Proc. 2007 Winter Simulation Conference, 2007, s. 1519–1522.
- [18] DE BRUIN A.M., VAN ROSSUM A.C., VISSER M.C., KOOLE G.M., *Modeling the emergency cardiac in patient-flow: an application of queuing theory*, Health Care Management Science, nr 10, 2007, s. 125–137.
- [19] DENTON B.T., RAHMAN A.S., NELSON H., BAILEY A.C., *Simulation of a multiple operating room surgical suite*, Proc. 2006 Winter Simulation Conference, 2006, s. 414–424.
- [20] DENTON B., VIAPIANO J., VOGL O., *Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty*, Health Care Management Science, nr 10, 2007, s. 13–24.
- [21] EPSTEIN D., CHALABI Z., CLAXTON K., SCULPHER M., *Mathematical programming for the optimal allocation of health care resources*, 2005, s. 1–21 (www.york.ac.uk/inst/che/pdf/mathprog.pdf).
- [22] FOLLAND S., GOODMAN A.C., STANO M., *The Economics of Health and Health Care*, Pearson Education, Inc., New Jersey 2004.
- [23] FOMUNDAM S.F., HERRMANN J.W., *A Survey of Queuing Theory Applications in Healthcare*. ISR Technical Report 2007-24, The Institute for Systems Research Technical Reports; The University of Maryland, 2007 (https://drum.umd.edu/dspace/bitstream/1903/7222/1/tr_2007-24.pdf).
- [24] GARBER A.M., PHELPS C.E., *Economic foundations of cost-effectiveness analysis*, Journal of Health Economics, nr 16, 1997, s. 1–31.
- [25] GETZEN T.E., *Ekonomika zdrowia. Teoria i praktyka*, PWN, Warszawa 2000.
- [26] GREENWALD H.P., WOODWARD J.M., BERG D.H., *Transportation or CT scanners: a theory and method of health resources allocation*, Health Services Research, 1979, s. 207–219.
- [27] GROOTHUIS S., VAN MERODE G.G., HASMAN A., *Simulation as decision tool for capacity planning*, Computer Methods and Programs in Biomedicine, nr 66, 2001, s. 139–151.
- [28] GROOTHUIS S., HASMAN A., VAN POL P.E.J., LENCER N.H.M.K., JANSSEN J.J.J., JANS J.D.M.-J., STAPPERS J.L.M., DASSEN W.R.M., DOEVENDANS P.A.F.M., VAN MERODE G.G., *Predicting capacities required in cardiology units for heart failure patients via simulation*, Computer Methods and Programs in Biomedicine, nr 74, 2004, s. 129–141.
- [29] GUINET A., CHAABANE S., *Operating theatre planning*, The International Journal of Production Economics, nr 85, 2003, s. 69–81.
- [30] GUPTA D., NATARAJAN M.K., GAFNI A., WANG L., SHILTON D., HOLDER D., YUSUF S., *Capacity planning for cardiac catheterization: A case study*, Health Policy, nr 82, 2007, s. 1–11.
- [31] HARPER A.M., TARANTO S.E., EDWARDS E.B., DAILY O.P., *An update on a successful simulation project: The UNOS Liver Allocation Model*, Proc. 2000 Winter Simulation Conference, 2000, s. 1955–1962.
- [32] HUTUBESSY R., CHISHOLM D., TAN-TORRES EDEJER T., *Generalized cost-effectiveness analysis for national-level priority-setting in the health sector*, Cost Effectiveness and Resource Allocation, nr 1, 2003, s. 1–8.
- [33] JAUMARD B., SEMET F., VOVOR T., *A generalized linear programming model for nurse scheduling*, European Journal of Operational Research, nr 107, 1998, s. 1–18.
- [34] JEBALI A., ALOUANE A.B.H., LADET P., *Operating room scheduling*, The International Journal of Production Economics, nr 99, 2006, s. 52–62.
- [35] KENDALL D.G., *Stochastic processes occurring in the theory of queues and their analysis by the method of imbedded Markov chains*, Ann. Math. Statist., nr 24, 1953, s. 338–354.
- [36] KIM S-C., HOROWITZ I., YOUNG K.K., BUCKLEY T.A., *Analysis of capacity management of the intensive care unit in a hospital*, European Journal of Operational Research, nr 115, 1999, s. 36–46.
- [37] KIM S-C., HOROWITZ I., YOUNG K.K., BUCKLEY T.A., *Flexible bed allocation and performance in the intensive care unit*, Journal of Operations Management, nr 18, 2000, s. 427–443.

- [38] KOPACH R., FRANCES D.M., SADAT S., *Models for predicting critical blood product shortages*, Proc. 29th Meeting of the EURO Working Group on Operational Research Applied to Health Services, Prague 2004, s. 77–89.
- [39] KUO P.C., SCHROEDER R.A., MAHAFFEY S., BOLLINGER R.R., *Optimization of operating room allocation using linear programming techniques*, Journal of The American College of Surgeons, vol. 197, nr 6, 2003, s. 889–895.
- [40] KWAK N.K., LEE CH.W., *Business process reengineering for health-care system using multicriteria mathematical programming*, European Journal of Operational Research, 2002, nr 140, s. 447–458.
- [41] LAMIRI M., XIE X., DOLGUI A., GRIMAUD F., *A stochastic model for operating room planning with elective and emergency demand for surgery*, European Journal of Operational Research, nr 185, 2008, s. 1026–1037.
- [42] LAPIERRE S.D., GOLDSMAN D., COCHRAN R., DUBOW J., *Bed allocation techniques based on census data*, Socio-Economic Planning Sciences, nr 33, 1999, s. 25–38.
- [43] MANUEL M.R., CHEN L.-M., CAUGHEY A.B., SUBAK L.L., *Cost-effectiveness analyses in gynecologic oncology: methodological quality and trends*, Gynecologic Oncology, nr 93, 2004, s. 1–8.
- [44] MILLAR H.H., KIRAGU M., *Cyclic and non-cyclic scheduling of 12 h shift nurses by network programming*, European Journal of Operational Research, nr 104, 1998, s. 582–592.
- [45] MULHOLLAND M.W., ABRAHAMSE P., BAHL V., *Linear programming to optimize performance in a department of surgery*, Journal of The American College of Surgeons, vol. 200, nr 6, 2005, s. 861–868.
- [46] PHAM D.-N., KLINKERT A., *Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem*, European Journal of Operational Research, nr 185, 2008, s. 1011–1025.
- [47] RACTLIFFE J., YOUNG T., BUXTON M., EL DABI T., PAUL R., BURROUGHS A., PAPTAEODORIDIS G., ROLLES K., *A Simulation modeling approach to evaluating alternative policies for the management of the waiting list for liver transplantation*, Health Care Management Science, nr 4, 2001, s. 117–124.
- [48] RAMIS F.J., PALMA J.L., BAESLER F.F., *The use of simulation for process improvement at an ambulatory surgery center*, Proc. 2001 Winter Simulation Conference, 2001, s. 1401–1404.
- [49] RIDGE J.C., JONES S.K., NIELSEN M.S., SHAHANI A.K., *Capacity planning for intensive care units*, European Journal of Operational Research, nr 105, 1998, s. 346–355.
- [50] ROBBERSTAD B., *QALYs vs DALYs vs LYs gained: What are the differences, and what difference do they make for health care priority setting?*, Norsk Epidemiologi, nr 15, 2005, s. 183–191.
- [51] ROSSETTI M.D., TRZCINSKI G.F., SYVERUD S.A., *Emergency department simulation and determination of optimal attending physicians staffing schedules*, Proc. 1999 Winter Simulation Conference, 1999, s. 1532–1540.
- [52] RUOHONEN T., NEITTAANMAKI P., TEITTINEN J., *Simulation model for improving the operation of the emergency department of special health care*, Proc. 2006 Winter Simulation Conference, 2006, s. 453–458.
- [53] SAHA S., HOERGER T.J., PIGNONE M.P., TEUTSCH S.M., HELFAND M., MANDELBLATT J.S., *The art and science of incorporating cost effectiveness into evidence-based recommendations for clinical preventive services*, American Journal of Preventive Medicine, nr 20, 2001, s. 36–43.
- [54] SAMAHA S., ARMEL W.S., STARKS D.W., *The use of simulation to reduce the length of stay in an emergency department*, Proc. 2003 Winter Simulation Conference, 2003, s. 1907–1911.
- [55] SINGER M., DONOSO P., *Assessing an ambulance service with queuing theory*, Computers and Operations Research, nr 35, 2008, s. 2549–2560.
- [56] SPRY C.W., LAWLEY M.A., *Evaluating hospital pharmacy staffing and work scheduling using simulation*, Proc. 2005 Winter Simulation Conference, 2005, s. 2256–2263.
- [57] STINNETT A.A., PALTIEL A.D., *Mathematical programming for the efficient allocation of health care resources*, Journal of Health Economics, nr 15, 1996, s. 641–653.

- [58] SU S., SHIH CH.-L., *Resource reallocation in an emergency medical service system using computer simulation*, American Journal of Emergency Medicine, vol. 20, nr 7, 2002, s. 627–634.
- [59] TAKAKUWA S., KATAGIRI D., *Modeling of patient flows in a large-scale outpatient hospital ward by making use of electronic medical records*, Proc. 2007 Winter Simulation Conference, 2007, s. 1523–1531
- [60] TARANTO S.E., HARPER A.M., EDWARDS E.B., ROSENDALE J.D., MCBRIDE M.A., DAILY O.P., MURPHY D., POOS B., REUST J., SCHMEISER B., *Developing a national allocation model for cadaveric kidneys*, Proc. 2000 Winter Simulation Conference, 2000, s. 1971–1977.
- [61] THOMPSON D., WAISANEN L., WOLFE R., MERION R.M., MCCULLOUGH K., RODGERS A., *Simulation the allocation of organs for transplantation*, Health Care Management Science, nr 7, 2004, s. 331–338
- [62] TOPALOGLU S., *A multi-objective programming model for scheduling emergency medicine residents*, Computers & Industrial Engineering, nr 51, 2006, s. 375–388.
- [63] YEH J.-Y., LIN W.-S., *Using simulation technique and genetic algorithm to improve the quality care of a hospital emergency department*, Expert Systems with Applications, nr 32, 2007, s. 1073–1083.
- [64] VALOUXIS C., HOUSOS E., *Hybrid optimization techniques for the workshift and rest assignment of nursing personnel*, Artificial Intelligence in Medicine, nr 20, 2000, s. 155–175.
- [65] VENKATARAMAN R., BRUSCO M.J., *An integrated analysis of nurse staffing and scheduling policies*, Omega, vol. 24, nr 1, 1996, s. 57–71.
- [66] WANG Q., *Modeling and analysis of high risk patient queues*, European Journal of Operational Research, nr 155, 2004, s. 502–515
- [67] ZAKI A.S., CHENG H.K., PARKER B.R., *A simulation model for the analysis and management of an emergency service system*, Socio-Economic Planning Sciences, vol. 31, nr 3, 1997, s. 173–189.

Methods of resource management – the case of healthcare

Various issues referring to general problems of resource allocation in the area of healthcare were discussed in the article. Fundamental questions regarding the process of allocating healthcare resources were pointed out. The topics were presented according to the categories of methods used to potentially solve these problems.

The following approaches were considered: chosen methods of mathematical programming, queuing theory, simulation, hybrid algorithms combining, among others, artificial intelligence and other techniques, as well as standard cost-effectiveness methods. Such methods were applied to the following problems: analyzing the current state of health care units and presenting proposals of changes to such systems. The modifications suggested referred to: allocation of material resources, planning the work schedules of medical personnel and patient admission. The question of determining the effectiveness of various medical strategies was also discussed.

The article clearly underlined the importance and complexity of the problem of managing healthcare resources.

Keywords: healthcare resources, healthcare resource management, linear programming, integer programming, goal programming, network programming, queuing theory, simulation, hybrid systems, cost-effectiveness methods