



Politechnika Wroclawska

**DZIEDZINA: Nauki społeczne**

DYSCYPLINA: Nauki o zarządzaniu i jakości

## **ROZPRAWA DOKTORSKA**

### **Wspomaganie planowania programów profilaktyki próchnicy zębów za pomocą modelowania symulacyjnego**

**Mgr Maria Hajłasz**

Promotorka

Dr hab. inż. Bożena Mielczarek, prof. uczelni

Słowa kluczowe: modelowanie symulacyjne, dyskretna symulacja zdarzeniowa, planowanie programów profilaktycznych, profilaktyka próchnicy zębów, zarządzanie zasobami ludzkimi

**WROCLAW 2023**

Doktorat powstał w ramach realizacji projektu pt. Hybrydowe modelowanie zapotrzebowania na specjalistyczną opiekę stomatologiczną w dziedzinie profilaktyki próchnicy zębów u dzieci z wykorzystaniem symulacji komputerowej 2021/41/N/HS4/03282 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Celem niniejszej rozprawy jest opracowanie metodyki budowy modelu symulacyjnego do wspomaganie planowania programu profilaktyki próchnicy zębów kierowanego do uczniów szkół podstawowych. Na podstawie zaproponowanej metodyki zostanie zbudowany model, zgodnie z paradygmatem dyskretnej symulacji zdarzeniowej, którego zastosowanie może wspomóc decydentów ze szczebla regionalnego odpowiedzialnych za planowanie struktur programów profilaktycznych próchnicy zębów. Szczególna uwaga będzie skierowana na planowanie obciążenia personelu medycznego oraz rodzaju świadczeń profilaktycznych, jakie należy w ramach takiego programu uwzględnić, aby możliwe było osiągnięcie pożądanych efektów zdrowotnych wśród uczniów kończących szkołę podstawową. Badania przeprowadzone w ramach niniejszej rozprawy stanowią istotny krok w kierunku zapewnienia zidentyfikowanej luki badawczej w obszarze nauk o zarządzaniu i jakości. Na podstawie obszernego przeglądu literaturowego, obejmującego zastosowanie wybranych metod analitycznych i symulacyjnych do wspomaganie zarządzania programami profilaktycznymi, zidentyfikowano lukę badawczą, którą jest brak opisu założeń konceptualizacji modeli symulacyjnych do wspomaganie planowania programów profilaktyki próchnicy zębów. W rozprawie zdefiniowano problem badawczy oraz pytania badawcze. Cel badań został osiągnięty.

**Słowa kluczowe:** modelowanie symulacyjne, dyskretna symulacja zdarzeniowa, planowanie programów profilaktycznych, profilaktyka próchnicy zębów, zarządzanie zasobami ludzkimi

The aim of this dissertation is to develop a methodology for constructing a simulation model to support the planning of a dental caries prevention program directed at primary school students. Based on the proposed methodology a model will be built, in accordance with the paradigm of discrete event simulation, which can support regional-level decision-makers responsible for planning the structures of dental caries prevention programs. Special attention will be paid to planning the workload of medical staff and the type of preventive services to be included in such a program, in order to achieve the desired health effects among primary school graduates. The research conducted in this dissertation represents an important step towards filling the identified research gap in the field of management and quality sciences. Based on an extensive literature review, covering the application of selected analytical and simulation methods to support the management of preventive programs, a research gap was identified, which is the lack of description of the assumptions for the conceptualization of simulation models to support the planning of dental caries prevention programs. The dissertation defines the research problem and research questions. The research objective was achieved.

**Key words:** simulation modeling, discrete event simulation, prevention program planning, dental caries prevention, human resource management

## Spis skrótów

---

- ABM – modelowanie agentowe (ang. agent based modeling)
- ABS – symulacja agentowa (ang. agent based simulation)
- AOTMiT – Agencja Oceny Technologii Medycznych i Taryfikacji
- APHA – Amerykańskie Stowarzyszenie Zdrowia Publicznego (American Public Health Association)
- CA – automat komórkowy (ang. cellular automaton)
- CMS – system zarządzania próchnicą (ang. caries management system)
- CWFP – program fluoryzacji wody (ang. Community Water Fluoridation Program)
- DES – dyskretna symulacja zdarzeniowa (ang. discrete event simulation)
- ECC – próchnica wczesnego dzieciństwa (ang. early childhood caries)
- EMV – metoda oczekiwanego efektu finansowego (ang. expected monetary value)
- FIFO – pierwsze weszło pierwsze wyszło (ang. first in first out)
- GUS – Główny Urząd Statystyczny
- HIV – Human immunodeficiency virus
- HPV – wirus brodawczaka ludzkiego (ang. human papilloma virus)
- ICER – inkrementalny współczynnik efektywności kosztów (ang. incremental cost-effectiveness ratio)
- IP – indywidualna postawa
- LIFO – ostatnie weszło pierwsze wyszło (ang. last in first out)
- MC – Monte Carlo
- MS – mikrosymulacja (ang. microsimulation)
- MZ – mycie zębów
- ND – nawyki dietetyczne
- NFZ – Narodowy Fundusz Zdrowia
- NNT – liczba pacjentów wymagających leczenia (ang. number needed to treat)

NPZ	– Narodowy Program Zdrowia
NSW	– negatywna siła wpływu
OECD	– Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (Organisation for Economic Cooperation and Development)
PPPZ	– profilaktyczny(e) program(y) próchnicy zębów
PPZ	– program polityki zdrowotnej
PSW	– pozytywna siła wpływu
puwz	– próchnica, ubytek, wypełnienie z powodu próchnicy zębów mlecznych
PUWZ	– próchnica, ubytek, wypełnienie z powodu próchnicy zębów stałych
QALY	– długość życia skorygowana o jego jakość (ang. quality-adjusted life year)
SD	– dynamika systemów (ang. system dynamics)
STRESS	– wzmocnienie raportowania empirycznych badań symulacyjnych (ang. strengthening the reporting of empirical simulation studies)
VIS	– wizualna symulacja interaktywna (ang. visual interactive simulation)
WHO	– Światowa Organizacja Zdrowia (World Health Organization)
ZR	– zaangażowanie rodziców

<b>Wstęp</b> .....	<b>10</b>
--------------------	-----------

## **Część I Wprowadzenie**

1. Wyzwania w zarządzaniu profilaktycznymi programami próchnicy zębów.....	14
2. Tło prawno-organizacyjne .....	17
3. Luka badawcza i cel rozprawy .....	18
4. Metody badawcze zastosowane w pracy .....	21
5. Umieszczenie badań w naukach o zarządzaniu i jakości .....	23

## **Część II Przegląd literaturowy**

1. Istota programów profilaktycznych.....	26
2. Zarządzanie programami profilaktycznymi.....	30
3. Podejścia analityczne do wspomaganie zarządzania programami profilaktycznymi.....	32
3.1. Metoda drzewa decyzyjnego.....	32
3.2. Metoda modelu Markowa .....	35
3.3. Metoda regresji.....	37
3.4. Podsumowanie .....	38
4. Podejścia symulacyjne do wspomaganie zarządzania programami profilaktycznymi.....	39
4.1. Istota modelowania symulacyjnego .....	39
4.2. Metoda dyskretnej symulacji zdarzeniowej .....	42
4.3. Metoda symulacji agentowej.....	45
4.4. Metoda mikrosymulacji .....	46
4.5. Metoda dynamiki systemu .....	48
4.6. Metoda Monte Carlo .....	49
4.7. Podsumowanie .....	51
5. Podejścia ilościowe w planowaniu PPPZ.....	52

5.1. Próchnica zębów .....	52
5.2. Wybrane podejścia ilościowe.....	55
5.3. Finansowanie programów .....	56
5.4. Dobór świadczeń profilaktycznych.....	59
5.5. Planowanie zasobów .....	60
5.6. Podsumowanie .....	61

### **Część III Koncepcja badań symulacyjnych**

1. Metodyka prowadzenia badań symulacyjnych.....	63
2. Opis badanego systemu rzeczywistego .....	66
3. Wymiary konceptualne modelu symulacyjnego.....	71
3.1. Ogólne omówienie .....	71
3.2. Wymiar: Źródła danych i ich struktura .....	76
3.3. Wymiar: Struktura programu profilaktycznego .....	81
3.4. Wymiar: Przebieg roku szkolnego i nabór do klas pierwszych .....	82
3.5. Wymiar: Cechy uczniów .....	83
3.6. Wymiar: Mierniki wyjściowe symulacji.....	84
3.7. Wymiar: Przebieg próchnicy zębów .....	85
3.8. Wymiar: Parametry symulacji.....	85
4. Charakterystyka modelu symulacyjnego .....	86
4.1. Schemat modelu logicznego .....	86
4.2. Ustawienie parametrów symulacji .....	88
4.3. Modelowanie czasu rzeczywistego .....	88
4.4. Przypisanie atrybutów .....	88
4.5. Zapewnienie PPPZ.....	90
4.6. Aktualizacja wskaźników opisujących zdrowie jamy ustnej u uczniów .....	93
5. Weryfikacja i walidacja modelu symulacyjnego.....	95
5.1. Istota weryfikacji i walidacji.....	95
5.2. Pierwszy stopień oceny zasadności modelu.....	95
5.3. Drugi stopień oceny zasadności modelu .....	96
5.4. Trzeci stopień oceny zasadności modelu .....	104



## **Część IV Badania symulacyjne**

1. Cele badań symulacyjnych .....	108
2. Plan badań symulacyjnych .....	109
3. Metodyka analizy wyników.....	114
4. Wyniki badań symulacyjnych .....	115
4.1. Scenariusz bazowy .....	115
4.2. Porównanie scenariuszy .....	117
4.3. Porównanie wariantów w scenariuszu I.....	121
4.4. Porównanie wariantów w scenariuszu II.....	130
4.5. Porównanie wariantów w scenariuszu III .....	137
4.6. Porównanie wariantów w scenariuszu IV .....	142
4.7. Porównanie wariantów w scenariuszu V .....	146
5. Dyskusja nad osiągniętymi wynikami .....	151
6. Wnioski z badań symulacyjnych .....	153
<b>Kierunek przyszłych badań.....</b>	<b>157</b>
<b>Zakończenie .....</b>	<b>161</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>165</b>
<b>Spis rysunków.....</b>	<b>175</b>
<b>Spis tabel .....</b>	<b>178</b>
<b>Załącznik 1 Kwestionariusz ankietowy .....</b>	<b>182</b>
<b>Załącznik 2 Analiza przedziałów ufności.....</b>	<b>185</b>
<b>Załącznik 3 Dokumentacja STRESS-DES.....</b>	<b>187</b>
<b>Załącznik 4 Weryfikacja poprawności kierowania na lądowanie .....</b>	<b>191</b>

Zdrowie człowieka to najcenniejsza wartość, a działania na rzecz jego ochrony mają swoją konkretną wartość ekonomiczną (Nawrońska 2013). Zachowanie zdrowia zależy w dużej mierze od dostępu do opieki zdrowotnej, obejmującej leczenie i profilaktykę. Leczenie stanowi konieczną reakcję na chorobę, ale jest kosztowne i stosowane w sytuacji, gdy istnieje już stan zagrożenia zdrowia. Skuteczniejszą pod względem medycznym i ekonomicznym opcję stanowi zapobieganie chorobom za pomocą programów profilaktycznych. Profilaktyka jest tańsza niż leczenie, jednak jej skuteczność zależy od wczesnego wdrożenia, dostosowanego do potrzeb społeczeństwa. Dlatego kluczowe jest staranne i przemyślane podejście do zarządzania planowaniem i świadczeniem opieki profilaktycznej dla określonych grup społecznych.

Profilaktyka może przyjmować różne formy, np. zapobieganie różnym chorobom poprzez zmianę stylu życia na bardziej aktywny oraz wdrożenie zdrowszej diety. Dodatkowo negatywne skutki niektórych schorzeń da się skutecznie ograniczyć, wprowadzając programy badań przesiewowych, które umożliwiają wczesne wykrycie potencjalnych zagrożeń dla zdrowia. Są też choroby, których rozwój da się spowolnić lub całkowicie je wyeliminować dzięki stosowaniu konkretnych świadczeń profilaktycznych. Należy do nich próchnica zębów – choroba pochodzenia bakteryjnego, która może obejmować zarówno zęby mleczne, jak i stałe. Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO)<sup>1</sup> próchnica zębów jest jedną z najbardziej rozpowszechnionych chorób niezakaźnych na świecie. Dotyczy ona około 514 milionów dzieci i stanowi najczęstszą przewlekłą chorobę wieku dziecięcego (WHO 2022).

Profilaktyka próchnicy zębów może być realizowana poprzez programy profilaktyczne w szkołach podstawowych. W Polsce obowiązek zapewniania opieki profilaktycznej uczniom do ukończenia 19. roku życia jest uregulowany prawnie (Ustawa 2019, art. 2). Pomimo to wykonalność świadczeń profilaktycznych w szkołach pozostaje niezadowolająca. Świadczy o tym skala problemu próchnicy wśród dzieci i nastolatków w Polsce, która została przedstawiona w raporcie dotyczącym stanu zdrowia jamy ustnej Polaków (Olczak-Kowalczyk

---

<sup>1</sup> World Health Organization.

i inni 2021a). Można postawić hipotezę, że jednym z powodów, dla których opieka nie jest realizowana na poziomie, który zmniejszyłby skalę problemu próchnicy zębów w społeczeństwie, jest niewystarczająca wnikliwość i staranność w planowaniu programów profilaktycznych próchnicy zębów (PPPZ). Zasoby finansowe i ludzkie zawsze są ograniczone, a struktura takiego programu zależy od różnych czynników, związanych nie tylko z zasobami, ale również ze skutecznością świadczeń zapewnianych w ramach danego PPPZ uczniom w szkołach podstawowych. Przez pojęcie struktury programu profilaktycznego należy rozumieć rodzaj świadczeń profilaktycznych, to, do kogo są one kierowane, w jakim zakresie i z jaką częstotliwością oraz przez kogo są one realizowane.

Na etapie planowania profilaktycznych programów zdrowotnych, również PPPZ, należy uwzględnić perspektywę medyczną, społeczną, ekonomiczną oraz organizacyjną (Kaczor 2012). Realizowany program powinien dotyczyć istotnego problemu zdrowotnego, którego rozwiązanie jest uważane za ważne z punktu widzenia grupy docelowej. Podejmowane działania muszą mieścić się w zakładanym budżecie i powinny zostać zaplanowane w taki sposób, aby program był prowadzony przez kompetentną, wyspecjalizowaną kadrę. Planowanie programów profilaktycznych zdrowia obejmuje wiele aspektów, a niniejsze badania skupiają się na dwóch z nich. Pierwszym jest rodzaj świadczeń profilaktycznych, drugim – liczba i rodzaj personelu medycznego niezbędnego do zapewniania zaplanowanych w ramach PPPZ świadczeń, tak aby osiągnąć założony poziom skuteczności PPPZ.

Nie ma uniwersalnej struktury programu profilaktycznego. Program, który jest skuteczny w jednej populacji, może nie być skuteczny w innej, dlatego też interwencje w zakresie zdrowia jamy ustnej powinny opierać się na potrzebach konkretnych grup, do których są kierowane (Opydo-Szymaczek i inni 2021). W zależności od potrzeb, charakterystyki grupy docelowej, możliwej podaży zasobów czy oczekiwanych efektów zdrowotnych mogą być rozważane różne świadczenia profilaktyczne<sup>2</sup>. Do wspomaganie zarządzania w tym zakresie można wykorzystać symulację komputerową. W licznych pracach została wykazana użyteczność metod symulacyjnych w zarządzaniu ochroną zdrowia (Almagooshi 2015; Brailsford i inni 2019; Fone i inni 2003; Zhang 2018) oraz w obszarze profilaktyki chorób (Brailsford i inni 2012; Homer i Hirsch 2006; Lee i inni 2010; Ramirez-Nafarrate i Gutierrez-Garcia 2013). Jedną z takich metod jest dyskretna symulacja zdarzeniowa (DES)<sup>3</sup>, która pozwala na uwzględnienie

---

<sup>2</sup> Pojęcia *świadczenia profilaktyczne* oraz *interwencje profilaktyczne* są w pracy używane zamiennie.

<sup>3</sup> Ang. Discrete event simulation.

losowości zjawisk rzeczywistych oraz dynamiki badanych procesów. Dzięki niej można obserwować potencjalne zmiany wynikające z wdrożenia zaplanowanych działań.

Zastosowanie metody symulacji we wspomaganiu planowania PPPZ może przynieść wiele korzyści zidentyfikowanych z perspektywy zarządzania. Metoda symulacji za pomocą modelu komputerowego umożliwia testowanie wielu scenariuszy PPPZ w krótkim czasie, bez ingerencji w system rzeczywisty. Obserwacja systemu rzeczywistego w tym przypadku byłaby niezwykle czasochłonna, kosztowna oraz trudna do zrealizowania. Minimalny czas trwania takiej obserwacji wynosiłby osiem lat, czyli tyle, ile trwa edukacja w szkole podstawowej. Czas ten wydaje się zbyt długi, zwłaszcza że skala problemu próchnicy zębów w społeczeństwie wymaga podjęcia konkretnych i skutecznych działań jak najszybciej. Dzięki symulacji można testować, jak zmiana rodzaju świadczeń zapewnianych w ramach PPPZ przekłada się na hipotetyczne efekty zdrowotne oraz jak wpływa na czas pracy personelu medycznego niezbędnego do realizacji tych świadczeń. Symulacja komputerowa pozwala również na wielokrotne powtarzanie eksperymentów, np. po wprowadzeniu zmian w wybranych parametrach. Podczas planowania struktur PPPZ możliwe jest eksperymentowanie z różnymi poziomami skuteczności świadczeń oferowanych w ramach tych programów. Skuteczność jest rozumiana jako zmniejszenie ryzyka wystąpienia próchnicy zębów, która pojawiłaby się u danego ucznia, gdyby nie profilaktyka. Można rozważać wyższą, niższą skuteczność lub nawet zróżnicowanie skuteczności zależnie od indywidualnych cech uczniów. Symulacja jest istotnym narzędziem do analizowania systemów, które charakteryzują się dużą losowością. Czynnikiem ludzki to jeden z elementów generujących tę losowość. W systemach, w których decyzje podejmuje człowiek, a indywidualne cechy oraz skłonności do rozwoju chorób mają znaczenie, metody analityczne mogą być niewystarczające.

Planując PPPZ dla uczniów, decydenci powinni wziąć pod uwagę losowość, dynamiczne zmiany zachodzące w systemie rzeczywistym oraz powiązania między świadczeniami a rezultatami zdrowotnymi. Metoda symulacji jako narzędzie pozwala na uwzględnienie tych złożoności. W planowaniu programów profilaktycznych duże znaczenie ma poszukiwanie związku między realizacją programów na określonym poziomie skuteczności a potrzebnym nakładem zasobów ludzkich do ich wdrożenia. Kluczowe jest zrozumienie, jak wielkość zasobów personelu medycznego i wybór świadczeń profilaktycznych wpływają na wykonalność planowanego programu. Głównym wyzwaniem jest dostosowanie struktury PPPZ tak, aby przy określonej dostępności zasobów ludzkich wybrać takie świadczenia, które efektywnie zmniejszą występowanie próchnicy zębów u uczniów szkół podstawowych.

Głównym celem niniejszej pracy jest opracowanie metodyki budowy modelu symulacyjnego do wspomaganie planowania PPPZ kierowanego do uczniów szkół podstawowych. Model symulacyjny, zbudowany zgodnie ze wskazaną metodyką, może posłużyć decydom na szczeblu regionalnym odpowiedzialnym za planowanie struktur programów profilaktycznych.

Praca składa się z czterech głównych części, rozdziału dotyczącego kierunku przyszłych badań autorki oraz zakończenia.

W pierwszej części omówiono wyzwania w zarządzaniu PPPZ. Zidentyfikowano lukę badawczą, a następnie sformułowano problem badawczy, cel główny rozprawy wraz z pytaniami badawczymi. Przedstawiono również rozważania na temat umiejscowienia badań w naukach o zarządzaniu i jakości.

Druga część to przegląd literatury dotyczącej wykorzystania metod ilościowych – analitycznych oraz symulacyjnych – do wspomaganie zarządzania wybranymi aspektami programów profilaktycznych różnych chorób.

W części trzeciej omówiono opracowaną koncepcję modelu symulacyjnego do obserwowania rozwoju próchnicy zębów u uczniów. Zaprezentowano diagram procesu rzeczywistego zapewniania PPPZ w szkołach oraz kluczowe założenia, które należy uwzględnić w ramach modelu koncepcyjnego. Przedstawiono również dane wejściowe, zbudowany model komputerowy oraz opisano proces kompleksowej weryfikacji i walidacji tego modelu.

Część czwarta poświęcona jest badaniom symulacyjnym. Eksperymenty symulacyjne przeprowadzono w ramach scenariuszy, które zostały zaplanowane i omówione. Wskazano główny cel badań oraz cele szczegółowe. Pokazano i przedyskutowano wyniki dla przykładowej szkoły podstawowej mieszczącej się w województwie dolnośląskim w Polsce. Przedstawiono wnioski i główne ograniczenia przeprowadzonych badań symulacyjnych.

Po czterech częściach głównych znajduje się rozdział dotyczący planowanych przyszłych badań. Krótko opisano w nim zakres badawczy oraz zaprezentowano wstępną koncepcję modelu agentowego i wstępne opublikowane wyniki.

Zakończenie zawiera podsumowanie pracy, wnioski oraz odniesienia do wskazanych w dysertacji celów i problemów badawczych.

# Część I

## Wprowadzenie

---

### 1. Wyzwania w zarządzaniu profilaktycznymi programami próchnicy zębów

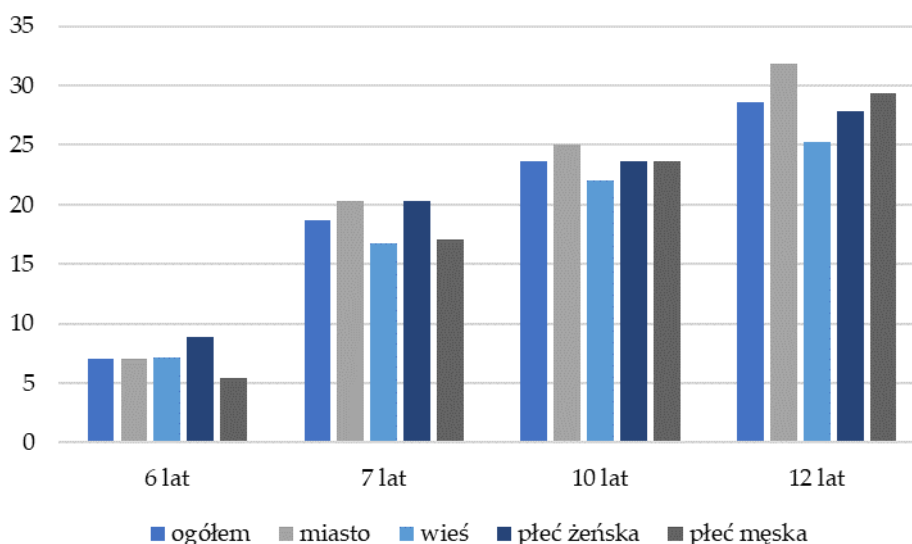
Próchnica zębów jest wieloczynnikową, dynamicznie przebiegającą chorobą pochodzenia bakteryjnego, która prowadzi do demineralizacji tkanek twardych zęba<sup>4</sup>. Niesie ona za sobą wiele poważnych skutków zdrowotnych oraz związanych z jakością życia. Nie da się wskazać jednej przyczyny występowania próchnicy zębów (Mathur i Dhillon 2018). Dotyczy ona osób w każdym wieku i może pojawić się zarówno w uzębieniu mlecznym, jak i stałym. Jest najczęstszą chorobą niezakaźną na świecie (WHO 2017). W Polsce ponad 41% trzylatków, ponad 85% siedmiolatków i aż ponad 93% osiemnastolatków ma próchnicę zębów (Olczak-Kowalczyk i inni 2021a). Z racji charakteru choroby zapewnienie różnych świadczeń profilaktycznych, które się uzupełniają, może być skuteczniejsze niż zastosowanie każdego z nich z osobna (Pitts i inni 2017). Do takich świadczeń należy np. lakowanie zębów, które w Polsce jest finansowane przez Narodowy Fundusz Zdrowia (NFZ)<sup>5</sup>. Pomimo dostępu do tego świadczenia jedynie niewielki procent dzieci w Polsce ma lakowane pierwsze zęby trzonowe (Rysunek 1).

Programy profilaktyczne należą do grupy programów zdrowotnych i stanowią ich większość. Nie mają one jednoznacznej definicji. Nawrońska (2013) formułuje ją na podstawie definicji programów zdrowotnych i wskazuje, że profilaktyczne programy zdrowotne to *zespół zaplanowanych i zamierzonych działań ocenianych jako skuteczne, bezpieczne i uzasadnione, których celem jest uprzedzenie choroby, wczesne wykrycie objawów choroby i wczesne rozpoczęcie leczenia* (Nawrońska 2013).

---

<sup>4</sup> Demineralizacja to utrata minerałów zęba pod wpływem działania kwasów (MacHiulskiene i inni 2020).

<sup>5</sup> Świadczenie dotyczy bruzd pierwszych trzonowców stałych i jest udzielane 1 raz do ukończenia 8. roku życia oraz bruzd drugich trzonowców stałych i jest udzielane 1 raz do ukończenia 14. roku życia (Obwieszczenie Ministra Zdrowia 2021).



Rysunek 1: Odsetek dzieci z załakowanym co najmniej jednym zębem trzonowym stałym w grupie sześć-, siedmio-, dziesięcio- i dwunastoletków w latach 2016–2019 w całej Polsce. Źródło: Olczak-Kowalczyk i inni (2021a).

Chociaż sytuacja zdrowotna w zakresie próchnicy zębów poprawia się, wciąż choruje na nią dużo osób w Polsce (Rolińska i inni 2017). Rozwiązanie tego problemu wymaga zwiększenia systematyczności i regularności zapewniania profilaktyki próchnicy zębów, m.in. w szkołach (Słowik-Gabryelska i Stępień-Słodkowska 2010). Barrierami skutecznej profilaktyki zębów są np. niewystarczająca liczba odpowiednio wykształconych specjalistów oraz różnice w dostępie do ochrony zdrowia (Stodolak i Fuglewicz 2014).

W zarządzaniu PPPZ można wskazać różne wyzwania, takie jak: zidentyfikowanie personelu – zarówno odbiorców jak i dostawców programu, wyznaczenie zakresu programu oraz wskazanie efektywnego dostarczenia programu do odbiorców. Wyzwanie związane z czynnikiem ludzkim obejmuje konieczność uwzględnienia perspektywy odbiorców i dostawców programu. Jeżeli taki program jest realizowany w szkołach podstawowych, to odbiorcami są uczniowie, czyli indywidualne jednostki. Planowany PPPZ powinien odpowiadać na realne potrzeby wszystkich uczniów, którzy przecież różnią się stanem zdrowia jamy ustnej, zachowaniami zdrowotnymi i podatnością na rozwój choroby. Ponadto u każdego ucznia różna może być reakcja na działanie świadczeń profilaktycznych. Z kolei wśród dostawców można wskazać jednostki odpowiedzialne za finansowanie programu czy zarządzanie nim oraz personel odpowiedzialny za bezpośrednie dostarczenie świadczeń profilaktycznych uczniom. Największe wyzwanie w tym obszarze może stanowić fakt, że zasoby – zarówno finansowe, rzeczowe, jak i ludzkie – są ograniczone. Wśród personelu, który może zapewnić taką opiekę uczniom, są: lekarze dentyści, higienistki stomatologiczne,

pielęgniarki szkolne oraz inny personel niemedyczny. Każda z tych osób ma swój zakres kompetencji i w zależności od np. regionu może być dostępna inna liczba specjalistów w danej dziedzinie. Uwzględnienie perspektywy odbiorców i dostawców ma doprowadzić do takiego zaplanowania PPPZ, aby był on skuteczny pomimo istniejących ograniczeń zasobowych oraz różnych oczekiwań i potrzeb odbiorców.

Kolejnym wyzwaniem jest wyznaczenie zakresu opieki oferowanej w ramach PPPZ. Zapewnienie wszystkich skutecznych świadczeń profilaktycznych w maksymalnym wymiarze wydawałoby się zasadnym działaniem w celu ograniczenia lub wyeliminowania problemu próchnicy zębów. Ograniczone zasoby finansowe, rzeczowe i ludzkie sprawiają jednak, że nie wszędzie jest to możliwe. Pociąga to za sobą konieczność znalezienia rozwiązania, które pozwoli na osiągnięcie zakładanych efektów zdrowotnych przy danej wielkości posiadanych zasobów. Z jednej strony struktura PPPZ wpływa na koszty realizacji programu. Z drugiej strony środki finansowe mogą implikować to, jakie świadczenia są możliwe do zrealizowania oraz kto je będzie zapewniał uczniom. Wśród świadczeń profilaktycznych wyróżnia się takie, które mogą być wykonywane tylko przez lekarzy dentystów, ale również takie, które leżą w gestii innego personelu medycznego i niemedycznego. Na przykład edukacja zdrowotna może być świadczona przez nauczycieli w szkole, pielęgniarki szkolne, higienistki stomatologiczne oraz lekarzy dentystów, lakowanie zębów może być wykonane przez lekarza oraz higienistkę, a fluoryzacja dodatkowo jeszcze przez pielęgniarkę. Natomiast przegląd stomatologiczny jest świadczeniem zarezerwowanym dla lekarza dentysty. Wybór rodzajów świadczeń w ramach konkretnego programu stanowi trudność z powodu różnorodności oferowanych działań profilaktycznych oraz dostępności personelu medycznego i niemedycznego.

Wskazanie efektywnego dostarczenia programu do odbiorców zostało zidentyfikowane jako kolejne wyzwanie. Profilaktyka próchnicy zębów może być zapewniana indywidualnie, podczas wizyt w gabinecie stomatologicznym, które odbywają się z inicjatywy rodziców lub opiekunów, bądź w szkołach w ramach zorganizowanych i zaplanowanych programów profilaktyki próchnicy zębów. Indywidualna profilaktyka w gabinecie stomatologicznym może być realizowana wówczas, gdy lekarz ma czas i możliwość jej przeprowadzenia przy okazji innej wizyty oraz jeżeli rodzic zgłosi się z dzieckiem bezpośrednio po takie świadczenia. Można wskazać przynajmniej dwie przeszkody na drodze indywidualnej profilaktyki. Pierwszą jest zbyt późne umawianie wizyt. Większość rodziców zgłasza się z dzieckiem do dentysty dopiero wtedy, gdy pierwsze zmiany próchnicowe są już obecne, nierzadko towarzyszy im ból zębów (Grzesiak i Kaczmarek 2006). Druga przeszkoda dotyczy motywacji lekarza. Podstawowym



zadaniem lekarza jest leczenie – może mu brakować czasu na edukowanie i indywidualne prowadzenie profilaktyki próchnicy na szeroką skalę. Dlatego też działania profilaktyczne powinny być inspirowane, zarządzane i finansowane przez państwo na takim poziomie, aby skutecznie zapobiegać rozwijaniu się próchnicy zębów u dzieci, np. poprzez grupową opiekę dostarczaną podczas edukacji w szkole podstawowej.

Wskazane wyzwania nakładają się. Zapewnienie zorganizowanej, systemowej i kompleksowej opieki wymaga szczegółowego planowania, obejmującego następujące kwestie: sprecyzowanie celu programu, ustalenie sposobu jego realizacji, dobór grupy docelowej i świadczeń, wyznaczenie personelu odpowiedzialnego za realizację programu oraz określenie kosztów.

## **2. Tło prawno-organizacyjne**

W Polsce podejmowane są starania związane z uregulowaniem opieki profilaktycznej w szkołach np. poprzez odpowiednie ustawy. W ustawie o opiece zdrowotnej nad uczniami określono m.in. zakres i cel opieki zdrowotnej nad uczniami oraz kto i za co odpowiada. Dostęp do świadczeń ma zapewnić dyrektor szkoły, a podmiotem finansującym jest NFZ (Ustawa 2019, art. 4 i 24). Osobami realizującymi świadczenia są lekarze dentyści, pielęgniarki oraz higienistki (choć świadczenia profilaktyczne w zakresie próchnicy, które powinny leżeć w gestii higienistek stomatologicznych, w rzeczywistości są wykonywane przez lekarzy lub pielęgniarki – z racji braku wystarczającej liczby higienistek stomatologicznych). Jednak zapisów ustawy nie wciela się w życie w takim stopniu, żeby opieka odbywała się na dobrym poziomie, tj. żeby ogólny stan zdrowia jamy ustnej uczniów się poprawiał.

W obliczu braku dostatecznej opieki profilaktycznej w szkołach zaczęły powstawać dodatkowe programy, obejmujące różne świadczenia profilaktyki próchnicy zębów. Jednak są one kierowane tylko do wybranych grup dzieci w konkretnych regionach. Choć ustawa o opiece zdrowotnej nad uczniami wytycza kierunki opieki, to w praktyce brakuje jej odgórnej organizacji i koordynacji. Być może wynika to z braku odpowiedniego podejścia do planowania zakresu świadczeń i liczby godzin pracy osób je realizujących. W teorii istnieją odpowiednie przepisy prawne w ustawach oraz finansowanie wybranych świadczeń przez NFZ, ale w praktyce te rozwiązania często nie funkcjonują zgodnie z oczekiwaniami. Opieka profilaktyczna w szkołach powinna zostać doinwestowana, nie wystarczy dodatkowe, wybiórczo stosowane programy.

Należałoby się zastanowić, jak objąć kompleksową opieką wszystkich uczniów w polskich szkołach podstawowych. Inwestycje w profilaktykę w perspektywie długoterminowej mogą przynieść duże oszczędności, ponieważ jest ona zawsze tańsza niż leczenie. Kiedy społeczeństwo jest zdrowe, rzadziej potrzebuje leczenia, co automatycznie przekłada się na niższe koszty związane z opieką zdrowotną. Przy ograniczonych zasobach finansowych państwa przeznaczanych na ochronę zdrowia wszelkie możliwości zaoszczędzenia pieniędzy są istotne z punktu widzenia wydajnego funkcjonowania systemu ochrony zdrowia. Tym bardziej, że obecnie większość środków finansowych jest przeznaczana na tzw. medycynę naprawczą, a nie na profilaktykę (Departament Zdrowia 2019). Inwestując w świadczenia profilaktyczne, można oszczędzić znaczne kwoty związane z leczeniem późniejszych schorzeń (Marthaler 2004). Jednak aby było to możliwe, programy profilaktyczne muszą być dokładnie zaplanowane i wynikać z dobrze przemyślanych decyzji.

Z jednej strony są dostępne zarówno narzędzia, jak i regulacje prawne dotyczące profilaktyki próchnicy. Z drugiej strony w społeczeństwie występuje duże nasilenie tej choroby, a jedynie niewielki procent dzieci ma zalakowane zęby. Na tej podstawie można stwierdzić, że podejmowane do tej pory działania profilaktyczne nie zdają egzaminu. Dlatego dobrym rozwiązaniem wydaje się zaplanowanie kompleksowych programów profilaktycznych z myślą o wszystkich uczniach w szkołach podstawowych w Polsce. Przez brak zapewnienia odpowiednio zaplanowanej opieki uczeń trafia do dentysty wtedy, gdy trzeba już wdrożyć leczenie – na profilaktykę jest za późno. Ponadto, jeśli dysponuje się ograniczonymi środkami, priorytetem zawsze będzie leczenie, a nie zapobieganie. Należy więc z odpowiednim wyprzedzeniem zaplanować programy profilaktyczne, które w dłuższej perspektywie czasowej mogą zapewnić zdrowie społeczeństwu i oszczędności wynikające z braku konieczności leczenia chorób, którym zapobiegnięto. Konieczne jest, aby w budowaniu programów profilaktycznych uczestniczyli naukowcy, eksperci i praktycy zdrowia publicznego (Raphael 2000).

### **3. Luka badawcza i cel rozprawy**

Problem badawczy został zidentyfikowany w wyniku pogłębionych badań literaturowych oraz konsultacji z lekarzami specjalistami – lekarzami dentystami, lekarzami dentystami realizującymi programy profilaktyczne oraz lekarzami dentystami, którzy prowadzą badania w obszarze nauk medycznych. Przegląd literaturowy obejmował publikacje dotyczące

wykorzystania metod ilościowych do wspomaganie planowania wybranych aspektów programów profilaktycznych dotyczących różnych chorób.

Została zidentyfikowana **luka badawcza**. PPPZ są ważnym elementem ochrony zdrowia. Szczególną grupę stanowią programy przeznaczone dla uczniów w szkołach podstawowych. Uczniowie różnią się pod względem uwarunkowania rozwoju próchnicy zębów, zachowań prozdrowotnych, funkcjonują też w bardziej lub mniej wspierających dbanie o zdrowie środowiskach. W związku z tym zaplanowanie PPPZ, który będzie odpowiadał na zróżnicowane potrzeby uczniów, przy jednoczesnym uwzględnieniu ograniczonych zasobów, jest trudnym zadaniem. Wyzwanie polega na tym, aby przy limitowanej dostępności zasobów ludzkich wskazać zestaw świadczeń profilaktycznych, który pozwoli na zmniejszenie występowania próchnicy zębów u uczniów w szkołach podstawowych.

Planując PPPZ, można wspomagać się różnymi metodami, wśród których dużą grupę stanowią metody ilościowe. Jedną z nich jest DES – metoda symulacyjna charakteryzująca się losowością, dynamiką oraz mająca charakter dyskretny. Na podstawie systemu rzeczywistego buduje się model komputerowy, a następnie przeprowadza na tym modelu eksperymenty, z których wnioski można uwzględnić w procesach decyzyjnych dotyczących systemu rzeczywistego. Z przeprowadzonego obszernego przeglądu literaturowego wynika, że symulacja – chociaż może być odpowiedzią na wyzwania zidentyfikowane w niniejszej pracy – jest tylko w niewielkim stopniu wykorzystywana do wspomaganie planowania PPPZ. Ogólne etapy budowania modeli symulacyjnych zostały wskazane i opisane w literaturze (Banks i inni 2010, s. 34-39). Jednak są one konstruowane dla konkretnych systemów rzeczywistych. W literaturze nie zdefiniowano ram konceptualnych do budowy modeli symulacyjnych, które byłyby pomocne w obszarze wspomaganie planowania programów profilaktyki próchnicy zębów. Brak opisu takich założeń w literaturze został zidentyfikowany jako luka badawcza.

W ramach przedstawionego kontekstu można wskazać **problem badawczy**, dotyczący konceptualizacji modeli symulacyjnych, które mogłyby być stosowane w procesie planowania struktury programów profilaktycznych próchnicy zębów, kierowanych do uczniów w szkołach podstawowych. Szczególny nacisk należy położyć na wybór świadczeń, które umożliwiłyby osiągnięcie zamierzonej skuteczności oraz efektywności dotyczącej wykorzystania zasobów personelu medycznego. Decyzje powinny być skoncentrowane na takim doborze świadczeń, aby maksymalizować osiągnięcie zamierzonych celów skuteczności programu. Wyzwaniem badawczym jest wskazanie i scharakteryzowanie kluczowych kategorii założeń, które są niezbędne w celu zagwarantowania prawidłowego odwzorowania w modelu symulacyjnym procesu rozwoju choroby próchnicy przy zastosowaniu różnych wariantów

programów profilaktycznych. Model taki może być cennym narzędziem dla decydentów na szczeblu regionalnym, wspierającym ich w strategicznym planowaniu programów profilaktycznych, z uwzględnieniem długoterminowych celów i dostępnych zasobów.

W odpowiedzi na przedstawiony problem badawczy zdefiniowano **cel główny rozprawy**, którym jest opracowanie metodyki budowy modeli symulacyjnych do wspomaganie planowania PPPZ kierowanych do uczniów szkół podstawowych. Model symulacyjny stworzony zgodnie ze wskazaną metodyką może posłużyć decydom na szczeblu regionalnym odpowiedzialnym za planowanie struktury programów profilaktycznych. Umożliwi on wskazanie, przy jakim obciążeniu pracą personelu lekarskiego – lekarza dentysty i personelu pielęgniarskiego – pielęgniarki szkolnej, w efekcie realizacji konkretnego programu profilaktycznego, uzyskane zostaną założone hipotetyczne efekty zdrowotne. Efekty zdrowotne będą odwzorowane za pomocą trzech stanów próchnicy zębów (SPZ), które w zależności od wartości wskaźników informujących o liczbie zębów z próchnicą, usuniętych i wypełnionych mlecznych (puwz) oraz stałych (PUWZ) zostały określone jako dobry, umiarkowany i zły.

Zgodnie z zaproponowaną metodyką – w oparciu o paradygmat dyskretnej symulacji zdarzeniowej – zostanie zbudowany model symulacyjny, który pozwoli obserwować proces rozwoju próchnicy zębów u dzieci w przykładowej szkole podstawowej na Dolnym Śląsku. Model zostanie zweryfikowany i zwalidowany, a następnie zostaną zaplanowane i przeprowadzone eksperymenty symulacyjne na modelu.

Osiągnięcie celu badań umożliwi uzyskanie odpowiedzi na postawione następujące **pytania badawcze**:

**P1:** Jakie kategorie założeń powinny zostać przyjęte na etapie budowy modelu symulacyjnego, aby z jednej strony uniknąć nadmiernej szczegółowości, a z drugiej, żeby nie był on zbyt ogólny, a jednocześnie stanowił uniwersalne narzędzie do wspomaganie planowania zasobów personelu medycznego i rodzaju świadczeń w PPPZ kierowanych do uczniów w szkołach podstawowych w Polsce?

**P2:** Jak powinien być zaplanowany proces weryfikacji i walidacji modelu symulacyjnego, który odwzorowuje postępowanie próchnicy zębów u uczniów w szkołach podstawowych, aby zapewnić rzetelność wyników i umożliwić wiarygodne wnioskowanie na ich podstawie, z jednoczesnym zachowaniem kompleksowego podejścia do weryfikacji i walidacji modelu oraz biorąc pod uwagę szczegółowość dostępnych danych źródłowych?

**P3:** Jakie szczegółowe cele można przyjąć na etapie planowania badań symulacyjnych na modelu służącym do wspomaganie planowania programów profilaktycznych próchnicy zębów kierowanych do uczniów w szkołach podstawowych?

**P4:** Jak zaplanować aktualizacje wskaźników zdrowia jamy ustnej uczniów w trakcie symulacji, biorąc pod uwagę rodzaj i stopień szczegółowości dostępnych danych źródłowych, aby zapewnić precyzyjne i wiarygodne śledzenie postępowania próchnicy zębów u uczniów w szkołach podstawowych?

#### **4. Metody badawcze zastosowane w pracy**

System ochrony zdrowia jest rozbudowany, kompleksowy i skoncentrowany na ludziach. Implikuje to konieczność wspomagania różnego rodzaju decyzji, w tym dotyczących planowania PPPZ, przy użyciu zaawansowanych metod i narzędzi. W związku z tym, aby zrealizować cele postawione w niniejszej dysertacji, zastosowano heterogeniczny warsztat badawczy.

Dokonano krytycznej analizy literaturowej. Przeszukano dostępne elektroniczne bazy naukowe, przede wszystkim: Scopus, Web of Science i PubMed. Poszukiwania obejmowały wszystkie anglojęzyczne dostępne w bazie prace, bez filtra w postaci konkretnych lat publikacji. Stosowano różne kombinacje słów kluczowych: były to nazwy różnych metod analitycznych i symulacyjnych, słowa typu „zarządzanie”, „planowanie” oraz „ochrona zdrowia”, „profilaktyka”, „programy zdrowotne/profilaktyczne” oraz „próchnica zębów”. W celu znalezienia polskojęzycznych publikacji przeszukano prace dostępne w wyszukiwarce internetowej Google Scholar. Skorzystano z tego samego zestawu słów kluczowych.

Spośród dostępnych metod symulacyjnych do budowy modelu symulacyjnego wybrano metodę DES, która umożliwia obserwację systemu rzeczywistego, z uwzględnieniem jego różnorodnych elementów i dynamicznych zmian zachodzących w czasie. Metoda DES jest stochastyczna, dynamiczna i dyskretna. Jednym z elementów odpowiadających za losowość w świecie realnym jest człowiek. W miarę upływu czasu ludzie się zmieniają, doświadczając różnych stanów zdrowia i podejmując różne decyzje, a ich zachowanie często stanowi nieprzewidywalny element. W podejściu DES kluczową rolę odgrywają zdarzenia, czyli zmiany w stanie systemu, które zachodzą w konkretnych momentach i mogą wpływać na obiekty dynamiczne (np. ludzi), co nadaje metodzie dynamiczny i dyskretny charakter. Każdy obiekt może mieć swoje cechy charakterystyczne. Jeżeli obiektem jest uczeń w szkole, to ma on takie cechy, jak: wiek, płeć, stan zdrowia czy liczba zębów z próchnicą. Wszystkie cechy ucznia mogą zostać odtworzone w modelu DES i opisane jako stałe w czasie lub podlegające zmianom. Stan zdrowia jamy ustnej uczniów może ulegać zmianom, np. pod wpływem PPPZ.

Znajomość badanego systemu rzeczywistego umożliwia opracowanie modelu konceptualnego, a następnie zbudowanie na jego podstawie modelu komputerowego. Model komputerowy zbudowany w ramach niniejszych badań został oprogramowany za pomocą narzędzia informatycznego opartego na języku SIMAN. Wykorzystano środowisko Arena by Rockwell Automation, które jest wizualno-interaktywną platformą modelowania VIS<sup>6</sup>. Środowisko to umożliwia graficzną wizualizację modelu oraz przeprowadzenie symulacji i poznanie jej wyników. Model komputerowy przeszedł szczegółową weryfikację i walidację, które miały na celu sprawdzenie, czy wiernie odzwierciedla on system rzeczywisty zgodnie z określonymi celami. Po pomyślnym zakończeniu testów na modelu komputerowym wykonano serię eksperymentów w ramach zaplanowanych scenariuszy symulacyjnych.

Eksperymenty symulacyjne były prowadzone za pomocą metody eksperymentu komputerowego, która stanowi alternatywę dla eksperymentów prowadzonych na systemie rzeczywistym. Eksperyment na systemie rzeczywistym zazwyczaj trwa długo, a odpowiedź może zostać uzyskana za późno. Tak jak w przypadku wspomagania planowania PPPZ kierowanego do uczniów w szkołach. Eksperymentowanie polegające m.in. na zapewnianiu różnych świadczeń czy angażowaniu różnego rodzaju specjalistów w czasie rzeczywistym, przez cały okres trwania edukacji danej grupy uczniów w szkole podstawowej, może być bardzo trudne do przeprowadzenia. W związku z tym możliwe jest wykorzystanie metod alternatywnych do badań empirycznych, takich jak eksperymentowanie z wykorzystaniem modeli symulacyjnych.

Dostęp do danych medycznych, z racji ich charakteru, zawsze jest ograniczony. W związku z tym dane empiryczne zostały pozyskane z uznanych ośrodków badawczych. Prowadzono konsultacje z ekspertami z Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu oraz lekarzami dentydami realizującymi obecnie lub w przeszłości różne PPPZ w szkołach. Można wskazać dwa kluczowe źródła, z których pozyskano informacje i dane w ramach nawiązanych kontaktów naukowych. Pierwsze źródło to program profilaktyczny próchnicy zębów: *Zapobieganie próchnicy zębów u uczniów wrocławskich szkół podstawowych*, realizowany w wybranych szkołach we Wrocławiu. Jest to przedsięwzięcie wieloletnie, jednak podlega aktualizacjom wynikającym m.in. z planowania budżetu miasta. Program został opracowany przez Wydział Zdrowia i Spraw Społecznych Urzędu Miejskiego Wrocławia. Aktualne informacje o jego bieżącej edycji można znaleźć na stronie internetowej miasta Wrocław<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> Ang. Visual interactive simulation.

<sup>7</sup> Więcej informacji o programie można znaleźć na stronie: <https://bip.um.wroc.pl/przetarg/57474/zapobieganie-prochnicy-zebow-u-uczniow-wroclawskich-szkol-podstawowych>.

W ramach realizacji programu w 2019 roku pozyskano zgodę na dostęp do danych empirycznych gromadzonych w jednej szkole. Dane te oraz konsultacje z lekarzem realizującym program stanowiły podstawę obserwacji i wnioskowania na temat funkcjonowania systemu zapewniania takiej opieki w szkołach. Należy podkreślić, że w pierwszym roku działania programu (2017/2018) szacowano, że obejmie on zaledwie 10 placówek edukacyjnych.

Dane, które następnie zaimplementowano w modelu, zostały pozyskane dzięki współpracy z naukowcami z Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu. Dane te zgromadzili badacze w ramach programu realizowanego przez Ministerstwo Zdrowia: *Monitorowanie stanu zdrowia jamy ustnej populacji polskiej na lata 2016-2020*. Dane zostały pozyskane w formie zagregowanej oraz szczegółowo omówione i przeanalizowane ze specjalistami zajmującymi się badaniami naukowymi w dziedzinie stomatologii. Obecnie są one dostępne w formie publicznego raportu (Olczak-Kowalczyk i inni 2021a).

W ramach uzupełnienia specjalistycznej wiedzy zdobytej dzięki badaniom literaturowym oraz podczas osobistych konsultacji z ekspertami – lekarzami stomatologami – zaplanowano i przeprowadzono krótkie badanie ankietowe. Jego celem było poszerzenie ogólnej wiedzy o problemie próchnicy zębów oraz poznanie aktualnej opinii lekarzy o profilaktyce prowadzonej w polskich szkołach, jak również o wybranych aspektach świadczeń profilaktycznych próchnicy zębów. W ankiecie, prowadzonej w formie papierowej oraz z wykorzystaniem przeglądarki internetowej, wzięło udział 27 lekarzy.

W pracy wykorzystano rozbudowany aparat statystyczny w celu analizy danych wejściowych oraz uzyskanych wyników. Przeprowadzono szczegółową analizę statystyczną, po to by dobrać odpowiednie rozkłady losowe i wyznaczyć parametry wejściowe do modelu. Przeanalizowano dane wynikowe za pomocą analizy statystycznej, zwracając uwagę na istotność ewentualnych różnic między uzyskanymi wynikami.

W pracy zaproponowano zróżnicowany warsztat badawczy, żeby odpowiedzieć na zidentyfikowany problem. Wspomaganie zarządzania PPPZ przeznaczonym dla uczniów w szkołach podstawowych wiąże się z rozważeniem szeregu różnych elementów, które wymagają zarówno ilościowego i jakościowego podejścia.

## **5. Umiejscowienie badań w naukach o zarządzaniu i jakości**

Dyscyplina nauk o zarządzaniu i jakości charakteryzuje się bogactwem rodzajowym i dużą różnorodnością tematyczną. To dziedzina, która nieustannie ewoluuje i dostosowuje się do

bieżących potrzeb rozwiązywania praktycznych wyzwań oraz rozwijania teorii (Cyfert i inni 2014). Uwzględniając charakter prowadzonych badań, Cyfert i inni (2014) wskazali subdyscypliny nauk o zarządzaniu. Jedną z nich jest *wspomaganie decyzji menedżerskich*. Tematyka niniejszej rozprawy dotyczy wspomagania podejmowania decyzji w obszarze planowania PPPZ przeznaczonego dla uczniów w szkołach podstawowych.

Zarządzanie PPPZ obejmuje jego planowanie, organizowanie, koordynowanie i kontrolowanie. Jest to złożony proces, który wymaga skupienia uwagi na wielu aspektach. W niniejszym badaniu nacisk położono na planowanie rodzaju świadczeń profilaktycznych oraz ustalanie odpowiedniej liczby personelu medycznego odpowiedzialnego za realizację tych świadczeń w ramach PPPZ. Planowanie to wyznaczanie celów oraz podejmowanie decyzji strategicznych i operacyjnych umożliwiających osiągnięcie tych celów. W kontekście planowania opieki zdrowotnej można powiedzieć, że jest nim planowanie dostarczania opieki zdrowotnej tam, gdzie jest ona potrzebna (Jain i inni 2018). Jeden z dziedzinowych obszarów decyzyjnych w ochronie zdrowia stanowi polityka zdrowotna (Mielczarek 2014, s. 23), w ramach której są konstruowane programy profilaktyczne i przesiewowe. Na etapie planowania profilaktycznych programów zdrowotnych niezbędne jest uwzględnienie perspektywy medycznej, społecznej, ekonomicznej oraz organizacyjnej (Kaczor 2012). Realizowany program powinien obejmować istotny problem zdrowotny, którego rozwiązanie jest uważane za ważne z punktu widzenia grupy docelowej. Podejmowane działania muszą mieścić się w założonym budżecie i powinny zostać zaplanowane w taki sposób, aby program był prowadzony przez kompetentną, wyspecjalizowaną kadrę. Kaczor (2012) wymienia również pięć zasad tworzenia programów profilaktycznych: zasadę realizmu, komplementarności, partycypacji, spójności oraz społecznej akceptacji. Zatem planowanie profilaktycznych programów zdrowotnych, w tym PPPZ, jest kompleksowym zadaniem, wymagającym podejmowania decyzji, które z jednej strony pozwolą na zaspokojenie potrzeb zdrowotnych społeczeństwa, a z drugiej będą możliwe do realizacji w ramach danego profilaktycznego programu zdrowotnego.

PPPZ mogą być planowane na różnych szczeblach zarządzania: regionalnym, wojewódzkim oraz ogólnokrajowym. Niniejsze badania skupiają się na planowaniu na poziomie regionalnym i są kierowane do osób formułujących strategie prowadzenia profilaktyki próchnicy zębów w szkołach podstawowych. Zbudowany w ramach niniejszych badań model symulacyjny może posłużyć do wspomagania planowania wielkości zasobów personelu medycznego oraz rodzaju świadczeń profilaktycznych w zakresie próchnicy zębów u uczniów w szkołach.



Według regulacji w Polsce każde dziecko w szkole powinno mieć zapewnioną profilaktykę próchnicy zębów. Jednak w rzeczywistości opieka nie dociera do wszystkich dzieci albo dociera w sposób niewystarczający, o czym świadczy skala próchnicy zębów w Polsce. Dlatego niezbędne jest poszukiwanie rozwiązań, które mogłyby wesprzeć skuteczne i efektywne dostarczanie opieki profilaktycznej uczniom w polskich szkołach podstawowych.

Można wymienić różne metody wspierające podejmowanie decyzji w obszarze ochrony zdrowia. Wśród nich znajduje się modelowanie symulacyjne. Stańczyk-Hugiet (2016) wskazuje, że metody symulacji, obok metody eksperymentu i obserwacji, powinny być wykorzystywane w naukach o zarządzaniu, jeśli pozwolą one rozwiązać postawiony problem. Podejście symulacyjne jest często stosowane przez badaczy w kontekście różnych aspektów zarządzania systemami ochrony zdrowia i odgrywa coraz większą rolę we wspieraniu podejmowania decyzji związanych z opieką zdrowotną (Kisliakovskii i inni 2017).

Problem próchnicy zębów równie mocno związany jest z aspektami medycznymi i z zarządzaniem. Bez podejmowania konkretnych działań odpowiadających na rzeczywiste potrzeby społeczeństwa, bez wprowadzenia programów profilaktycznych istnieje znaczne ryzyko, że problem próchnicy zębów nie tylko nie zmniejszy się, ale będzie się nasilał w społeczeństwie. Proponowane podejście symulacyjne może mieć duże znaczenie z punktu widzenia rozwijania grupy narzędzi wspierających podejmowanie decyzji z zakresu planowania PPPZ w ochronie zdrowia.

W odpowiedzi na zidentyfikowany w ramach niniejszej rozprawy problem badawczy opracowano zbiór wytycznych, na podstawie których możliwe jest zbudowanie modelu symulacyjnego do wspomagania zarządzania w zakresie planowania PPPZ dla uczniów w szkole podstawowej. Modele symulacyjne są pomocne w rozwiązywaniu różnych problemów zarządzania w obszarze zdrowia (Mielczarek 2014, s. 22-69). Nieliczna grupa badań wykorzystujących metodę symulacji w ramach profilaktyki próchnicy zębów wskazuje na zasadność i potrzebę podążania tą drogą. Realizacja celu niniejszej dysertacji przyczyni się do wypełnienia zidentyfikowanej luki.

#### 1. Istota programów profilaktycznych

Profilaktyka ochrony zdrowia stanowi jeden z obszarów zarządzania w opiece zdrowotnej, znajdujący się w sferze polityki zdrowotnej (Mielczarek 2014, s. 25). Podstawowym zadaniem systemu opieki zdrowotnej jest realizowanie działań mających na celu promowanie, przywracanie lub utrzymywanie zdrowia (WHO 2000). System opieki zdrowotnej jest systemem złożonym, ponieważ podejmowane interwencje są tak zróżnicowane, jak zróżnicowane są choroby występujące u człowieka (Ministerstwo Zdrowia 2021a). Jednym ze sposobów docierania z profilaktyką do odbiorców są programy zdrowotne, które stanowią *zespół zaplanowanych i zamierzonych działań z zakresu opieki zdrowotnej. Umożliwiają one wykrywanie i realizowanie określonych potrzeb zdrowotnych, mając na celu poprawę stanu zdrowia określonej grupy świadczeniobiorców. Programy zdrowotne są finansowane ze środków publicznych* (Rozporządzenie Ministra Zdrowia 2013). Ustawa o świadczeniach opieki zdrowotnej finansowanych ze środków publicznych określa, że programy zdrowotne mogą być opracowywane, wdrażane, realizowane i finansowane przez ministrów, jednostki samorządu terytorialnego lub NFZ (Ustawa 2004, art. 48). Można wyróżnić programy zdrowotne i programy polityki zdrowotnej. W istocie definicje programów brzmią niemal identycznie, różnią się tym, kto je opracowuje, wdraża, realizuje i finansuje. Program polityki zdrowotnej podlega ministrowi lub jednostce samorządu terytorialnego, a program zdrowotny – Funduszowi (Ustawa 2014, art. 48.1). Wyszczególnienie programów polityki zdrowotnej i programów zdrowotnych miało na celu czytelniejsze rozróżnienie programów z uwagi na to, przez kogo są one realizowane (Skóbel i Rudka 2016). Cele programów pozostają spójne i obejmują realizację zadań z zakresu zdrowia publicznego, określonych w Ustawie z dnia 11 września 2015 r. o zdrowiu publicznym (Ustawa 2015, art. 2). Są to:

- monitorowanie i ocena stanu zdrowia społeczeństwa, zagrożeń zdrowia oraz jakości życia związanej ze zdrowiem społeczeństwa;
- edukacja zdrowotna dostosowana do potrzeb różnych grup społeczeństwa, w szczególności dzieci, młodzieży i osób starszych;
- promocja zdrowia;
- profilaktyka chorób;
- działania w celu rozpoznawania, eliminowania lub ograniczania zagrożeń i szkód dla zdrowia fizycznego i psychicznego w środowisku zamieszkania, nauki, pracy i rekreacji;
- analiza adekwatności i efektywności udzielanych świadczeń opieki zdrowotnej w odniesieniu do rozpoznanych potrzeb zdrowotnych społeczeństwa;
- inicjowanie i prowadzenie badań naukowych oraz współpracy międzynarodowej w zakresie zdrowia publicznego;
- rozwój kadr uczestniczących w realizacji zadań z zakresu zdrowia publicznego;
- ograniczanie nierówności w zdrowiu wynikających z uwarunkowań społeczno – ekonomicznych;
- działania w obszarze aktywności fizycznej.

Jednym z elementów przyczyniających się do realizacji powyższych zadań jest opracowywanie i realizacja programów zdrowotnych<sup>8</sup>, zwłaszcza programów dotyczących edukacji zdrowotnej, promocji zdrowia i profilaktyki chorób. Pojęcia takie jak „promocja zdrowia” i „profilaktyka chorób” są przedmiotem nieporozumień – dyskutuje się, czy promocja zdrowia jest częścią profilaktyki, czy odwrotnie. Dylemat ten często jest przyczyną zamiennego używania tych nazw, które odnoszą się do dwóch zbliżonych, choć różnych obszarów kształtowania zdrowia społeczeństwa (Nawrońska 2013). Promocja zdrowia to proces umożliwiający ludziom zwiększenie kontroli nad swoim zdrowiem, a w konsekwencji jego poprawę (WHO 1986). Natomiast prewencja<sup>9</sup> to działania mające na celu całkowite zapobiegnięcie wystąpieniu choroby, zminimalizowanie jej wpływu na społeczeństwo lub

---

<sup>8</sup> W dalszej części pracy będę posługiwała się określeniem „program zdrowotny” w odniesieniu zarówno do programów przygotowywanych przez ministra lub samorządy terytorialne, jak i tych przygotowywanych przez NFZ. Niniejsza rozprawa nie pogłębia tematyki zaplanowania konkretnego programu świadczeń wraz ze źródłem jego finansowania, tylko ma na celu przedstawienie metody służącej do wspierania planowania programów obejmujących różne świadczenia, które według wiedzy eksperckiej i literatury powinny funkcjonować w ramach takich programów.

<sup>9</sup> Terminy „profilaktyka” i „prewencja” oznaczają to samo i są w pracy używane zamiennie.

opóźnienie jej postępu i ewentualnej niepełnosprawności wśród społeczeństwa (Porta 2008, s. 192). Wyróżnia się następujące poziomy profilaktyki: wczesną, pierwotną, wtórną oraz trzeciej fazy (Beaglehole 2002). Profilaktyka wczesna i pierwotna są kluczowe z punktu widzenia zdrowia społeczeństwa. Jednak każdy poziom profilaktyki odgrywa istotną rolę w ograniczaniu chorób oraz ich zapobieganiu:

- Profilaktyka wczesna – jej celem jest eliminacja kulturowych, społecznych i ekonomicznych wzorców, które mogą wpływać na podwyższenie ryzyka różnych chorób. Może dotyczyć np. wczesnego zapobiegania skażeniu powietrza czy prowadzenia ogólnokrajowych programów antynikotynowych i propagujących zdrowy styl życia.
- Profilaktyka pierwotna – jest kierowana do ludzi zdrowych w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa zachorowania lub wystąpienia zaburzeń zdrowia, obejmuje m.in. edukację zdrowotną oraz szczepienia.
- Profilaktyka wtórna – jest kierowana do osób zagrożonych i polega na szybkim wykrywaniu chorób oraz podejmowaniu działań mających na celu powstrzymanie ich rozwoju, są to m.in. badania przesiewowe, okresowe, kontrola czynników ryzyka czy poradnictwo.
- Profilaktyka trzeciej fazy – jest kierowana do osób już chorych i dotyczy działań leczniczych i rehabilitacyjnych. Jej celem jest ograniczenie skutków choroby i zredukowanie ryzyka jej nawrotów, obejmuje m.in. leczenie i jego kontynuację, rehabilitację czy zarządzanie powikłaniami.

Prowadzenie działań profilaktycznych niesie za sobą wymierne korzyści (Ministerstwo Zdrowia 2021a):

- 1) poprawa świadomości zdrowotnej populacji;
- 2) poprawa stanu zdrowia ludności;
- 3) zwiększenie wykrywalności chorób we wczesnym stadium rozwoju;
- 4) zmniejszenie liczby osób z powikłaniami chorób i trwałym inwalidztwem, ograniczenie liczby zachorowań i zgonów;
- 5) obniżenie kosztów leczenia, a także mniejsze straty finansowe dla gospodarki (zasiłki chorobowe, straty produkcyjne).

Można wskazać wiele różnych obszarów zdrowia, których dotyczą programy zdrowotne<sup>10</sup>. Programy są realizowane w określonych ramach czasowych i mogą się zmieniać w reakcji na bieżące potrzeby społeczeństwa, np. w zależności od Narodowego Programu Zdrowia (NPZ), który jest opracowywany na okres nie krótszy niż 5 lat i stanowi strategiczny dokument dla zdrowia publicznego (Ministerstwo Zdrowia 2023). Obecnie NPZ jest sporządzony na lata 2021-2025, a celami strategicznymi dla tego okresu są: zwiększenie liczby lat przeżytych w zdrowiu oraz zmniejszenie społecznych nierówności w zdrowiu (Ministerstwo Zdrowia 2021b). W ramach programu opracowuje się również cele operacyjne, których na wskazany okres jest pięć:

- 1) profilaktyka nadwagi i otyłości;
- 2) profilaktyka uzależnień;
- 3) promocja zdrowia psychicznego;
- 4) zdrowie środowiskowe i choroby zakaźne;
- 5) wyzwania demograficzne.

Zarządzanie programami profilaktycznymi i ich koordynowanie jest trudnym, wymagającym zadaniem. Z jednej strony do dyspozycji są ograniczone zasoby, za pomocą których powinny zostać zaspokojone potrzeby zdrowotne społeczeństwa, o których z kolei można myśleć jako o nieograniczonych. Potrzebne jest określenie priorytetów, które stanowią warunek podejmowania decyzji związanych z planowaniem wydatków na zdrowie. Profilaktyka nigdy nie będzie najwyższym priorytetem, zawsze przed nią będzie leczenie. Ponadto Polska należy do krajów, których wydatki na profilaktykę należą do najniższych per capita (Rysunek 2) spośród krajów Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD)<sup>11</sup>.

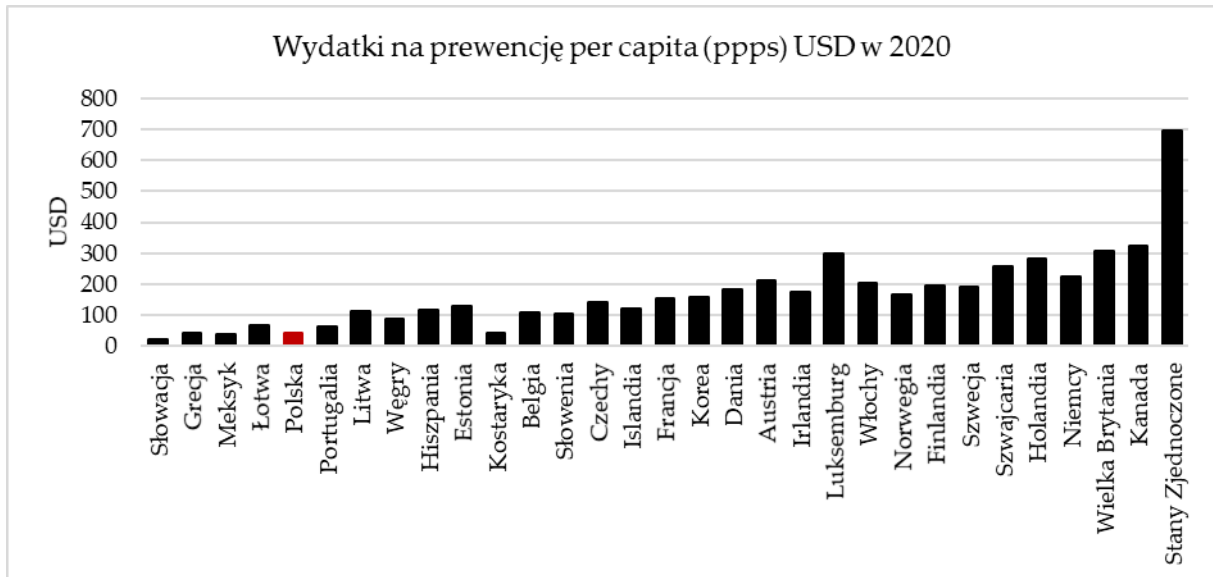
Wydatki Polski na prewencję w 2020 roku wynosiły 44 dol. na osobę. Najmniej na ten cel przeznaczyła Słowacja, najwięcej – Stany Zjednoczone, odpowiednio 21,9 dol. i 697,6 dol. Jak wynika z raportu dotyczącego sytuacji zdrowotnej w Polsce w 2020 roku, w ostatnich latach wieloletni trend poprawy stanu zdrowia ludności zahamował (Wojtyniak i Goryński 2022). Trend ten mierzony jest spadkiem współczynnika zgonów, których można było uniknąć.

---

<sup>10</sup> Aktualnie realizowane programy zdrowotne oraz programy polityki zdrowotnej można znaleźć na stronie internetowej NFZ: <https://www.nfz.gov.pl/dla-pacjenta/programy-profilaktyczne/> oraz Ministerstwa Zdrowia: <https://www.nfz.gov.pl/dla-pacjenta/programy-profilaktyczne/>.

<sup>11</sup> Organisation for Economic Cooperation and Development.

Wskazano, że niezbędne są zmiany w sposobie działania systemu ochrony zdrowia, aby nie pogłębiać tego trendu. Reasumując, w dobie postępu technologicznego, przemian demograficznych i stale rosnącej świadomości społeczeństwa w kwestiach dbania o zdrowie należy podjąć konkretne działania profilaktyczne



Rysunek 2: Wydatki na prewencję per capita w wybranych krajach OECD (na wykresie nie pokazano krajów, dla których brakowało danych w latach 2015-2020, czyli: Izrael, Chile, Kolumbia, Japonia i Australia). Źródło: OECD Stat (2023).

## 2. Zarządzanie programami profilaktycznymi

Kluczowym punktem każdego programu jest jego odpowiednie zaplanowanie. Należy określić cele programu, wyznaczyć środki na ich realizację oraz zdefiniować grupę docelową, osoby odpowiedzialne za realizację działań i sposoby weryfikacji osiągniętych rezultatów. W przypadku programów profilaktycznych trzeba zadbać o to, aby osoby je wykonujące były zaangażowane i zmotywowane. Chodzi bowiem nie tylko o zapewnienie medycznych świadczeń zdrowotnych, ale również o zachęcenie odbiorców do dbania o zdrowie i higienę jamy ustnej. W ramach czterech funkcji zarządzania można wskazać przykładowe decyzje dotyczące programów profilaktycznych (Tabela 1).

Amerykańskie Stowarzyszenie Zdrowia Publicznego (APHA)<sup>12</sup> przedstawiło pięć kryteriów, które powinny być brane pod uwagę w procesie decyzyjnym prowadzącym do alokacji zasobów i ustalania priorytetów programów promocji zdrowia (APHA 1987). Można

<sup>12</sup> American Public Health Association.

je zastosować jako wytyczne do tworzenia programów dotyczących nie tylko promocji zdrowia. Zgodnie z kryteriami APHA program powinien:

- odpowiadać na jeden (lub więcej) problemów zdrowotnych, które można zdefiniować, zmierzyć, zmodyfikować lub którym można zapobiec u wybranej grupy docelowej;
- uwzględniać charakterystykę, potrzeby i preferencje grupy docelowej;
- obejmować interwencje, które skutecznie zredukują czynnik ryzyka i są właściwe dla danego środowiska;
- identyfikować i wdrażać interwencje, które umożliwiają optymalne wykorzystanie dostępnych zasobów;
- być zorganizowany, zaplanowany i wdrożony w taki sposób, aby dało się ocenić jego działanie i efekty.

Tabela 1: Przykładowe decyzje podejmowane w ramach zarządzania profilaktycznymi programami zdrowotnymi.

Funkcja zarządzania	Decyzje dotyczące programów profilaktycznych
Planowanie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• określenie celu programu</li> <li>• wyznaczenie sposobu realizacji celu</li> <li>• dobranie grupy docelowej</li> <li>• wyznaczenie personelu odpowiedzialnego za zapewnienie programu</li> <li>• zdefiniowanie sposobów weryfikacji osiągnięcia celu</li> <li>• określenie kosztów</li> <li>• wskazanie okresu realizacji</li> </ul>
Organizowanie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• organizacja miejsca (gabinetu), w którym będą zapewniane świadczenia profilaktyczne</li> <li>• podział pracy pomiędzy specjalistów personelu medycznego, pielęgniarstwa i innego</li> <li>• koordynowanie procesu dostarczania świadczeń odbiorcom programu</li> <li>• zapewnienie systemu informowania rodziców/opiekunów oraz nauczycieli o przebiegu programu i jego efektach</li> </ul>
Przewodzenie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• motywowanie osób odpowiedzialnych za realizację programów do rzetelnego wypełniania świadczeń i zaangażowania w podejmowane działania edukacyjne</li> </ul>
Kontrola	<ul style="list-style-type: none"> <li>• jednym z etapów kontroli programów profilaktycznych jest ta zapewniana przez Agencję Oceny Technologii Medycznych i Taryfikacji (AOTMiT)<sup>13</sup>, która weryfikuje poprawność założeń</li> <li>• kolejna powinna polegać na weryfikacji efektów wdrożonego programu za pomocą dostępnych metod i narzędzi</li> </ul>

Źródło: Opracowanie własne dla funkcji zarządzania opisanych w Griffin (1999, s. 8).

Jednym z elementów, na których opiera się zarządzanie, jest doświadczenie decydentów, jednak w przypadku złożonego problemu i ograniczonych zasobów, zarówno finansowych, jak i ludzkich, samo doświadczenie może nie wystarczyć. W związku z tym w zarządzaniu

<sup>13</sup> AOTMiT działa w Polsce na zlecenie Ministra Zdrowia. Agencja jest opiniodawczo-doradcą jednostką organizacyjną. Do jej kluczowych zadań należy m.in. przygotowywanie opinii w sprawie programów profilaktyki zdrowotnej.

programami profilaktycznymi wykorzystuje się różne metody wspomaganie podejmowania decyzji. Należą do nich metody jakościowe i ilościowe. W niniejszej pracy skupiono się na metodach ilościowych, które zostały pogrupowane w ramach metod analitycznych oraz symulacyjnych.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono wyniki przeglądu literaturowego, którego celem była analiza wybranych metod analitycznych i symulacyjnych używanych do wspomaganie zarządzania programami profilaktycznymi chorób ogólnie. Autorka zwróciła uwagę przede wszystkim na ich rolę w planowaniu różnych elementów PPPZ. W dalszej części pracy omówiono najpierw wykorzystanie podejść analitycznych, a następnie symulacyjnych, wyjaśniając istotę modelowania symulacyjnego. Oddzielny rozdział został poświęcony analizie wykorzystania podejść ilościowych w kontekście zarządzania PPPZ.

### **3. Podejścia analityczne do wspomaganie zarządzania programami profilaktycznymi**

#### **3.1. Metoda drzewa decyzyjnego**

Do oceny ekonomicznej różnych interwencji w ochronie zdrowia stosuje się modele analizy decyzji (Cooper i inni 2004). Można wymienić różne rodzaje modeli matematycznych, przede wszystkim drzewo decyzyjne oraz model Markowa (Barton i inni 2004; Sonnenberg i Beck 1993). Są to metody wymagające dużej liczebności populacji, jednorodnych podgrup i liniowych interakcji (Brennan i inni 2006). Podstawowym celem analiz decyzyjnych jest wspieranie decyzji związanych z tym, jaka opieka z zakresu ochrony zdrowia powinna być oferowana z uwagi na koszty i efektywność (HERC 2023).

Drzewo decyzyjne to metoda, w której zarówno proste, jak i bardziej skomplikowane problemy decyzyjne są prezentowane graficznie (Dudzińska-Baryła 2017). Drzewo decyzyjne składa się z węzłów decyzji<sup>14</sup> oraz węzłów stanów<sup>15</sup>. Węzły decyzyjne są połączone z węzłami stanu poprzez gałęzie. Każda gałąź wychodząca z węzła stanu ma przypisane prawdopodobieństwo oraz wartość. Drzewa decyzyjne analizuje się od końca, gdzie średnia wartość decyzji jest obliczana analitycznie poprzez sumowanie prawdopodobieństwa każdego stanu pomnożonego przez jego wartość i przypisywanie konkretnej wartości do węzłów stanu. Można wyróżnić pięć etapów prowadzenia analizy drzewa decyzyjnego (Render i inni 2003):

---

<sup>14</sup> Ang. Decision node.

<sup>15</sup> Ang. State-of-nature node.



(1) zdefiniowanie problemu, (2) narysowanie drzewa, (3) przypisanie prawdopodobieństwa do stanów, (4) oszacowanie opłacalności/wyniku danego stanu lub kombinacji stanów (jeżeli drzewo zawiera więcej niż jeden węzeł decyzyjny), (5) poznanie najlepszej decyzji z wykorzystaniem metody oczekiwanego efektu finansowego (EMV)<sup>16</sup>. W przypadku drzew decyzyjnych używanych do wspomaganie podejmowania decyzji w ochronie zdrowia wynik może być wyrażony również jako m.in. długość życia skorygowana o jego jakość (QALY)<sup>17</sup> czy użyteczność<sup>18</sup> (Naglie 1997).

Wskaźnik QALY może być stosowany np. do porównywania programów zdrowotnych, pomiaru rezultatów leczenia czy skutków różnych interwencji zdrowotnych (Gromulska i inni 2008). QALY oblicza się, mnożąc czas w określonym stanie zdrowia przez jakość życia związaną z tym stanem. Jest to najpopularniejsza i najczęściej stosowana metoda pomiaru wartości świadczenia interwencji zdrowotnej (Wichmann i inni 2017). Użyteczność z kolei jest miarą decyzji wyrażoną jedną liczbą w przedziale od 0 do 1. Najprostsza decyzja to taka, która ma tylko dwa możliwe następstwa, np. chory albo zdrowy, perfekcyjne zdrowie albo śmierć. W takiej sytuacji wynik może być wyrażony albo jako 0, albo jako 1, gdzie 0 jest najgorszym wyjściem (choroba, śmierć), a 1 – najlepszym (zdrowie, życie). W dalszej części podrozdziału podano przykłady wykorzystania metody drzewa decyzyjnego w kontekście programów profilaktycznych różnych chorób.

Modele drzew decyzyjnych posłużyły do przeprowadzenia analizy efektywności kosztowej programu prewencyjnego, który dotyczył zespołu dziecka potrząsanego i został wdrożony w Kolumbii Brytyjskiej (Beaulieu i inni 2019). Oszacowano koszty po stronie społeczeństwa i systemu opieki zdrowotnej oraz porównano korzyści i koszty przed wdrożeniem i po wdrożeniu programu prewencyjnego. By uniknąć kosztów w wysokości 273,52 dol. ponoszonych przez społeczeństwo oraz 14,49 dol. ponoszonych przez system opieki zdrowotnej, przypadających na jedno dziecko, potrzebna jest inwestycja w wysokości 5 dol. na noworodka w ramach programu prewencyjnego. Przeprowadzone badania mogą dostarczyć decydentom dowodów związanych z opłacalnością inwestowania w programy zapobiegania zespołowi dziecka potrząsanego. Takie programy nie tylko umożliwiają obniżenie kosztów, ale również promują zdrowie dzieci.

Paulauskiene i inni (2019) wykorzystali metodę drzewa decyzyjnego do oceny efektywności – z perspektywy świadczeniodawcy – różnych strategii zapraszania uczestniczek do programu

---

<sup>16</sup> Ang. Expected monetary value.

<sup>17</sup> Ang. Quality-adjusted life year.

<sup>18</sup> Ang. Utilities.

badan przesiewowych w kierunku raka szyjki macicy na Litwie. Autorzy określili inkrementalny współczynnik efektywności kosztów (ICER)<sup>19</sup> przypadający na jedną dodatkowo przebadaną kobietę oraz na jeden wykryty nieprawidłowy wynik badania cytologicznego. ICER jest różnicą w kosztach między porównywanymi interwencjami podzieloną przez różnicę w ich efektach (Pro EBP 2023). Spośród trzech rozważanych opcji zapraszania do wzięcia udziału w badaniach przesiewowych osobiste zaproszenie listowne okazało się najskuteczniejsze w poszerzaniu liczby uczestniczek badania oraz zwiększaniu liczby wykrytych nieprawidłowości w badaniach cytologicznych. Jednak w porównaniu z obecną praktyką zapraszania, polegającą na ustnym zapraszaniu na badania przez lekarza rodzinnego podczas wizyty, wiązało się z dodatkowymi kosztami. W stosunku do obecnej praktyki zapraszania ICER jednego listu wyniósł 9,67 dol. na jedną kobietę i 55,21 dol. na jeden wykryty nieprawidłowy wynik cytologii. Wyniki badań mogą posłużyć do opracowania strategii zapraszania na badania przesiewowe w kierunku raka szyjki macicy u kobiet na Litwie.

Za pomocą metody drzewa decyzyjnego obliczono całkowity szacowany koszt badań przesiewowych w kierunku chłamydii w Anglii (Adams i inni 2004). Całkowity szacunkowy koszt zaoferowania badań przesiewowych w ciągu 12 miesięcy ponad 33 tys. kobiet w wieku od 16 do 24 lat wyniósł ponad 493 tys. funtów. Uzyskane wyniki mogą wspierać podejmowanie decyzji dotyczących alokacji zasobów w programach badań przesiewowych w kierunku chłamydii.

Ocenie poddano wpływ ekonomiczny rutynowych szczepień dzieci w Stanach Zjednoczonych, uwzględniając zalecane szczepionki (Carrico i inni 2022). Carrico i inni (2022) za pomocą modelu drzewa decyzyjnego śledzili kohortę dzieci od urodzenia do śmierci. W ciągu życia badanej kohorty szczepienia zapobiegły ponad 17 mln przypadków zachorowań i 31 tys. zgonów. Koszty unikniętych chorób wyniosły prawie 64 mld dol., co pokryło koszty szczepień szacowane na 8,5 mld dol. Zarówno z punktu widzenia systemu ochrony zdrowia, jak i społeczeństwa amerykański program szczepień ochronnych przynosi oszczędności oraz przyczynia się do zmniejszenia klinicznego obciążenia chorobami. Przeprowadzona analiza może być przydatna dla wszystkich interesariuszy i decydentów zainteresowanych skutkami programów szczepień oferowanych dzieciom w Ameryce.

Metoda drzewa decyzyjnego jest pomocna w podejmowaniu decyzji związanych z programami prewencyjnymi różnych chorób, jak choroby przenoszone drogą płciową,

---

<sup>19</sup> Ang. Incremental cost-effectiveness ratio.

choroby zakaźne czy nowotwory. Drzewo decyzyjne najczęściej wykorzystuje się do przeprowadzenia analizy ekonomicznej wybranych elementów programów prewencyjnych.

### **3.2. Metoda modelu Markowa**

Do odwzorowania problemów związanych z ryzykiem, np. w przypadku zawału mięśnia sercowego czy śmiertelności, gdy nie wiadomo, kiedy to ryzyko się pojawi w czasie a ponadto można spodziewać się, że może nastąpić więcej niż raz, lepiej niż prosty model drzewa decyzyjnego sprawdzi się model Markowa (Sonnenberg i Beck 1993). W modelach drzewa decyzyjnego zdarzenia losowe następują w określonej kolejności, od lewej do prawej strony. W modelu Markowa można natomiast powtarzać różne zdarzenia, jest to swego rodzaju powtarzalne drzewo decyzyjne. Łańcuch Markowa charakteryzuje się tym, że prawdopodobieństwo przejścia do kolejnego stanu jest stałe w każdym kroku i nie zmienia się w czasie, co różni się od modeli, w których te prawdopodobieństwa mogą ewoluować – na przykład, prawdopodobieństwo śmierci może wzrastać wraz z wiekiem osoby

Modele Markowa są modelami matematycznymi, które można wykorzystać do opisanie postępowania choroby jako przejścia pomiędzy kolejnymi stanami zdrowia dla całych kohort. Modele te charakteryzują się zdolnością do prognozowania przyszłych stanów zdrowia w krótszym czasie, niż to występuje w rzeczywistości (Beck i Pauker 1983). Mogą być używane do wspomagania decyzji związanych z programami prewencyjnymi różnych chorób. W dalszej części podrozdziału podano przykłady zastosowania omawianej metody.

Ważnym aspektem funkcjonowania systemów ochrony zdrowia jest dostępność leków, która często jest różna w zależności od państwa. W 2019 roku została dopuszczona pierwsza chińska krajowa szczepionka przeciw wirusowi brodawczaka ludzkiego (HPV)<sup>20</sup>, znacznie tańsza od tych sprowadzanych spoza Chin. W związku z tym Zou i inni (2020) wskazali na konieczność zbadania opłacalności różnych strategii szczepień i badań przesiewowych w kierunku raka szyjki macicy w Chinach – z perspektywy systemu opieki zdrowotnej. Zou i inni (2020) skonstruowali model Markowa i poddali analizie koszty oraz QALY. Wskazali oni najbardziej opłacalną strategię, która powinna być priorytetowa w kształtowaniu polityki zapobiegania rakowi szyjki macicy i jego kontroli w Chinach.

Praditsitthikorn i inni (2011) przeprowadzili badania w celu określenia optymalnej strategii zapobiegania rakowi szyjki macicy i jego kontroli w Tajlandii. Porównali różne strategie

---

<sup>20</sup>Ang. Human papilloma virus.

przewodzenia badań przesiewowych, które mogą być opłacalne z punktu widzenia zarówno świadczeniodawców, jak i społeczeństwa. Aby ustalić optymalną strategię, autorzy zbudowali model półmarkowski, w którym prawdopodobieństwo przejścia z jednego stanu zdrowia do drugiego zależy od czasu, jaki upłynął od wejścia w aktualny stan (w tradycyjnym modelu Markowa to prawdopodobieństwo jest równe i niezależne od czasu i kierunków wcześniejszych przejść). Model wykorzystano do określenia kosztów i konsekwencji każdej strategii, śledząc tę samą kohortę kobiet. W porównaniu z brakiem interwencji wszystkie strategie badań przesiewowych w pewnym stopniu przyczyniły się do zmniejszenia liczby kobiet zapadających na raka szyjki macicy.

W celu oceny długoterminowych kosztów interwencji profilaktycznych podejmowanych w ramach programu prewencji choroby sercowo-naczyniowej opracowano model Markowa (Sovi i inni 2013). W badaniach przedstawiono wyniki polskiej części projektu EuroAction<sup>21</sup>. Analiza została przygotowana z perspektywy płatnika. Wyniki przedstawiono jako ICER wyrażony jako koszt inkrementalny na QALY. W efekcie wdrożenia programu w Polsce zmniejszyło się rozpowszechnianie palenia tytoniu o 14% i nadciśnienia tętniczego o 7%. Oszacowane wartości ICER wynosiły ponad 19 tys. zł dla mężczyzn i ponad 82 tys. zł dla kobiet.

Przy użyciu modelu Markowa zbadano długoterminową opłacalność programów interwencji w styl życia w celu zapobiegania cukrzycy typu II (Neumann i inni 2011). Interwencje dotyczące stylu życia w ramach prewencji pierwotnej cukrzycy typu II powodują oszczędność kosztów w przypadku mężczyzn i kobiet w wieku 30 lub 50 lat w momencie rozpoczęcia interwencji. Natomiast w przypadku kobiet i mężczyzn w wieku 70 lat te interwencje są opłacalne. Zatem wiek rozpoczęcia interwencji prewencyjnych cukrzycy typu II ma znaczenie z punktu widzenia oszczędności i efektywności kosztowej.

Model Markowa posłużył również do przeprowadzenia analizy efektywności kosztowej programu powszechnych szczepień niemowląt przeciwko rotawirusom (Gualano i inni 2018). Wyniki analizy efektywności kosztów wykazały, że ICER jest odpowiedni dla regionalnej służby zdrowia i równy 12,197 euro/QALY. Kosztem inkrementalnym jest w tym przypadku koszt szczepienia w przeliczeniu na QALY w porównaniu z interwencją alternatywną lub brakiem interwencji. Koszt inkrementalny wynikający z podania szczepionki przeciwko rotawirusom wydaje się w znacznym stopniu zrekompensowany m.in. zmniejszeniem kosztów

---

<sup>21</sup> Projekt realizowany w Polsce, we Włoszech, Francji, w Szwecji, Hiszpanii oraz Wielkiej Brytanii, mający na celu ograniczenie ryzyka chorób serca. Więcej informacji na jego temat jest dostępnych na stronie: [https://www.escardio.org/static-file/Escardio/EU-affairs/Poland\\_FSP.pdf](https://www.escardio.org/static-file/Escardio/EU-affairs/Poland_FSP.pdf).

przyjęć do szpitala i wizyt na pogotowiu. Zatem model Markowa można również wykorzystać do oceny możliwości wdrożenia krajowego programu szczepień.

### 3.3. Metoda regresji

Regresją nazywamy dopasowanie równań do danych w celu oceny siły wpływu zmiennej lub zmiennych na inną zmienną lub zmienne oraz w celu tworzenia prognoz (Sen i Srivastava 1990). Zmienne niezależne to zmienne, które oddziałują na zmienne zależne. Jeżeli zmiennych niezależnych jest więcej niż jedna, mówi się o regresji wielokrotnej. Można wskazać parametryczną (np. regresja liniowa) oraz nieparametryczną klasę regresji. W regresji parametrycznej, w przeciwieństwie do nieparametrycznej, poszukuje się wartości parametrów równania regresji. W planowaniu różnych aspektów programów prewencyjnych dla wielu chorób metodę regresji wykorzystuje się do identyfikowania związków, takich jak relacja między konkretnym ryzykiem a występowaniem danej choroby. Jest to podejście często stosowane do analizy statystycznej wyników badań klinicznych i ankietowych.

Wieloczynnikowa regresja liniowa posłużyła do zidentyfikowania regionów i ras człowieka bardziej narażonych na dysproporcje zdrowotne związane z rakiem płuc (Chang i inni 2023). Zbadano związek pomiędzy zmiennymi związanymi z rasą i występującymi w zależności od regionu a korzystaniem z opieki zdrowotnej, mierzony opłatami szpitalnymi i długością pobytu. W przypadku pacjentów pochodzenia latynoskiego i azjatyckiego opłaty szpitalne były wyższe niż w przypadku pacjentów rasy białej. Te wyższe opłaty prawdopodobnie łączyły się z dłuższym czasem pobytu w szpitalu. W regionie zachodnim natomiast były wyższe opłaty szpitalne w porównaniu z tymi opłatami występującymi w regionie północno-wschodnim, środkowym zachodzie i południu Ameryki. Autorzy sugerują, że uzyskane przez nich wyniki mogą wspomóc ukierunkowanie programów profilaktycznych dla grup ludzi o wybranych cechach tak, aby zmniejszyć dysproporcje związane z dostępem do opieki zdrowotnej.

Analiza dotycząca występowania cukrzycy i związanych z nią czynników ryzyka wśród starszych osób została przeprowadzona z wykorzystaniem wielomianowej regresji logistycznej (Das i Kar 2023). Cukrzyca częściej występuje u osób żyjących na obszarach miejskich niż na terenach wiejskich. Ryzyko jej rozwoju wśród osób starszych zależy od różnych czynników społeczno-ekonomicznych, np. od poziomu edukacji, majątku, stanu cywilnego, otyłości i historii cukrzycy w rodzinie. Autorzy zasugerowali, że należy wdrożyć różne programy profilaktyczne m.in. w celu wykrywania choroby na wczesnym etapie i zapobiegania jej powikłaniom.

Znajomość trendów częstości występowania udaru mózgu może wspomóc opracowanie ukierunkowanych programów profilaktycznych dla grup obciążonych większym ryzykiem zachorowania (Tian i inni 2023). Jako że trendy te w różnych regionach geograficznych w Chinach pozostają w dużej mierze nieznane, Tian i inni (2023) zastosowali wieloczynnikową regresję logistyczną do oceny powiązań między udarem a czynnikami ryzyka. Największym współczynnikiem chorobowości cechował się region centralny, natomiast w regionie zachodnim zanotowano znaczący wzrost tego współczynnika od 2003 do 2018 roku. Zwiększone ryzyko udaru obserwowano u osób starszych, zwłaszcza płci męskiej, z niskim poziomem wykształcenia i dochodów oraz chorobami towarzyszącymi, takimi jak nadciśnienie tętnicze, cukrzyca czy depresja. Programy profilaktyczne udaru mózgu w pierwszej kolejności można kierować do regionów, które są słabo rozwinięte w Chinach, a co za tym idzie – cechują się większą zachorowalnością na udar mózgu.

### **3.4. Podsumowanie**

Podejścia analityczne są wykorzystywane do wspomagania zarządzania programami profilaktycznymi różnych chorób. W niniejszym rozdziale omówiono metody takie jak drzewo decyzyjne, model Markowa oraz regresję. Każda z nich pozwala na lepsze zrozumienie mechanizmów rozwoju choroby oraz wspomaganie zarządzania programami mającymi na celu zapobieganie tej chorobie. Za pomocą tych narzędzi można wspierać proces planowania i implementacji skutecznych programów profilaktycznych. Metoda drzewa decyzyjnego pozwala nie tylko przedstawić problem graficznie, lecz także ocenić efektywność kosztową programów profilaktycznych. Z kolei model Markowa umożliwia przewidywanie stanów zdrowia w wyniku podejmowanych działań, a metoda regresji identyfikuje związki pomiędzy zmiennymi a różnymi aspektami lub występowaniem danej choroby.

Z analizy literatury dotyczącej wykorzystania drzewa decyzyjnego do wspierania zarządzania programami profilaktycznymi wynika, że inwestycje w różne programy profilaktyczne mogą generować oszczędności w długoterminowej perspektywie. Metoda drzewa decyzyjnego umożliwia po pierwsze wskazanie dowodów potwierdzających opłacalność inwestowania w profilaktykę, po drugie – zaprezentowanie skutków finansowych różnych oferowanych programów profilaktycznych. Używa się jej do analizy ekonomicznej elementów programów profilaktycznych. Metoda ta uwzględnia analizę kosztów i efektywności w odniesieniu do konkretnych działań profilaktycznych, bez brania pod uwagę ewolucji stanów zdrowia w czasie. Natomiast jeśli istotne jest monitorowanie zmian stanów

zdrowia w czasie, zwłaszcza związanych z ryzykiem i pewną powtarzalnością zdarzeń, skuteczną metodą będzie model Markowa. Modele Markowa są stosowane do oceny opłacalności różnych programów profilaktycznych. Analiza przy ich użyciu pozwala prognozować stany zdrowia i efektywność kosztową podejmowanych działań w dłuższej perspektywie czasowej.

Ostatnią omawianą metodą w tym rozdziale jest regresja. Jej wykorzystanie w kontekście wspierania zarządzania różnymi aspektami programów profilaktycznych pozwala zrozumieć powiązania między różnymi czynnikami a ryzykiem wystąpienia chorób. To z kolei umożliwia identyfikację obszarów wymagających większej uwagi i ukierunkowania programów profilaktycznych, szczególnie wobec jednostek obciążonych większym ryzykiem zachorowania. Metoda regresji stanowi użyteczne narzędzie do analizy zależności, co przekłada się na wspieranie zarządzania i lepsze planowanie programów profilaktycznych.

## **4. Podejścia symulacyjne do wspomaganie zarządzania programami profilaktycznymi**

### **4.1. Istota modelowania symulacyjnego**

Proces modelowania symulacyjnego obejmuje budowę modelu komputerowego odwzorowującego wybrany fragment systemu rzeczywistego lub cały system, a następnie przeprowadzenie na modelu eksperymentów symulacyjnych. System to zbiór powiązanych ze sobą obiektów, które charakteryzują się konkretnymi cechami (Fishman 1981, s. 17). W obszarze ochrony zdrowia stworzenie najogólniejszego modelu całego systemu byłoby niemożliwe. Zależnie od konkretnego problemu decyzyjnego wybiera się fragmenty systemu i na tej podstawie konstruuje odpowiedni model. Model opiera się na matematycznych i logicznych założeniach umożliwiających zrozumienie zachowania badanego systemu rzeczywistego (Law i Kelton 1991, s. 5). Przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych na modelu komputerowym pozwala zweryfikować spodziewane rezultaty w czasie krótszym niż rzeczywisty (Fishman 1981, s. 29-33). Można je powtarzać wiele razy, a ich odtwarzanie nie oddziałuje na system rzeczywisty.

Metoda symulacji została szeroko i dokładnie opisana w literaturze przedmiotu. Definicji symulacji jest wiele. Oto kilka przykładowych:

- Według Gordona (1974, s. 29) symulacja to technika rozwiązywania problemów, polegająca na śledzeniu w czasie zmian zachodzących w dynamicznym modelu systemu.
- Według Naylora (1975, s. 21) symulacja to technika numeryczna służąca do dokonywania eksperymentów na pewnych rodzajach modeli matematycznych, które opisują przy pomocy maszyny cyfrowej zachowanie się złożonego systemu w ciągu długiego okresu.
- Według Fishmana (1981, s. 27) symulacja jest sposobem badania systemów, gdzie system jest przedstawiany za pomocą modelu symbolicznego, którym można łatwo operować i na podstawie którego otrzymujemy wyniki numeryczne.
- Law i Kelton (1991, s. 1) definiują symulację jako technikę numeryczną, która umożliwia zdobycie wiedzy na temat wpływu danych wejściowych na mierniki wyjściowe za pomocą eksperymentów na modelu.
- Gajda (2001, s. 1-2) uważa, że symulacja to *wprowadzenie modelu w ruch*; to metoda, w której badany model lub proces są wykorzystywane w celu przedstawienia istotnych ich charakterystyk zachodzących w czasie.

Naylor (1975, s. 24-27) rozszerza przytoczoną przez siebie definicję o następujące kluczowe informacje:

- Symulacja jest techniką numeryczną.
- Symulacja jest pewnym eksperymentem.
- Komputer nie jest niezbędnym narzędziem do prowadzenia eksperymentu symulacji matematycznego modelu, jednak przyspiesza ten proces i zmniejsza prawdopodobieństwo popełnienia błędu.
- Eksperymenty na modelu możemy prowadzić w określonej chwili (symulacja statyczna/przekrojowa) lub podczas długiego okresu (symulacja dynamiczna/szeregów czasowych).
- Większość eksperymentów symulacyjnych na modelach systemów ekonomicznych stanowią symulacje stochastyczne. Modele zawierają często zmienne losowe.

Metody symulacyjne obejmują różnorodne podejścia, które można usystematyzować na podstawie wielu kryteriów. Klasyfikacja tych metod bierze pod uwagę liczne charakterystyki, odzwierciedlając ich różnorodność i specyfikę każdego podejścia. Istnieje wiele doniesień



literaturowych dotyczących próby usystematyzowania i sklasyfikowania metod symulacyjnych. Na przykład, Law i Kelton (1991, s. 6-7) wyróżniają symulację statyczną i dynamiczną, stochastyczną i deterministyczną oraz ciągłą i dyskretną. Kolejna klasyfikacja prowadzona jest z wyszczególnieniem grup metod symulacyjnych takich, jak: DES, symulacja agentowa (ABS)<sup>22</sup>, dynamika systemów (SD)<sup>23</sup> i symulacja Monte Carlo (MC) (Brailsford i inni 2009; Diallo i inni 2016; White i Ingalls 2020). Potencjalną piątą kategorią jest mikrosymulacja (MS)<sup>24</sup> – metoda, która może zostać wykorzystana do badania problemów zarządczych występujących w systemie opieki zdrowotnej. Brakuje jej jednak rozbudowanego zaplecza teoretycznego, które mają inne metody symulacyjne (Żółtaszek 2013, s. 11). W literaturze spotyka się też klasyfikacje uwzględniające inne, bardziej szczegółowe kryteria (Łatuszyńska 2011).

Każda z metod symulacyjnych znajduje zastosowanie w badaniu różnych aspektów zarządzania w ochronie zdrowia (Davahli i inni 2020). W niniejszej pracy przyjęto klasyfikację metod symulacyjnych na DES, ABS, SD, MC oraz MS do dalszych rozważań. Metody symulacyjne DES, ABS oraz SD umożliwiają uwzględnienie zróżnicowanych poziomów abstrakcji (Borshchev i Grigoryev 2013). Metoda SD najczęściej jest wykorzystywana do modelowania strategicznego i opiera się na wysokim poziomie abstrakcji (Rysunek 3). Średni i średnio niski poziom abstrakcji cechuje metodę DES, która koncentruje się na procesach. Natomiast modele ABS mogą być zarówno bardzo szczegółowe, jak i wysoce abstrakcyjne.

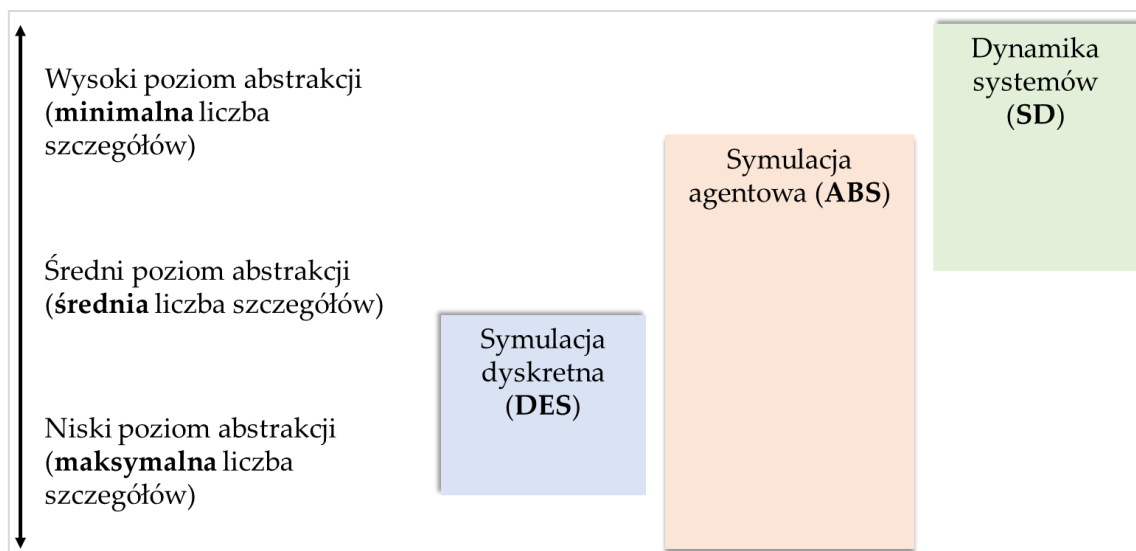
Zastosowanie metody symulacji pozwala przezwyciężyć wiele trudności, które mogą pojawić się na drodze do poznania działania danego systemu za pomocą innych metod. Symulacja może stanowić istotne narzędzie analizy systemów tam, gdzie obserwacja ich w rzeczywistości byłaby niemożliwa, zbyt kosztowna czy problematyczna. Podsumowując, modelowanie symulacyjne posługuje się takimi pojęciami, jak: system, model oraz symulacja. Dogłębna znajomość badanego systemu daje podstawy do zbudowania modelu, na którym można przeprowadzać eksperymenty symulacyjne. Co więcej, zróżnicowanie metod symulacyjnych pozwala na ich zastosowanie w wielu dziedzinach – jedną z nich jest ochrona zdrowia. Rzetelne przeprowadzenie badań naukowych z wykorzystaniem podejścia symulacyjnego skutkuje sformułowaniem konstruktywnych wniosków, które mogą przyczynić się do podejmowania lepszych decyzji.

---

<sup>22</sup> Ang. Agent-based simulation.

<sup>23</sup> Ang. System dynamics.

<sup>24</sup> Ang. Microsimulation.



Rysunek 3: Poziom abstrakcji metod DES, ABS i SD.  
 Źródło: Na podstawie (Borshchev i Grigoryev 2013).

W kolejnych podrozdziałach scharakteryzowano każdą z przytoczonych metod symulacyjnych oraz przedstawiono przykłady ich wykorzystania we wspomaganii zarządzania różnymi aspektami PPPZ na podstawie dostępnych doniesień literaturowych.

## 4.2. Metoda dyskretnej symulacji zdarzeniowej

DES to metoda dynamiczna, stochastyczna i dyskretna. Jest to podejście procesowe, które koncentruje się na śledzeniu zmian zachodzących w czasie. W tej metodzie obiekty dynamiczne przemieszczają się przez system i wchodzą w interakcje z różnymi zasobami w systemie. Losowość jest wprowadzona do systemu poprzez rozkłady losowe odpowiedzialne np. za napływ nowych obiektów do systemu. System dyskretny może zmieniać się jedynie w konkretnych momentach czasu (Law i Kelton 1991, s. 4). DES to metoda modelowania skoncentrowana na pojedynczych jednostkach. Umożliwia analizę zachowań i cech jednostek oraz na tej podstawie wnioskowania o grupie, do której te jednostki należą.

W symulacji dynamicznej kluczowym zagadnieniem jest modelowanie upływu czasu. Czas symulacji jest rejestrowany jako zmienna i zapamiętywany w obiekcie zwanym *zegarem symulacji* (Kelton i inni 2015, s. 24). Zegar symulacji przeskakuje od czasu danego zdarzenia do czasu kolejnego zdarzenia. *Zdarzeniem*<sup>25</sup> nazywa się zmianę w stanie systemu (Fishman 1981, s. 36). Czas w symulacji nie płynie nieprzerwanie i nie obejmuje okresów, w których

<sup>25</sup> Ang. Event.

w kontekście prowadzonej symulacji nie zachodzą żadne zdarzenia. Za sterowanie zegarem symulacji odpowiada tzw. *kalendarz zdarzeń*, w którym przechowywane są informacje o wszystkich planowanych zdarzeniach. W trakcie procesu symulacji kalendarz ten jest aktualizowany: usuwane są informacje o zdarzeniach, które już zostały zrealizowane lub są w trakcie realizacji, a dodawane są informacje dotyczące czasu nadchodzących zdarzeń. Wybranie zdarzenia z kalendarza skutkuje przestawieniem zegara symulacji na moment planowanego wystąpienia tego zdarzenia. Rodzaj wybranego zdarzenia determinuje rodzaj inicjowanego procesu jednostkowego.

W ramach podstawowych charakterystyk metody DES wyróżnia się zgłoszenia, zasoby, kolejki i statystyki (za: Mielczarek 2009, s. 79-81). *Zgłoszenia* są to obiekty dynamiczne<sup>26</sup>, które pojawiają się w modelu w sposób losowy lub deterministyczny. Następnie poruszają się po modelu i mogą ulegać zmianom oraz oddziaływać na inne obiekty i elementy modelu, po czym są niszczone. Każde zgłoszenie może mieć przypisane swoje indywidualne cechy nazywane atrybutami. Kolejnymi istotnymi charakterystykami metody są *zasoby*, np. ludzie, sprzęt, przestrzeń, itd., które są zajmowane przez zgłoszenia i zwalniane po upływie wskazanego czasu. *Kolejki*<sup>27</sup> tworzą się gdy zgłoszenie z jakichś powodów nie może przemieszczać się dalej. Jednym z najczęstszych powodów tworzenia się kolejek jest ograniczona pojemność zasobów – zgłoszenia muszą poczekać aż zasób lub zasoby będą dostępne. Długości kolejek mogą być ograniczone lub nie, a zasady wyboru zgłoszeń z kolejek mogą opierać się na różnych zasadach takich, jak np. FIFO<sup>28</sup>, LIFO<sup>29</sup> i inne. W czasie trwania symulacji obliczane są różne *statystyki*, których ostateczna wartość znana jest po zakończeniu symulacji. Statystyki stanowią jeden z elementów umożliwiających ocenę badanego systemu.

Symulacja DES jest drugą, obok symulacji MC, najczęściej wykorzystywaną metodą symulacyjną w ochronie zdrowia (Katsaliaki i Mustafee 2011). Stosuje się ją w przypadku wielu rodzajów programów profilaktycznych, których przykłady podano poniżej.

Crossan i inni (2017) za pomocą modelu DES poddali ocenie efektywność kosztową strategii zapobiegania chorobom sercowo-naczyniowym u zdrowych osób dorosłych. Wyniki badań przedstawiono jako koszty i QALY. Porównano badane wielkości dla różnych strategii wyszukiwania pacjentów obciążonych największym ryzykiem wystąpienia chorób sercowo-naczyniowych.

---

<sup>26</sup> Ang. Entities.

<sup>27</sup> Ang. Queues.

<sup>28</sup> Ang. First in first out.

<sup>29</sup> Ang. Last in first out.

Metoda DES została wykorzystana do oceny, jak programy prewencji cukrzycy wśród osób z wysokim ryzykiem jej wystąpienia wpłynęły na budżet (Kaasalainen i inni 2020). Oceniono potencjał oszczędnościowy trzech różnych strategii interwencji, uwzględniając ich koszty i porównując je z kosztami choroby i jej leczenia. Każda ze strategii okazała się korzystna pod względem potencjalnych oszczędności. Większe koszty danej interwencji generowały większe oszczędności wynikające z uniknięcia zachorowań na cukrzycę w badanym okresie. Autorzy podkreślają, że metoda DES umożliwia weryfikację efektów różnych interwencji profilaktycznych, jednak aby taką weryfikację przeprowadzić, niezbędne są kompleksowe dane.

Wdrożenie polityki zapobiegania ludzkiemu wirusowi niedoboru odporności (HIV)<sup>30</sup> w Afryce jest trudne ze względu na brak rozwiniętej infrastruktury medycznej i społeczno-gospodarczej (Rauner i inni 2005). Dlatego też trzeba sięgać po zaawansowane metody wspomagania podejmowania decyzji. Rauner i inni (2005) wykorzystali metodę DES do oceny potencjalnych korzyści z dwóch interwencji mających na celu zapobieganie transmisji HIV z matki na dziecko. Metoda DES umożliwiła zamodelowanie całej populacji składającej się z indywidualnych osób, z których każda ma własną charakterystykę: płeć, wiek, etap macierzyństwa wraz ze wszystkimi okolicznościami. Podczas symulacji indywidualne historie tych osób zmieniają się w miarę upływu czasu. Ponadto niektóre osoby zarażają się HIV i przechodzą kolejne etapy związane z chorobą, jak również mogą zarażać innych. Metoda DES pozwoliła na zamodelowanie transmisji HIV z matki na dziecko i poddanie ocenie interwencji prewencyjnych, takich jak leczenie antyretrowirusowe przy porodzie i/lub strategia karmienia butelką.

W przypadku wielu chorób wczesna diagnoza zmniejsza ryzyko śmierci. Profilaktyka raka szyjki macicy obniża nie tylko śmiertelność, ale również koszty leczenia ponoszone przez system opieki zdrowotnej (Tapia i inni 2021). Tapia i inni (2021) za pomocą modelu DES pokazują, że wdrożenie strategii przyspieszającej uzyskanie wyników badań przesiewowych zwiększa prewencję z 1% do 20%.

Za pomocą modelu DES dokonano oceny programu przesiewowego w kierunku wykrycia bakterii *Helicobacter pylori* (Davies i inni 2002). Jest to bakteria, która u większości nosicieli nie powoduje żadnych objawów. Zakażenie, do którego zazwyczaj dochodzi w dzieciństwie, często wynika ze złych warunków bytowych i niedostatecznej higieny. *Helicobacter pylori* stwarza ryzyko choroby wrzodowej i raka żołądka. Symulacja DES umożliwiła określenie

---

<sup>30</sup> Ang. Human immunodeficiency virus.

korzyści płynących z badań przesiewowych w postaci zmniejszonej zachorowalności i zgonów oraz koszt w wysokości około 19 mln funtów dla Anglii i Walii w pierwszym roku badań. Dzięki metodzie DES można było opisać charakterystykę osób, w szczególności ich wiek i status zakażenia *Helicobacter pylori*, oraz – w miarę postępu symulacji – aktualizować te charakterystyki.

### 4.3. Metoda symulacji agentowej

Kolejnym przedstawianym w pracy podejściem symulacyjnym jest ABS. W kontekście ABS często mówi się o modelowaniu agentowym (ABM)<sup>31</sup>, które pierwotnie było utożsamiane z symulacją. Przyjęcie ABM przez praktyków symulacji rozpoczęło się w latach 2002-2003 (Borshchev i Grigoryev 2013). Pierwsze modele ABM były tworzone za pomocą automatu komórkowego (CA)<sup>32</sup>. CA składa się z komórek, które mogą być ułożone w różne kształty<sup>33</sup> (Gilbert i Troitzsch 2005). Każde pole automatu komórkowego może przyjmować różne stany, mogące ulegać zmianom pod wpływem najbliższego otoczenia, czyli bezpośrednio przylegających komórek. Subtelna, ale kluczowa różnica pomiędzy CA a ABS związana jest ze zmianą otoczenia wraz z upływem czasu. W CA sąsiedzi są stali, a w ABS mogą się zmieniać. ABS to podejście do modelowania systemów opartych na tak zwanych agentach, którzy są autonomiczni i heterogeniczni oraz wchodzić ze sobą nawzajem w interakcje (Macal i North 2015). Standardowy model ABS składa się z trzech elementów: agentów, relacji pomiędzy agentami i środowiska, w którym żyją. Metoda ABS może zostać wykorzystana w odniesieniu do różnych programów profilaktycznych, często służy do modelowania różnych aspektów chorób zakaźnych takich jak grypa.

Karimi i inni (2015) zastosowali podejście ABS, aby sprawdzić wpływ zachowań ochronnych, takich jak szczepienie i dystans społeczny, oraz programów edukacyjnych na epidemię grypy sezonowej w wybranym środowisku uniwersyteckim. Autorzy wskazują, że jednym z wyzwań podczas tworzenia modelu ABS było określenie zmiennych, które decydują o podejmowaniu wspomnianych zachowań. W tym celu przeprowadzono badanie przekrojowe z wykorzystaniem modelu przekonań zdrowotnych, by określić postrzeganie grypy przez studentów oraz czynniki wpływające na podejmowanie wymienionych wyżej zachowań. Następnie opracowano model ABS. Wyniki pokazały, że zarówno szczepienia, jak

---

<sup>31</sup> Ang. Agent-based modeling.

<sup>32</sup> Ang. Cellular automaton.

<sup>33</sup> Kształty te mogą być jedno-, dwu- lub wielowymiarowe.

i zwiększanie dystansu społecznego pozwalają kontrolować rozprzestrzenianie się choroby. Programy edukacyjne oparte na teorii modelu przekonań zdrowotnych wpływają na zwiększenie wskaźnika szczepień o 22% oraz dystansu społecznego o 41%. Autorzy zaznaczają, że prawdopodobieństwo pojawienia się zachowania związanego ze szczepieniem czy dystansem społecznym nie może być całkowicie kontrolowane, jednak edukowanie społeczeństwa w tym zakresie może znacząco na to prawdopodobieństwo wpływać. Opracowany model ABS może wesprzeć decydentów m.in. w zaplanowaniu dystrybucji ograniczonych funduszy na różne strategie prewencyjne grypy sezonowej.

Świadomość kluczowych czynników ryzyka chorób sercowo–naczyniowych jest istotna w ich prewencji; dotyczy to np. takich chorób jak zawał mięśnia sercowego czy udar. Li i inni (2015) zbudowali model ABS w celu obserwowania stanu zdrowia indywidualnych jednostek oraz wyników zdrowotnych związanych z chorobami sercowo-naczyniowymi w czasie. Za pomocą skonstruowanego modelu dokonali oceny wpływu różnych hipotetycznych interwencji w zakresie stylu życia na wyniki zdrowotne związane z chorobami sercowo-naczyniowymi. Model miał wesprzeć decydentów w ocenie różnych programów prewencyjnych chorób układu sercowo–naczyniowego w interesującej populacji.

#### **4.4. Metoda mikrosymulacji**

Modelowanie MS jest szczególnie użyteczne do modelowania kohort o różnych cechach (Yhec 2016). Za pomocą MS można śledzić indywidualne jednostki wraz ze stanami, które przyjmują (Graves i inni 2021). Wyróżnia się trzy główne kroki opracowywania modelu MS: (1) identyfikacja stałej liczby stanów i cech związanych z tymi stanami; (2) określenie stochastycznych reguł przejścia przez stany; (3) ustalenie wartości parametrów modelu (Rutter 2011). To, jakie stany zostaną uwzględnione w modelu, bezpośrednio zależy od modelowanego procesu – w przypadku systemów ochrony zdrowia np. od specyfiki danej choroby, od postawionych pytań badawczych czy dostępności danych. Są modele, w których jednostki przechodzą między stanami w stałych odstępach czasu lub odstępach zależnych od stanu z danym prawdopodobieństwem, oraz modele czasu ciągłego, w których interwały pomiędzy przejściami mają rozkłady ciągłe. Parametry związane z obserwowalnymi procesami mogą być przyjęte na podstawie dostępnych danych, np. klinicznych. W przypadku braku możliwości bezpośredniego oszacowania wielkości parametrów przeprowadza się tzw. kalibrację.

Modele MS są wykorzystywane w badaniach różnych aspektów programów prewencyjnych raka jelita grubego. Rutter i inni (2016) podkreślają wagę walidacji takich modeli z racji

występowania wielu założeń dotyczących np. nieobserwowalnych procesów. W swojej pracy autorzy przedstawili walidację trzech modeli MS dotyczących zapobiegania rakowi jelita grubego, zbudowanych przez różne grupy badaczy w ramach *sieci modelowania interwencji i nadzoru nad rakiem*<sup>34</sup>. Modele te zostały wykorzystane do wspomagania podejmowania decyzji oraz przeprowadzenia analizy efektywności kosztowej. Zwalidowano je na podstawie wyników przesiewowych badań klinicznych przeprowadzonych w ramach *United Kingdom Flexible Sigmoidoscopy Screening*, w ramach których badano skuteczność jednorazowej sigmoidoskopii<sup>35</sup> w zmniejszaniu śmiertelności w przebiegu raka jelita grubego. Przeprowadzona walidacja wykazała, że każdy z analizowanych modeli używanych do tworzenia wytycznych dotyczących badań przesiewowych dokładnie przewiduje, jak badania przesiewowe wpływają na śmiertelność. Dokładność takich modeli jest istotna, aby decyzje podejmowane na ich podstawie były słuszne i spójne z systemem rzeczywistym. Ich dokładność może – i powinna – być potwierdzona przez walidację.

Za pomocą modelu MS Olchanski i inni (2021) modelowali indywidualne ryzyko rozwoju cukrzycy u osób o najwyższym ryzyku progresji choroby oraz przewidywane wyniki leczenia choroby. Porównali dwie interwencje: modyfikację stylu życia oraz podawanie metforminy ze zwykłą opieką świadczoną w ramach programu prewencji cukrzycy. Za pomocą modelu MS określono indywidualne koszty opieki i wyniki zdrowotne dla każdej z dwóch badanych strategii prewencji oraz dla zwykłej opieki. W porównaniu ze zwykłą opieką zarówno podawanie metforminy, jak i zmiana stylu życia opóźniały wystąpienie cukrzycy o 1,3-7,3 roku. W zależności od grupy ryzyka, do której należała grupa docelowa, podawanie metforminy było nieefektywne kosztowo lub przyczyniało się do oszczędności kosztów. Natomiast modyfikacja stylu życia, niezależnie od grupy ryzyka, była opłacalna. Za pomocą modelu MS autorzy wykazali, że działania podejmowane w ramach prewencji cukrzycy mogą cechować się różną efektywnością i skutecznością, w zależności m.in. od grupy ryzyka, w której znajdują się osoby objęte tymi działaniami.

---

<sup>34</sup> Jest to porozumienie badaczy sponsorowanych przez Narodowy Instytut Raka w Ameryce (Cancer Intervention and Surveillance Modeling Network).

<sup>35</sup> Badanie endoskopowe umożliwiające wzrokową ocenę światła końcowej części jelita grubego (Turkowiak 2023).

## 4.5. Metoda dynamiki systemu

Do śledzenia zmian zachodzących w systemie i skutków tych zmian dla systemu stosuje się SD. Jest to metoda, która może być używana do holistycznego badania systemu w czasie, gdzie wykorzystywane są zasoby<sup>36</sup>, przepływy<sup>37</sup> i sprzężenia zwrotne<sup>38</sup> (Mustafee i inni 2010; Sterman 2001). Metoda SD została stworzona w połowie lat 50. XX wieku przez profesora Jaya Forrestera, który wówczas zajmował się naukami ścisłymi i inżynierią (Borshchev i Grigoryev 2013). Modelując system za pomocą metody SD, nie uwzględnia się indywidualnych jednostek – są one pogrupowane i przedstawione jako zasoby. Można wyróżnić zasoby, które reprezentują ludzi pogrupowanych według różnych cech, np. ze względu na płeć, wiek, poziom wykształcenia czy przebyte choroby. Każdorazowa zmiana w systemie na zasadzie sprzężenia zwrotnego może spowodować reakcję systemu i zmianę innych jego elementów (Mielczarek 2016). Metoda SD umożliwia modelowanie systemu na poziomie strategicznym.

Lich i inni (2014) zbudowali populacyjny model SD w celu oceny wpływu różnych scenariuszy interwencji profilaktyki każdej fazy na QALY, uniknięte udary, uniknięte udary śmiertelne oraz liczbę pacjentów wymagających leczenia (NNT)<sup>39</sup> przypadającą na osiągnięcie jednej jednostki QALY w 20-letnim horyzoncie czasowym. Opracowali 15 różnych scenariuszy odpowiadających decyzjom podejmowanych w ramach danej polityki z uwzględnieniem trzech kategorii profilaktyki. Przeprowadzone badania pozwalają zrozumieć, jaką rolę odgrywa wdrożenie rozważanych alternatywnych strategii prewencji i leczenie udaru mózgu w populacji weteranów w Ameryce.

Posiłkując się pracą Licha i innych (2014), Bayer i inni (2021) opracowali model SD w celu wsparcia strategicznego planowania interwencji podejmowanych w zakresie opieki nad osobami po udarze mózgu w Singapurze. Za pomocą modelu autorzy poddali ocenie różne interwencje, wdrażane pojedynczo i w prawdopodobnych kombinacjach, dostosowanych do poziomu całego kraju. Główne wyniki obejmowały QALY, skumulowane zdyskontowane koszty oraz skumulowane korzyści pieniężne netto do roku 2030. Autorzy zasymulowali 12 scenariuszy opartych na sześciu różnych interwencjach stosowanych u pacjentów po udarze mózgu.

---

<sup>36</sup> Ang. Stocks.

<sup>37</sup> Ang. Flows.

<sup>38</sup> Ang. Feedback loop.

<sup>39</sup> Ang. Number needed to treat.



Hirsch i inni (2010) zaproponowali model SD do wspomagania planowania programów prewencji i leczenia chorób układu krążenia w hrabstwie El Paso w Teksasie. W kontekście ograniczonych zasobów jest to wyzwanie, a wybór programów, które w jak największym stopniu ograniczyłyby występowanie chorób układu krążenia, jest trudny ze względu na złożoność problemu. Model SD został przez autorów wykorzystany do oceny rozpowszechnienia chorób sercowo-naczyniowych i obciążenia nimi, gdyby obecna sytuacja pozostała bez zmian. Oceniono także potencjalny wpływ różnych programów. Za pomocą modelu próbowano też określić wszystkie koszty związane z chorobami i czynnikami ryzyka. Badania umożliwiły wskazanie bardziej i mniej skutecznych interwencji oraz tych, które mogą być tańsze. Wnioski można potraktować jako wyznaczniki kierunków podejmowania decyzji podczas planowania programów profilaktyki i leczenia chorób układu krążenia w El Paso, przy uwzględnieniu ograniczonych zasobów.

Miller i inni (2011) opracowali model SD, by ocenić element programu profilaktyki wirusa HIV w społeczeństwie. Pod lupę wzięli warsztaty edukacyjne w małych grupach, a konkretnie rekrutację do nich, uczestniczenie w nich i ich ukończenie przez osoby zagrożone wirusem HIV. Symulacja SD umożliwiła lepsze zrozumienie czynników ograniczających i zwiększających prawdopodobieństwo tego, że te osoby zdecydują się na omawianą usługę prewencyjną.

#### **4.6. Metoda Monte Carlo**

Jedną z najczęściej stosowanych metod symulacyjnych w ochronie zdrowia jest symulacja MC. Stosuje się ją tam, gdzie dane wejściowe do modelu są generowane z rozkładów losowych i nie są traktowane jako stałe wartości. Symulacja MC wykorzystuje próbkowanie<sup>40</sup> do oszacowania niepewności w problemach ilościowych (Brennan i inni 2006).

Modele MC są używane do przeprowadzania analizy wrażliwości (Looss i Saltelli 2017). Analiza wrażliwości dostarcza narzędzi do oceny zależności niepewności wyników (wyjść modelu) od danych wejściowych do modelu. Może być pomocna w procesach podejmowania decyzji. Analiza wrażliwości pokazuje, jak mogą zmienić się decyzje w zależności od danych wejściowych. Metody analizy wrażliwości są klasyfikowane na różne sposoby. Wyróżnia się np. analizę deterministyczną i probabilistyczną (Borgonovo 2017). Metoda analizy wrażliwości jest deterministyczna, jeżeli dane wejściowe do modelu są z góry określone, w związku z czym

---

<sup>40</sup> Ang. Sampling.

nie ma potrzeby definiowania rozkładów wejściowych. Do deterministycznych metod należą m.in.: wykresy tornada<sup>41</sup>, funkcje wrażliwości jednokierunkowej<sup>42</sup>, metody oparte na różniczkowaniu<sup>43</sup> oraz klasyczne metody optymalizacji<sup>44</sup>. Probabilistyczną analizę wrażliwości często przeprowadza się z wykorzystaniem symulacji MC (Doubilet i inni 1985).

Symulacja MC składa się z pięciu kroków: (1) ustalanie rozkładu prawdopodobieństwa dla ważnych zmiennych; (2) budowanie skumulowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla każdej zmiennej z poprzedniego etapu; (3) zakładanie interwałów liczb losowych dla każdej zmiennej; (4) generowanie liczb losowych; (5) przeprowadzenie serii symulacji (Render i inni 2018). Symulacja MC może określić prognozy dla dużej liczby pojedynczych pacjentów (Sonnenberg i Beck 1993). Metodę tę najczęściej stosuje się w połączeniu z innymi metodami, a jej głównym zadaniem jest próbkowanie wartości losowych.

Nguyen i inni (2016) ocenili inkrementalną efektywność kosztową różnych strategii dotyczących badań przesiewowych w kierunku nadciśnienia tętniczego w ramach zapobiegania chorobom układu krążenia. Aby sformułować wytyczne dotyczące postępowania z nadciśnieniem tętniczym w Wietnamie, za pomocą drzewa decyzyjnego połączonego z modelem Markowa przetestowali scenariusze nieuwzględniające badań przesiewowych oraz je uwzględniające w różnych odstępach czasu oraz dla różnych grup wiekowych. Z wykorzystaniem MC przeprowadzili 5000 powtórzeń w ramach analizy niepewności parametrów wejściowych. Badania umożliwiły wskazanie najbardziej opłacalnego scenariusza badań przesiewowych w kierunku nadciśnienia tętniczego oraz sformułowanie zalecenia objęcia ich ubezpieczeniem zdrowotnym w Wietnamie.

Oszacowano również opłacalność interwencji mających zapobiegać cukrzycy typu II u osób w stanie przedcukrzycowym w Szwecji (Neumann 2017). Autorzy rozważali następujące interwencje: zdrowsza dieta, zwiększona aktywność oraz redukcja masy ciała. Za pomocą modelu Markowa porównali opłacalność programu profilaktycznego w stosunku do grupy kontrolnej, w której takiego programu nie było. Za pomocą symulacji MC przeprowadzili analizy dla sześciu różnych scenariuszy, w każdym wyszczególnili grupę osób ze względu na płeć i wiek: 30, 50 i 70 lat. Autorzy doszli do wniosku, że prowadzenie profilaktyki cukrzycy typu II jest wykonalne i opłacalne.

---

<sup>41</sup> Ang. Tornado diagrams.

<sup>42</sup> Ang. One-way sensitivity functions.

<sup>43</sup> Ang. Differentiation-based methods.

<sup>44</sup> Ang. Classical optimization.

W jednym z chińskich miast dokonano oceny ekonomicznej programu zapobiegania cukrzycy z perspektywy systemu opieki zdrowotnej (Hu i inni 2020). Badacze porównali strategię zmiany stylu życia ze standardową opieką w populacji osób z chorobami układu krążenia. Opracowali model Markowa i użyli metody MC do przeprowadzenia probabilistycznej analizy wrażliwości obejmującej 1000 iteracji. Analizę wykonali dla okresu 30 lat i całego życia, gdzie podejmowane strategie interwencyjne wiązały się z lepszymi wynikami zdrowotnymi. W przypadku 30-letniego horyzontu czasowego zanotowano wzrost 0,74 QALY, natomiast w perspektywie całego życia wzrost ten wynosił 1,44 QALY. Autorzy doszli do wniosku, że interwencje w zakresie stylu życia w badanej populacji prawdopodobnie przełożą się na znaczną wartość ekonomiczną.

Kowada (2022) poddał ocenie różne strategie eliminacji *Helicobacter pylori* w ramach krajowego programu profilaktyki raka żołądka. Sprawdzono, która strategia jest najbardziej opłacalna w perspektywie powtarzanych co rok, co 2 i co 3 lata badań endoskopowych i przesiewowych. Opracowano model przejścia między stanami z cyklem Markowa dla pięciu strategii. Przeprowadzono również probabilistyczną analizę wrażliwości przy użyciu symulacji MC dla 10 tys. prób. Autor doszedł do wniosku, że strategia eradykacji – czyli całkowitego usunięcia – *Helicobacter pylori* zapewnia większe korzyści zdrowotne niż endoskopowe badania przesiewowe w dowolnym odstępie czasu, przy jednocześnie większych oszczędnościach. Autor zaleca ją jako pożądaną w krajowym programie badań przesiewowych w kierunku raka żołądka w Japonii.

#### **4.7. Podsumowanie**

Metody symulacyjne są szeroko stosowane w różnych aspektach zarządzania programami profilaktycznymi chorób. W niniejszym rozdziale zaprezentowano metody takie jak DES, ABS, MS, SD i MC, każda z nich ma właściwe sobie cechy. Choć mogą być stosowane w tych samych obszarach, ich cele są inne, co prowadzi do różnych wniosków dotyczących poszczególnych aspektów zarządzania programami profilaktycznymi.

Metoda DES umożliwia śledzenie obiektów, np. pacjentów, którzy przemieszczają się dynamicznie przez system, przy użyciu koncepcji kolejek. Służy do oceny skutków różnych strategii profilaktycznych – zarówno zdrowotnych, jak i finansowych – dla wielu chorób. Za pomocą metody DES można symulować różne scenariusze odpowiadające różnym strategiom programów profilaktycznych. To metoda, która może wspomóc decydentów w ocenie strategii

zarówno najkorzystniejszej dla zdrowia, jak i realnej do wdrożenia (ze względu na posiadane zasoby finansowe).

Metoda ABS skupia się na modelowaniu autonomicznych agentów, interakcji zachodzących między nimi oraz środowiskiem, w którym żyją. Stosuje się ją do badania wpływu różnych zachowań zdrowotnych na występowanie czynników chorobowych. Wspiera ona decydentów w zarządzaniu programami profilaktycznymi poprzez obserwację interakcji i ich skutków w danym środowisku.

Metoda MS pozwala śledzić różne stany zdrowia jednostki. Można ją wykorzystać do analizy skuteczności badań przesiewowych oraz do oceny efektywności różnych interwencji profilaktycznych. Pozwala ona symulować zachowania jednostek w długim czasie, co jest przydatne do analizy długoterminowych skutków różnych działań.

Metody DES, ABS i MS skupiają się na szczegółowym podejściu, natomiast metoda SD sprawdza się w badaniach holistycznych. Za jej pomocą można ocenić strategiczne konsekwencje decyzji dotyczących programów profilaktycznych.

Ostatnia omówiona metoda, MC, jest przydatna do analizy niepewności w problemach ilościowych. Może posłużyć do oceny efektywności kosztowej różnych strategii badań przesiewowych czy różnych interwencji zapobiegania chorobom. Jest to również podejście często występujące w połączeniu z innymi metodami analitycznymi i symulacyjnymi.

Wszystkie omówione metody symulacyjne mogą wspomagać zarządzanie programami profilaktycznymi, oferując różne perspektywy analizy. Choć obszary ich wykorzystania często się nakładają, to w zależności od konkretnego zastosowania danej metody możliwe jest badanie innych aspektów i obserwowanie różnych rezultatów. Wybór metody jest uwarunkowany kontekstem badań i celem analizy. Każda z nich pozwala na modelowanie skomplikowanych zależności i może stanowić wsparcie dla decydentów odpowiedzialnych za planowanie programów profilaktycznych.

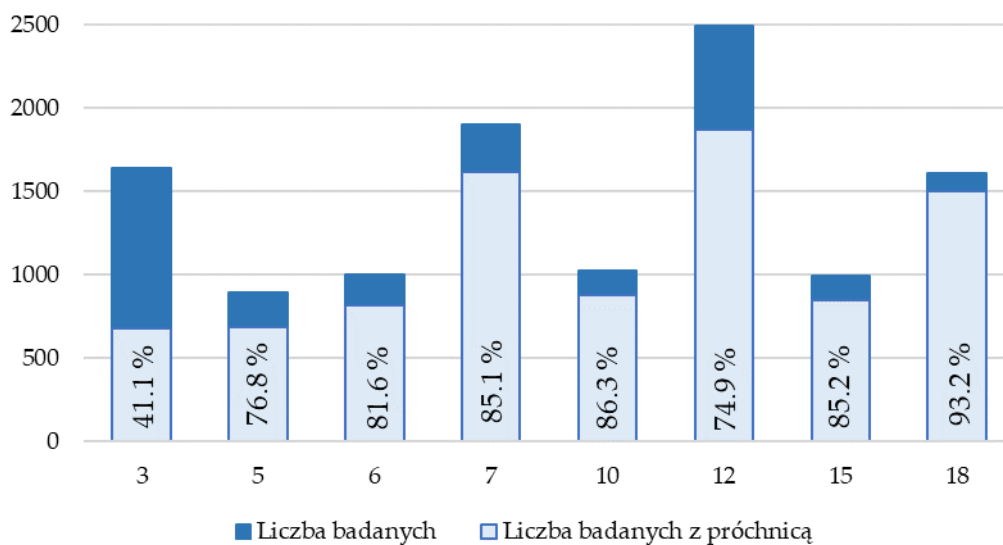
## **5. Podejścia ilościowe w planowaniu PPPZ**

### **5.1. Próchnica zębów**

Próchnica zębów to choroba tkanek twardych zębów, która przebiega dynamicznie i jest determinowana przez czynniki biologiczne, środowiskowe, psychospołeczne i behawioralne (MacHiulskiene i inni 2020). Ma wieloczynnikową etiologię (Mathur i Dhillon 2018). Nie można wskazać jednej konkretnej przyczyny jej wystąpienia. Zmiany próchnicowe wynikają

z demineralizacji szkliwa spowodowanej przez kwasy wytwarzane podczas metabolizmu resztek pokarmowych przez mikroorganizmy na powierzchniach zębów (Featherston 1996). Za główny patogen próchnicy zębów u dzieci uznaje się bakterię *Streptococcus mutans*. Jednak zgodnie z najnowszymi odkryciami to patobiont *Selenomonas sputigena* wraz ze *Streptococcus mutans* powoduje rozległe zmiany szkliwa zębów i nasilenie choroby próchnicy zębów (Cho i inni 2023). To nowe odkrycie może wpłynąć na wytyczanie kierunków działań profilaktycznych i zwiększyć zainteresowanie naukowców tym tematem.

Według WHO 2 mld ludzi na świecie cierpi z powodu próchnicy zębów stałych, a 514 mln dzieci ma próchnicę zębów mlecznych (WHO 2023). Uribe i inni (2021) wskazują, że w raportach zdrowotnych od 1990 do 2019 roku nie zanotowano znaczących zmian, jeżeli chodzi o występowanie próchnicy we wczesnym dzieciństwie na świecie. Również w Polsce sytuacja epidemiologiczna związana z próchnicą zębów u dzieci i młodzieży jest poważna (Rysunek 4).



Rysunek 4: Stosunek liczby badanych dzieci z co najmniej jednym zębem z próchnicą do liczby wszystkich przebadanych dzieci w danej grupie wiekowej w Polsce. Źródło: Na podstawie Olczak-Kowalczyk i inni (2021a).

Problem próchnicy zębów dotyczy ponad 41% dzieci w wieku 3 lat. We wszystkich pozostałych grupach wiekowych jest aż ponad 74% dzieci z próchnicą zębów. W omawianej populacji próchnica w największym stopniu dotyka dzieci w wieku 18 lat. Wówczas w jamie ustnej nie ma już zębów mlecznych, a zęby stałe nie zostaną zastąpione nowymi. Ich zły stan może negatywnie wpływać na jakość całego życia. Jeżeli już w wieku 18 lat ponad 93% badanych ma próchnicę, świadczy to o bardzo dużej skali problemu. Jednak aby ją zniwelować, działania profilaktyczne należy podjąć dużo wcześniej. Jeśli próchnica się już pojawi, nie da

się tego cofnąć, można jedynie zapobiegać jej dalszemu rozwojowi. Dlatego też zdecydowanie najlepszą opcją jest niedopuszczenie do jej wystąpienia w ogóle, np. dzięki programom profilaktycznym wdrażanym od jak najwcześniejszych lat życia.

Próchnicy zębów można zapobiegać za pomocą odpowiednio ukierunkowanej i prowadzonej profilaktyki. Do skutecznych działań należą: fluoryzacja zębów, lakowanie pierwszych stałych zębów trzonowych, prowadzenie badań przesiewowych oraz edukacja (Ahovuo-Saloranta i inni 2013; Ahovuo-Saloranta 2017; Lee 2013; Rong i inni 2023; Sosa Torices i inni 2021; Sicca i inni 2016).

Fluoryzacja może być prowadzona na różne sposoby i z wykorzystaniem różnych materiałów (Nassar i Brizuela 2023). Wyróżnia się fluoryzację endogenną, w której fluor jest dostarczany do wewnątrz organizmu, oraz egzogenną, polegającą na fluoryzacji powierzchni zębów. Fluoryzację endogenną przeprowadza się za pomocą m.in. kropli, roztworów lub tabletek. Fluor występuje również w środowisku, np. w wodzie (Borysewicz-Lewicka i Opydo-Szymaczek 2016). W niektórych regionach na świecie wykonuje się dodatkową fluoryzację wody pitnej. W przeszłości praktykowano to także w Polsce. Natomiast metodami fluoryzacji egzogennej są m.in. szczotkowanie zębów preparatem z fluorem oraz lakierowanie zębów. Miejscowe podanie fluoru działa przeciwpróchniczo za pomocą następujących mechanizmów: wzmocnienia remineralizacji zębów, hamowania demineralizacji i enzymów bakteryjnych (Featherstone 1999).

Lakowanie zębów polega na nałożeniu cienkiej fizycznej bariery na zdrowe zęby (najczęściej na szóstki i siódemki) w celu zapobieżenia inicjacji zmian próchnicowych (MacHiulskiene i inni 2020). Utworzona bariera ochronna ogranicza zatrzymywanie się pokarmu na zębach i rozwój bakterii. Materiałów do lakowania zębów jest wiele, ale główne typy to żywice/kompozyty i szkło-jonomery (Ahovuo-Saloranta i inni 2017).

Badania przesiewowe w ramach profilaktyki próchnicy zębów polegają na systematycznych wizytach kontrolnych u lekarza stomatologa. Po przeglądzie stomatologicznym lekarz wskazuje rodzicom ewentualne potrzeby lecznicze u danego dziecka. Z kolei edukacja oznacza szerzenie wiedzy dotyczącej odpowiednich nawyków dietetycznych czy higienicznych oraz innych istotnych elementów wpływających na próchnicę zębów.

Fluoryzacja, lakowanie, przeglądy stomatologiczne i edukacja leżą w gestii lekarzy stomatologów, higienistek stomatologicznych oraz pielęgniarek. Lekarz ma uprawnienia do wykonywania wszystkich wymienionych świadczeń. Higienistka stomatologiczna również ma szeroki zakres kompetencji, jednak w Polsce ten zawód nie funkcjonuje tak, jak powinien, czyli tak, żeby odciążać lekarzy. Pielęgniarka może prowadzić fluoryzację oraz edukację.

## 5.2. Wybrane podejścia ilościowe

We wspomaganiu zarządzania PPPZ wykorzystuje się zarówno metody analityczne, jak i symulacyjne. Wykorzystanie tych metod może umożliwić lepsze zrozumienie mechanizmów próchnicy zębów oraz ocenę skuteczności różnych interwencji profilaktycznych. Do metod tych należą przede wszystkim: drzewo decyzyjne, model Markowa, DES, ABS, SD oraz MC. Niektóre z problemów finansowych są częściej poruszane za pomocą metod analitycznych. Natomiast problemy z obszarów wyboru świadczeń i planowania zasobów częściej są analizowane za pomocą metod symulacyjnych. Opisane problemy przedstawiono w zestawieniu z wiodącymi metodami służącymi do ich analizy. Wykorzystanie przedstawionych metod może dostarczyć decydentom istotnych informacji oraz wskazówek dotyczących trafnego podejmowania decyzji w obszarze planowania PPPZ.

Dokonano krytycznej analizy literaturowej. Przeszukano dostępne elektroniczne bazy naukowe, przede wszystkim: Scopus, Web of Science i PubMed. Przeprowadzono czteroetapową analizę. Na pierwszym etapie zidentyfikowano prace wyszukane po słowach kluczowych. Następnie na podstawie streszczeń prac odrzucano te, które nie odnosiły się do zastosowania metod ilościowych w problemach obejmujących różne aspekty zarządzania programami profilaktycznymi. Etap trzeci obejmował uważne czytanie artykułów i kolejną selekcję tych, które po lepszym zapoznaniu okazywały się nie pasować do tematyki prowadzonego przeglądu. Na czwartym etapie podejmowano decyzje o klasyfikacji danej pracy do dalszej analizy. Pogłębiona analiza literatury naukowej została dokonana w 2022 roku. W okresie od tego czasu aż do chwili ukończenia rozprawy, dokonywano systematycznych aktualizacji utworzonej bazy źródeł literaturowych o ewentualne nowe publikacje pojawiające się w elektronicznych bazach naukowych. Te dodatkowe materiały koncentrujące się na badanych zagadnieniach zapewniały ciągłe wzbogacanie pracy o najświeższe dane i perspektywy badawcze.

W pierwszym etapie analizy literatury dotyczącej wykorzystania metod symulacyjnych we wspomaganiu zarządzania PPPZ zidentyfikowano w bazach 2526 prac, po usunięciu duplikatów zostało 2019 prac. Po przeanalizowaniu tytułów i streszczeń odrzucono 1983 prace, które nie traktowały o metodach symulacyjnych wykorzystywanych we wspomaganiu zarządzania dotyczącego profilaktyki próchnicy zębów. Wśród nich znalazło się wiele prac, które np. zawierały skrót SD, ale nie odnosił się on do metody dynamiki systemów, ale do

odchylenia standardowego<sup>45</sup>. W tematyce próchnicy również słowo „agent” często odnosiło się do takich pojęć jak np. środki przeciwdrobnoustrojowe<sup>46</sup>, środki przeciwbakteryjne<sup>47</sup> czy klasyczne środki farmakologiczne<sup>48</sup>. Natomiast słowo symulacja było używane w kontekście zmian różnych stanów zdrowia jamy ustnej. Przeczytano pełne teksty 36 prac i ostatecznie zaakceptowano w niniejszym przeglądzie 11 prac traktujących o metodach symulacyjnych wykorzystywanych we wspomaganii zarządzania PPPZ. Należy podkreślić, że poszukiwania były bardzo zawężone, ponieważ nie analizowano wykorzystania metod symulacyjnych w kontekście próchnicy zębów ogólnie, ale z uszczegółowieniem do programów profilaktycznych i zarządzania.

Odnosnie wykorzystania metod analitycznych do wspomaganii zarządzania PPPZ zastosowano jednakową procedurę postępowania jak w przypadku zastosowania metod symulacyjnych.

Na podstawie przeprowadzonego badania literaturowego można wysunąć wniosek, że wybrane metody ilościowe są wykorzystywane przede wszystkim w takich obszarach, jak: finansowanie programów profilaktycznych, dobór interwencji profilaktycznych oraz planowanie zasobów (Tabela 2). Najwięcej prac zidentyfikowano w ramach obszaru dotyczącego finansowania programów (dziewiętnaście prac), drugim – pod względem liczności prac – był obszar dotyczący doboru świadczeń profilaktycznych (pięć prac). Najmniej prac zidentyfikowano w ramach obszaru dotyczącego planowania zasobów (dwie prace).

### **5.3. Finansowanie programów**

Metody analityczne takie, jak drzewo decyzyjne oraz model Markowa często są łączone z symulacją MC w celu porównania efektywności kosztowej różnych strategii zapobiegania próchnicy zębów (Boachie i inni 2023; Egil i Yaylali 2023; Espinoza-Espinoza i inni 2020; Nguyen i inni 2017; Norrie i Pharand 2020; Pukallus i inni 2013; Rodriguez i inni 2022; Ruff i inni 2020; Schwendicke i Bombeck 2023; Zaror i inni 2020; Zhou i inni 2023).

Palacio i inni (2019) połączyli model Markowa z drzewem decyzyjnym w celu oceny opłacalności stosowania lakierów fluorowych w Chile. MC użyto do przeprowadzenia analizy wrażliwości. Okazało się, że stosowanie lakierów fluorowych bez badań przesiewowych

---

<sup>45</sup> Ang. Standard deviation.

<sup>46</sup> Ang. Antimicrobial agents.

<sup>47</sup> Ang. Antimicrobial agents.

<sup>48</sup> Ang. Classical pharmacological agents.



byłoby najskuteczniejszą i najmniej kosztowną spośród badanych strategią zwiększenia odsetka dzieci wolnych od próchnicy w przedszkolach w Chile.

Tabela 2: Wykorzystanie wybranych metod analitycznych i symulacyjnych w obszarach zarządzania programami profilaktyki próchnicy zębów.

Obszar Metoda	Finansowanie programów	Dobór świadczeń profilaktycznych	Planowanie zasobów
Drzewo decyzyjne	Palacio i inni (2019) Rodriguez i inni (2022) Khouja i Smith (2018) Nguyen i inni (2017) Zaror i inni (2020)		
Model Markowa	Boachie i inni (2023) Egil i Yaylali (2023) Espinoza-Espinoza i inni (2020) Norrie i Pharand (2020) Nguyen i inni (2020) Palacio i inni (2019) Rodriguez i inni (2022) Khouja i Smith (2018) Warren i inni (2010) Quiñonez i inni (2006) Pukallus i inni (2013) Ruff i inni (2020) Schwendicke i Bombeck (2023) Splieth i Fleßa (2008) Zhou i inni (2023)		
DES			Scherrer i inni (2007)
ABS		Heaton i inni (2020)	
SD	Splieth i Fleßa (2008)	Edelstein i inni (2015) Hirsch i inni (2012) Urwannachotima i inni (2019) Urwannachotima i inni (2020)	Umeda i inni (2020)
MC	Boachie i inni (2023) Espinoza-Espinoza i inni (2020) Palacio i inni (2019) Khouja i Smith (2018) OConnell (2005) Norrie i Pharand (2020) Scherrer i Naavaal (2019) Schwendicke i Bombeck (2023)		

Khouja i inni (2018) wykorzystali model Markowa wraz z drzewem decyzyjnym w badaniach mających na celu porównanie efektywności kosztowej dwóch strategii

zapobiegania próchnicy: lakowania bruzd i szczelin oraz stosowania lakierów fluorowych. Zarekomendowali oni lakowanie szczelin i bruzd jako mniej kosztowną i bardziej efektywną strategię zapobiegania próchnicy. Model Markowa posłużył do symulacji postępu próchnicy zębów, natomiast drzewo decyzyjne – do porównania efektywności kosztowej dwóch strategii z brakiem jakiegokolwiek interwencji. Na podstawie wyników analizy wrażliwości MC autorzy skonstruowali krzywe akceptowalności efektywności kosztów.

Warren i inni (2010) opracowali model Markowa w celu przeprowadzenia oceny ekonomicznej *systemu zarządzania próchnicą (CMS)*<sup>49</sup> w Australii. Za jego pomocą porównano długoterminowe koszty i wyniki stosowania CMS ze standardową opieką stomatologiczną w hipotetycznej próbie. Ocena ekonomiczna została dokonana z perspektywy prywatnego lekarza dentysty w Australii. Wynik analizy sugeruje, że CMS jest najbardziej opłacalny u pacjentów obciążonych wysokim ryzykiem próchnicy.

Quiñonez i inni (2006) zbadali efektywność kosztową stosowania lakieru fluorowego u dzieci do 36. miesiąca życia w ramach badań okresowych państwowego programu pomocy socjalnej w Stanach Zjednoczonych<sup>50</sup>. Za pomocą modelu Markowa modelowali zmiany stanów zdrowotnych dzieci. Wyniki badań wskazały, że zastosowanie lakieru fluorowego będzie wymagało od opieki socjalnej zapewnienia dodatkowych środków. Jednak oszczędności wynikające z zapewnienia tego świadczenia mogą pojawić się później.

O'Connell i inni (2005) z wykorzystaniem metody MC porównywali koszty związane z programami fluoryzacji wody (CWFPs)<sup>51</sup> z oszczędnościami uzyskanymi dzięki zapobieganiu próchnicy zębów w Kolorado. Określanie polityki oraz alokacja zasobów wymagają, by lokalni i krajowi decydenci ds. zdrowia mieli dostęp do informacji, które dotyczą ekonomicznego obciążenia chorobami jamy ustnej w populacji objętej danym programem oraz opłacalności działań zdrowotnych. Choć istniejące już programy CWFPs przynoszą wysokie roczne oszczędności w Kolorado, to wdrożenie programów fluoryzacji na innych obszarach mogłoby się przyczynić do zwiększenia tych oszczędności i redukcji zachorowalności.

Scherrer i Naavaal (2019) za pomocą metody MC oszacowali, jakie są potencjalne skutki finansowe i wpływ na zapobieganie próchnicy zębów zastosowania lakieru fluorowego podczas wizyt kontrolnych u dzieci z perspektywy lekarza podstawowej opieki zdrowotnej w Wirginii. Oszacowano korzyści z lakierowania zębów u dzieci objętych programem Medicaid lub ubezpieczeniem zdrowotnym, które kwalifikują się do aplikacji lakieru fluorowego u lekarza

---

<sup>49</sup> Ang. Caries Management System.

<sup>50</sup> Ang. Medicaid.

<sup>51</sup> Ang. Community water fluoridation programs.

podstawowej opieki zdrowotnej, ale ich nie otrzymują. Aplikacja lakieru fluorowego u dzieci w wieku poniżej 3 lat jest opłacalna w badanej populacji.

Wyniki analizy przeprowadzonej z wykorzystaniem metody SD sugerują, że ustanowienie skutecznej profilaktyki próchnicy poprzez zoptymalizowane stosowanie fluorków jest korzystne z ekonomicznego punktu widzenia (Splieth i Fleßa 2008). Model SD posłużył do symulacji istotnych ekonomicznie aspektów próchnicy w populacji i opierał się na zasadach modelu Markowa. Autorzy wskazali różne stany opisujące stan zdrowia jamy ustnej. Modelowali, jak zachowuje się populacja w zależności od różnych przyjętych założeń dotyczących fluoryzacji w scenariuszach symulacyjnych.

#### **5.4. Dobór świadczeń profilaktycznych**

Heaton i inni (2020) opracowali ABM do śledzenia mechanizmów wpływających na rozwój próchnicy wczesnego dzieciństwa (ECC)<sup>52</sup> oraz do symulowania hipotetycznych scenariuszy interwencji profilaktycznych. Model umożliwił obserwację, w jaki sposób skuteczność interwencji profilaktycznej zależy od mechanizmów odpowiedzialnych za powstawanie próchnicy.

Metoda SD została użyta do symulacji i porównania potencjalnych wyników dziewięciu interwencji profilaktycznych i defluoryzacji miasta Nowy Jork w zakresie redukcji zachorowań i oszczędności netto w okresie 10 lat (Edelstein i inni 2015). Autorzy wskazują, że metoda SD może ułatwić podejmowanie decyzji poprzez wykazanie względnej wartości różnych opcji. Kluczowym elementem zarządzania w opiece zdrowotnej jest zrównoważenie ograniczonych zasobów z konkurencyjnymi potrzebami publicznymi, metoda SD może wspomóc maksymalizację użyteczności i wydajności dzięki dostarczeniu informacji użytecznych z perspektywy podejmowania decyzji.

Hirsch i inni (2012) za pomocą SD określili, które interwencje, indywidualnie i w połączeniu, mogą w największym stopniu ograniczyć występowanie ECC i związane z nią koszty. Metoda SD może być przydatna decydentom w wyborze interwencji profilaktycznych w przypadku konkretnych populacji. Autorzy rozważali sześć kategorii interwencji profilaktycznych skierowanych do dzieci w Kolorado. Uwzględnili stosowanie fluorków, ograniczanie przenoszenia bakterii próchnicotwórczych z matek na dzieci, podawanie ksylitolu bezpośrednio dzieciom, leczenie kliniczne, rozmowy motywacyjne oraz kombinacje tych

---

<sup>52</sup> Ang. Early childhood caries.

interwencji. Interwencje skierowane do dzieci z grupy najwyższego ryzyka zapewniają największy zwrot z inwestycji. Niektóre interwencje pozwalają zaoszczędzić więcej na leczeniu, niż wynosi ich koszt, natomiast wszystkie rozważane interwencje powodują zmniejszenie kosztów leczenia stomatologicznego.

Ponadto metodę SD wykorzystano do oszacowania zmian stanu próchnicy zębów za sprawą różnych wariantów polityki. Modelowano dynamiczne powiązania między zmianami stanu próchnicy zębów a zachowaniami dotyczącymi zdrowia jamy ustnej, w tym samoopieką, korzystaniem z opieki dentystycznej i spożyciem cukru (Urwannachotima i inni 2019). Został również opracowany model SD, który ujmuje złożone zależności między podatkiem od napojów słodzonych cukrem, spożyciem cukru i próchnicą zębów. Zbadano oczekiwany wpływ nowej polityki opodatkowania napojów słodzonych cukrem w Tajlandii i innych alternatywnych polityk na wyniki w zakresie zdrowia jamy ustnej (Urwannachotima i inni 2020).

## **5.5. Planowanie zasobów**

Metoda DES posłużyła do określenia optymalnych kombinacji liczby personelu i stanowisk do lakowania zębów dla szkolnych programów uszczelniania zębów w Ameryce (Scherrer i inni 2007). Autorzy wskazują, że opieka stomatologiczna stanowi największą niezaspokojoną potrzebę zdrowotną wśród amerykańskich dzieci. W związku z tym są realizowane różne programy, w tym szkolny program uszczelniania zębów, jednak cechują się one ograniczeniami, jeżeli chodzi o personel zapewniający opiekę. Autorzy wskazują, że w zależności od regionu mogą występować 4 możliwości zapewniania tego świadczenia dzieciom: (1) bez nadzoru dentysty; (2) z ogólnym nadzorem; (3) z bezpośrednim nadzorem; (4) z pośrednim nadzorem. Zależnie od rodzaju nadzoru większe kompetencje mogą mieć higienistki stomatologiczne czy asystentki stomatologiczne, co może znacząco odciążać pracę lekarzy. Autorzy doszli do wniosku, że można by zaoszczędzić pieniądze, łagodząc ograniczenia dotyczące rodzaju personelu mogącego wykonywać lakowanie zębów, a oszczędności spożytkować na zwiększenie dostępu do podobnych programów.

Metoda SD może wspomóc podejmowanie decyzji dotyczących planowania zasobów materialnych i ludzkich niezbędnych do kontrolowania i prewencji próchnicy wczesnej u dzieci (Umeda i inni 2020). Z jej pomocą dla wybranych interwencji zostały oszacowane koszty i godziny kliniczne konieczne do kontroli rozwoju próchnicy w wybranej grupie dzieci w wieku przedszkolnym. Wyniki przeprowadzonych badań pokazały, że wdrożenie działań

zapobiegawczych i leczniczych nie musi wiązać się z dużymi inwestycjami lub czasem klinicznym.

## 5.6. Podsumowanie

Metody analityczne i symulacyjne są stosowane we wspomaganiu planowania PPPZ. Te same grupy problemów mogą być analizowane przy użyciu różnych metod. Jednak w zależności od wybranej metody odzwierciedlenie rzeczywistego systemu może się różnić pod względem dokładności. Na podstawie doniesień literaturowych zostały zidentyfikowane trzy główne obszary wykorzystania rozważanych metod ilościowych: finansowanie programów profilaktycznych, dobór interwencji profilaktycznych oraz planowanie zasobów (*patrz Tabela 2*).

Obszar finansowania programów dotyczy przede wszystkim zagadnienia analizy kosztów i korzyści ekonomicznych wynikających z wdrożenia konkretnych programów profilaktycznych lub porównania efektywności kosztowej różnych strategii zapobiegania próchnicy zębów. Obszar ten wyróżnia się nie tylko jako najbardziej rozbudowany pod względem liczby prac naukowych, ale także jako dziedzina, która w kontekście wspomaganie planowania PPPZ charakteryzuje się największym przyrostem publikacji spośród zidentyfikowanych obszarów. Należy jednak zaznaczyć, że wzrost ten dotyczy przede wszystkim zastosowania metod takich jak drzewo decyzyjne oraz model Markowa w połączeniu z symulacją MC. W obszarze finansowania PPPZ zidentyfikowano dziewiętnaście prac, w których oprócz metody drzewa decyzyjnego oraz modelu Markowa, autorzy wykorzystywali takie metody jak: SD i MC. Autorzy łączyli ze sobą wybrane metody analityczne i symulacyjne albo stosowali je jako samodzielne podejścia.

Dobór świadczeń profilaktycznych stanowi kolejny istotny obszar, w ramach którego zidentyfikowano pięć prac wykorzystujących metody symulacyjne: ABS i SD. W ramach tego obszaru analizowane są mechanizmy wpływające na rozwój próchnicy zębów oraz zależności między skutecznością interwencji profilaktycznych a ich wpływem na stan zdrowia. W ramach tego obszaru rozważa się również, jak różne decyzje polityczne mogą oddziaływać na zmiany stanu próchnicy zębów.

Planowanie zasobów to obszar, w którym zidentyfikowano dwie prace wykorzystujące podejścia symulacyjne: DES i SD. W ramach tego obszaru metody te można wykorzystać do rozważań dotyczących optymalnego wykorzystania zasobów rzeczowych, ludzkich i finansowych w ramach PPPZ.

Celem przeprowadzonego przeglądu literaturowego była analiza wybranych metod analitycznych i symulacyjnych stosowanych do wspomaganie zarządzania programami profilaktycznymi. Refleksje teoretyczne doprowadziły do sformułowania istotnych wniosków. Można wskazać złożoność i wielość aspektów, które należy uwzględnić w zarządzaniu programami profilaktycznymi różnych chorób. Ponadto dostępne są różne metody, które mogą wspomagać zarządzanie tego rodzaju programami. Metody symulacyjne są wszechstronnie wykorzystywane do wspomaganie zarządzania różnymi programami profilaktycznymi, włączając w to PPPZ. Metoda DES sprawdza się szczególnie tam, gdzie istotne jest obserwowanie jednostek w czasie. Ze szczegółowej analizy literatury wynika, że stosunkowo niewiele prac skupiało się na użyciu metody DES jako narzędzia wspomagającego zarządzanie PPPZ. Te nieliczne publikacje, choć istotne, ukazują ograniczoną eksplorację potencjału tej metody w kontekście zarządzania PPPZ. Znacznie większa liczba opracowań naukowych dotyczyła stosowania metody DES w kontekście zarządzania profilaktyką innych schorzeń. To sugeruje, że istnieje potencjał dalszych badań oraz eksploracji metody DES pod kątem wspomaganie zarządzania PPPZ. Jako jeden z kluczowych etapów badań symulacyjnych można wskazać ten, na którym formułowane są założenia i tworzona jest koncepcja modelu. Jako że nie są znane doniesienia literaturowe na temat konceptualizacji modelu symulacyjnego do obserwowania rozwoju próchnicy zębów u uczniów w szkołach podstawowych, metoda DES została uznana za adekwatnie dobraną – w kontekście zidentyfikowanej luki badawczej – metodę do prowadzenia tego typu badań.

### 1. Metodyka prowadzenia badań symulacyjnych

Procedura prowadzenia badań symulacyjnych jest znana i dobrze opisana w literaturze (Gordon 1974, s. 37-39; Law i Kelton 1991, s. 106-109; Naylor 1975, s. 33). Chociaż nie jest możliwe precyzyjne określenie zestawu reguł i założeń do budowy konkretnych modeli, to można wskazać ogólne etapy, które wyznaczają kierunek postępowania. Law i Kelton (1991, s. 106-109) opisują 10 kroków badań symulacyjnych, które mogą, ale nie muszą być realizowane we wskazanej kolejności. Nie wyklucza się konieczności powrotu do wcześniejszych etapów wraz z postępowaniem pracy nad budową modelu i w miarę zdobywania nowych informacji. Do tych kroków należą:

- 1) Sformułowanie problemu i zaplanowanie badań.
- 2) Zebranie danych wejściowych i zdefiniowanie modelu matematycznego.
- 3) Ustalenie zasadności modelu (walidacja).
- 4) Skonstruowanie modelu komputerowego i przeprowadzenie jego weryfikacji.
- 5) Przeprowadzenie badań pilotażowych.
- 6) Zwalidowanie uzyskanych wyników z badań pilotażowych.
- 7) Zaplanowanie eksperymentów.
- 8) Przeprowadzenie symulacji.
- 9) Analiza danych wyjściowych.
- 10) Udokumentowanie, zaprezentowanie i zaimplementowanie wyników.

#### **Sformułowanie problemu i zaplanowanie badań**

Etap formułowania problemu stanowi pierwszy i ważny krok prowadzenia badań symulacyjnych. Badania rozpoczyna się od sformułowania problemu oraz opracowania celów

eksperymentów. Podczas planowania badań należy uwzględnić ludzi, koszty oraz czas, który jest potrzebny do realizacji poszczególnych etapów badań.

### **Zebranie danych wejściowych i zdefiniowanie modelu matematycznego**

Należy zgromadzić dane dotyczące systemu rzeczywistego. Konstrukcja modelu matematycznego i logicznego odwzorowującego system rzeczywisty jest bardziej sztuką niż nauką. Nie należy budować modelu zawierającego dokładnie te same elementy, co system rzeczywisty. Model powinien zawierać tylko tyle szczegółów, aby uchwycić istotę systemu dla celów, dla których jest przeznaczony. Zasadą jest rozpoczęcie prac na ogólniejszym poziomie tak, aby w razie potrzeby można było uszczegółowić model.

### **Ustalenie zasadności modelu (walidacja)**

Podczas procesu budowy modelu konieczne jest zaangażowanie osób, które dobrze znają działanie systemu rzeczywistego. Walidacja powinna być wykonywana podczas całego czasu trwania badań, a nie tylko po zbudowaniu modelu. Wiarygodność modelu oraz rzeczywista lub postrzegana jego wartość dla decydentów może być zwiększona przez regularne interakcje pomiędzy osobami odpowiedzialnymi za budowę modelu, a decydentami czy docelowymi użytkownikami modelu.

### **Skonstruowanie modelu komputerowego i przeprowadzenie jego weryfikacji**

Zaprogramowanie modelu komputerowego w oparciu o skonstruowany model matematyczny wymaga wyboru języka programowania. Można skorzystać z języka ogólnego przeznaczenia, takiego jak np. Python, C++ lub specjalnie zaprojektowanego języka symulacji, takiego jak np. GPSS (General Purpose Simulation Language), SLAM (Simulation Language for Alternative Modeling), SIMAN (Simulation Analysis). Można również skorzystać ze środowiska do symulacji graficznej takiego, jak np. Arena, Any Logic czy Vensim. Język ogólnego przeznaczenia może cechować się szerszym zakresem możliwości i być bardziej dostępny dla osoby odpowiedzialnej za budowę modelu. Z kolei język symulacji może mieć już wbudowanych wiele funkcji niezbędnych do budowy modelu. Zbudowany model należy poddać weryfikacji, żeby ustalić czy model symulacyjny poprawnie opisuje system rzeczywisty. Weryfikacja dotyczy wewnętrznej spójności modelu, którą sprawdza się za pomocą różnych dostępnych testów przeprowadzanych na modelu.



## **Przeprowadzenie badań pilotażowych**

Uruchomienie zweryfikowanego modelu poprzedza przeprowadzenie walidacji uzyskanych, w ramach badań pilotażowych, wyników.

## **Zwalidowanie uzyskanych wyników z badań pilotażowych**

Badania pilotażowe można wykorzystać do testowania wrażliwości wyników modelu na zmiany parametru wejściowego. Sprawdzane jest czy wskaźniki działania modelu są podobne do wskaźników działania systemu. Jeżeli model jest wiarygodny, to za jego pomocą można z dużą precyzją opisać zmiany zachodzące w systemie rzeczywistym. Jednak nie ma pełnej zgodności kiedy o modelu z całą pewnością można powiedzieć, że jest wiarygodny.

## **Zaplanowanie eksperymentów**

Jeżeli na tym etapie, po przeprowadzonej weryfikacji i walidacji modelu, uznano, że model jest wiarygodny, to można przejść do zaplanowania eksperymentów. W zależności od typu prowadzonej analizy, czy będzie obserwowany pełen cykl działania systemu, czy jedynie fragment systemu ciągłego, wówczas należy przyjąć inne warunki początkowe dla badanego systemu. W analizie typu *steady state*<sup>53</sup> należy założyć okres podczas, którego model się rozgrzeje. Natomiast w obu przypadkach należy wskazać długość jednego powtórzenia oraz ile razy zostanie ono powtórzone.

## **Przeprowadzenie symulacji**

W celu zdobycia danych wyjściowych należy uruchomić symulacje.

## **Analiza danych wyjściowych**

Po przeprowadzeniu symulacji, należy poddać analizie uzyskane dane wyjściowe z wykorzystaniem dostępnych metod statystycznych. Typowym działaniem jest wyliczenie przedziału ufności, który stanowi miernik dokładności dla uzyskanych wyników. Im mniejszy przedział ufności, tym precyzyjniej zostały wyliczone średnie wartości badanych parametrów

---

<sup>53</sup> Można wyróżnić różne typy analiz symulacyjnych: *terminating* oraz *nonterminating* czyli *steady state* (Law i Kelton 1991, s. 527-530). Pierwszy typ odnosi się do systemów rozpoczynających i kończących cykle pracy, natomiast drugi odnosi się do systemów działających w sposób ciągły.

wyjściowych. Ponadto obserwowanie długości przedziału ufności pozwala dobrać właściwą liczbę powtórzeń symulacyjnych.

### **Udokumentowanie, zaprezentowanie i zaimplementowanie wyników**

Wyniki wiarygodnych modeli, które przeszły gruntowną weryfikację i walidację, są o wiele bardziej prawdopodobne do zaimplementowania w rzeczywistości w porównaniu do niezwyfikowanych i niezwalidowanych modeli. Należy zatem udokumentować założenia, które zostały przyjęte w modelu konceptualnym oraz opracowanym modelu komputerowym.

Poszczególne kroki prowadzenia badań symulacyjnych zostały w literaturze zidentyfikowane i opisane. Jednak są to ogólne ramy, wyznaczające kierunek prowadzenia badań. Każdy model symulacyjny jest budowany dla specyficznego fragmentu systemu rzeczywistego. Konstruowanie modeli symulacyjnych nie może być ustandaryzowane – każdy wymaga własnych ram koncepcyjnych. Ten proces to skrupulatna analiza systemu rzeczywistego i podejmowania decyzji co do kluczowych i opcjonalnych założeń, które należy przyjąć, aby budowany model wiarygodnie odwzorowywał badany system.

Badania symulacyjne w niniejszej pracy zostały przeprowadzone zgodnie z ogólnymi założeniami przedstawionymi w literaturze. Nowością jest konceptualizacja modelu, polegająca na sformułowaniu oryginalnych założeń do budowy modelu symulacyjnego opisującego proces postępowania choroby próchnicy zębów u uczniów w szkole podstawowej. Według klasyfikacji Lawa i Keltona (1991, s. 106-109) jest to etap nazwany: *Zebranie danych wejściowych i zdefiniowanie modelu matematycznego*. Opracowanie i zaprezentowanie założeń do budowy takiego modelu pozwoli odpowiedzieć na pytanie badawcze P1 postawione w pracy (*patrz część I, punkt 4*).

## **2. Opis badanego systemu rzeczywistego**

Badania symulacyjne rozpoczęto od gruntownej analizy systemu rzeczywistego, który stanowił podstawę konstrukcji modelu. Badanie skupiło się na procesie rozwoju próchnicy zębów u uczniów w ciągu ośmioletniej edukacji w szkole podstawowej, uwzględniając wpływ czasu oraz programów profilaktycznych.

Według danych GUSu<sup>54</sup>, w 2021 roku w polskich szkołach podstawowych uczyło się ponad trzy miliony uczniów. Natomiast liczba szkół podstawowych dla dzieci i młodzieży (bez szkół specjalnych) wynosiła ponad 13 tysięcy (GUS 2022). W Tabeli 3 przedstawiono liczbę szkół oraz uczniów w każdym z 16-stu województw w Polsce.

Tabela 3: Liczba szkół podstawowych dla dzieci i młodzieży bez szkół specjalnych oraz liczba uczniów w 2021 roku w Polsce – z podziałem na szesnaście województw.

<b>Region</b>	<b>Szkoły</b>	<b>Uczniowie</b>
Dolnośląskie	768	222 064
Kujawsko-Pomorskie	655	161 724
Lubelskie	874	158 936
Lubuskie	330	81 067
Łódzkie	814	185 275
Małopolskie	1451	287 221
Mazowieckie	1751	475 720
Opolskie	377	68 474
Podkarpackie	1040	166 629
Podlaskie	389	88 616
Pomorskie	717	203 890
Śląskie	1317	344 250
Świętokrzyskie	508	88 051
Warmińsko-Mazurskie	507	108 982
Wielkopolskie	1218	306 099
Zachodniopomorskie	475	126 301
<b>Polska</b>	<b>13191</b>	<b>3 073 299</b>

Źródło: GUS (2022).

Odpowiednio najmniej i najwięcej szkół podstawowych było w województwach: lubuskim i mazowieckim, różnica pomiędzy tymi dwoma województwami wynosiła ponad 1400 szkół. Natomiast uczniów było najmniej w województwie opolskim, a najwięcej w mazowieckim. Różnica w liczbie uczniów pomiędzy minimalną a maksymalną ich liczbą w danym województwie wynosiła ponad 400 tysięcy.

<sup>54</sup> Główny Urząd Statystyczny.

W poprzedniej, drugiej części niniejszej pracy został opisany problem próchnicy w odniesieniu do całej Polski. Można jednak wskazać różne nasilenie problemu zważywszy na konkretny region (Tabela 4). Według danych zgromadzonych w ramach badania monitorowanie stanu zdrowia jamy ustnej populacji polskiej (Olczak-Kowalczyk i inni 2021a), w każdym województwie w Polsce próchnica stanowiła znaczący problem. W wieku 18-stu lat, w województwie łódzkim, aż 88% badanych miało próchnicę, co stanowiło najniższy odsetek dzieci z próchnicą w tym wieku, spośród wszystkich województw. Najwięcej, bo aż 98% badanych z próchnicą, było w województwach mazowieckim i podlaskim.

Tabela 4: Odsetek dzieci posiadających co najmniej jeden ząb mleczny i/lub stały z próchnicą w wybranych grupach wiekowych.

<b>Region</b>	<b>3 lata</b>	<b>5 lat</b>	<b>6 lat</b>	<b>7 lat</b>	<b>10 lat</b>	<b>12 lat</b>	<b>15 lat</b>	<b>18 lat</b>
Dolnośląskie	27%	75,6%	73%	75,75%	94%	87,04%	89%	97%
Kujawsko-Pomorskie	41,6%	-	-	91,43%	-	66,28%	-	94%
Lubelskie	23%	79,5%	86%	89,9%	94%	83,1%	94%	97%
Lubuskie	45%	-	79,5%	77,8%	85%	57,5%	84,7%	91%
Łódzkie	41,6%	-	74%	85,92%	78%	72,31%	71%	82%
Małopolskie	66%	74,5%	92,08%	84,9%	92,16%	81,8%	95%	96%
Mazowieckie	46%	77,6%	75,47%	89,67%	87,5%	69,72%	79%	98%
Opolskie	50,4%	-	-	85,7%	-	60%	-	92%
Podkarpackie	40%	-	-	92,86%	-	86,15%	-	95%
Podlaskie	32%	-	78%	84,75%	95%	83%	93%	98%
Pomorskie	36,8%	-	86%	73,7%	100%	63%	96%	97%
Śląskie	52%	-	-	72,5%	-	60%	-	88%
Świętokrzyskie	50,50%	-	-	88%	-	82,5%	-	91,10%
Warmińsko-Mazurskie	-	-	-	92%	-	85,51%	-	90%
Wielkopolskie	21%	-	77%	85%	73%	55%	74%	89%
Zachodniopomorskie	47,8%	-	84%	80%	73%	61,4%	76%	95%
<b>Polska</b>	<b>41,1%</b>	<b>76,8%</b>	<b>81,6%</b>	<b>85,1%</b>	<b>86,3%</b>	<b>74,9%</b>	<b>85,2%</b>	<b>93,2%</b>

Źródło: Olczak-Kowalczyk i inni (2021a).

W zależności od województwa, inna liczba uczniów powinna mieć zapewnioną opiekę profilaktyczną próchnicy zębów. Jednak niezależnie od miejsca, problem dotyczy większości dzieci i młodzieży. Z drugiej strony liczba pracujących lekarzy dentystów znacząco różni się w zależności od regionu, ale w całej Polsce nie przekracza 37-miu tysięcy (Tabela 5). Wśród lekarzy pracujących, oprócz lekarzy pracujących w publicznej opiece, są również lekarze

pracujący w prywatnym sektorze oraz prowadzący własną praktykę. Zatem, można tutaj wskazać aspekt wpływający na ograniczoną liczbę zasobów ludzkich, które mogłyby objąć opieką profilaktyczną uczniów w szkołach.

Tabela 5: Liczba lekarzy pracujących w 2021 roku.

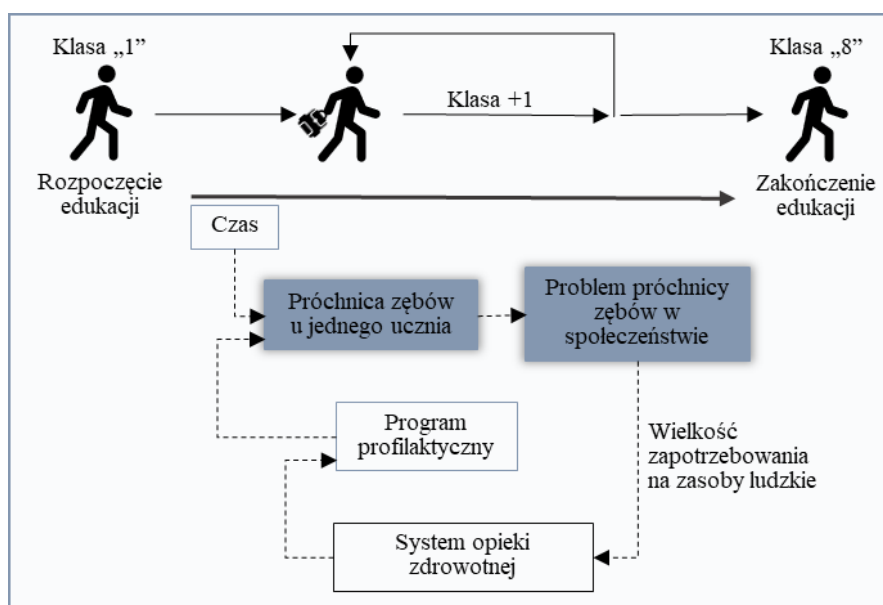
<b>Region</b>	<b>Liczba dentystów pracujących</b>
Dolnośląskie	3 040
Kujawsko-Pomorskie	1 250
Lubelskie	2 133
Lubuskie	734
Łódzkie	2 809
Małopolskie	3 396
Mazowieckie	6 313
Opolskie	680
Podkarpackie	1 676
Podlaskie	1 294
Pomorskie	2 285
Śląskie	3 909
Świętokrzyskie	1 010
Warmińsko-Mazurskie	936
Wielkopolskie	3 074
Zachodniopomorskie	1 750
<b>Polska</b>	<b>36 289</b>

Źródło: GUS (2022).

W ramach badanego systemu uwzględnia się dwa główne procesy: edukacji w szkole podstawowej oraz zapewniania programu profilaktyki próchnicy zębów. Edukacja w szkole podstawowej w Polsce obejmuje osiem klas. Często przy szkołach podstawowych działają oddziały przedszkolne obejmujące tzw. „zerówkę”. W niniejszych badaniach zamodelowano szkołę podstawową od pierwszej do ósmej klasy.

Opis opieki profilaktycznej próchnicy zębów został założony na podstawie hipotetycznego programu profilaktyki próchnicy zębów, w oparciu o zalecenia dotyczące częstotliwości zapewniania świadczeń i na przykładzie podobnego programu realizowanego w rzeczywistości. W ramach programu profilaktycznego zostały wzięte pod uwagę następujące świadczenia: przegląd stomatologiczny, lakowanie zębów trzonowych: szóstek i siódemek, grupowa

fluoryzacja nadzorowana oraz grupowa edukacja w zakresie zdrowia i higieny jamy ustnej<sup>55</sup>. Natomiast jako specjalistów odpowiedzialnych za realizację tych świadczeń: personel lekarski – lekarza dentystę oraz personel pielęgniarski – pielęgniarkę szkolną. Idealnym rozwiązaniem byłoby zaangażowanie higienistek stomatologicznych w ramach programów profilaktycznych, jednak w Polsce jest to zawód, w którym brakuje specjalistów. Zatem pojawia się konieczność zaangażowania innych dostępnych zasobów ludzkich, w tym np. pielęgniarki szkolnej, do przeprowadzania czynności profilaktycznych niewymagających zaangażowania lekarza stomatologa. Lekarz może wykonywać wszystkie interwencje przewidziane w ramach programu profilaktyki próchnicy zębów. Natomiast pielęgniarka może nadzorować fluoryzację i edukować. Dany program profilaktyczny, jako element systemu opieki zdrowotnej, wpływa na postępowanie choroby próchnicy u jednego ucznia, co z kolei przyczynia się do całościowego problemu choroby próchnicy zębów w społeczeństwie. Natomiast skala tego problemu oddziałuje na system opieki zdrowotnej (Rysunek 5).



Rysunek 5: System rzeczywisty zapewniania programu profilaktycznego próchnicy zębów uczniom podczas edukacji w szkole podstawowej w Polsce.

<sup>55</sup> W dalszej części pracy pod pojęciem „fluoryzacji” rozumiane będzie świadczenie profilaktyczne „grupowa fluoryzacja nadzorowana”, pod pojęciem „grupowej edukacji”, „grupowej pogadanki” lub „pogadanki edukacyjnej” rozumiana będzie „grupowa edukacja w zakresie zdrowia i higieny jamy ustnej”, natomiast pod pojęciem „przeglądu” – „przeгляд stomatologiczny”.

### 3. Wymiary konceptualne modelu symulacyjnego

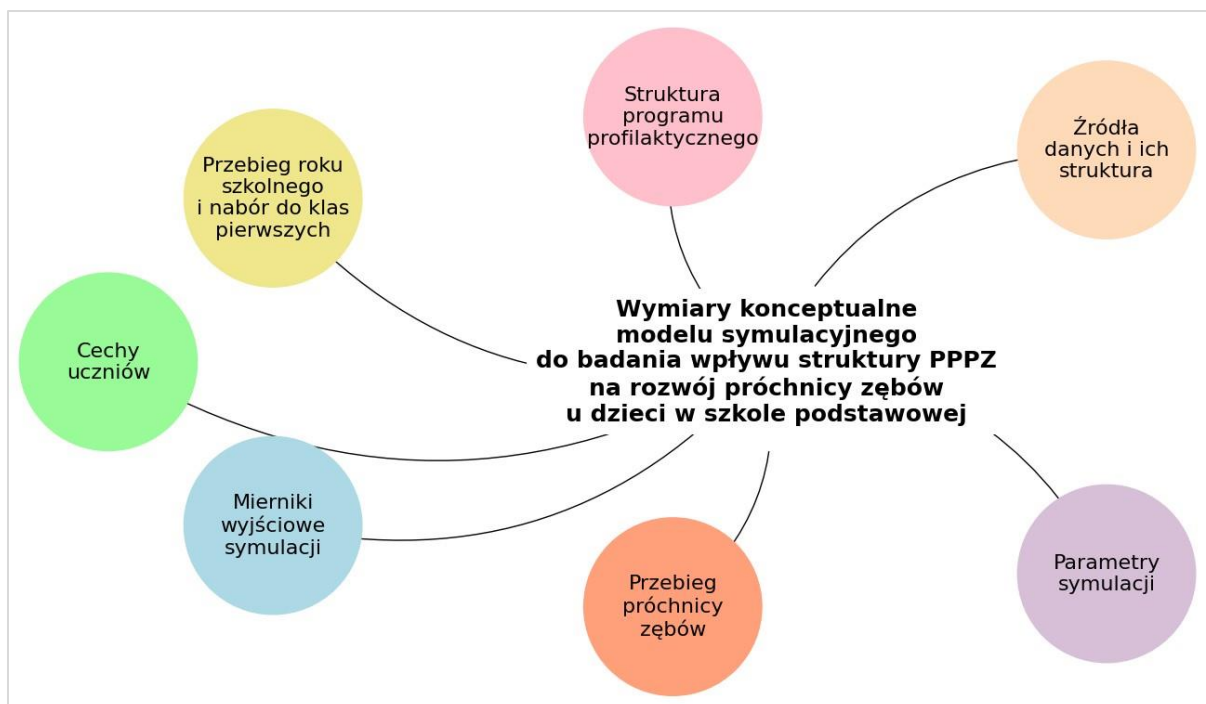
#### 3.1. Ogólne omówienie

Etap opracowywania modelu konceptualnego jest decydujący ze względu na to w jakim stopniu model komputerowy będzie odwzorowywał badany system rzeczywisty. Jednym z kluczowych kroków w badaniach symulacyjnych jest konceptualizacja modelu<sup>56</sup> (Banks i inni 2010, s. 34-39). Założenia formułowane w ramach każdego badania są specyficzne dla modelowanego systemu. Podczas etapu konceptualizacji modelu symulacyjnego należy sformułować założenia w ramach następujących wymiarów: *źródła danych i ich struktura, struktura programu profilaktycznego, przebieg roku szkolnego i nabór do klas pierwszych, cechy uczniów, mierniki wyjściowe symulacji, przebieg próchnicy zębów oraz parametry symulacji* (Rysunek 6). W ramach każdego wymiaru wskazano główne aspekty, których dotyczyły założenia formułowane w ramach tych wymiarów (Tabela 6). Założenia te są niezbędne do rozważenia i uwzględnienia przy budowie modelu symulacyjnego do badania wpływu struktury PPPZ na rozwój próchnicy zębów u dzieci w szkole podstawowej. Wstępne rozważania dotyczące wymiarów konceptualnych modelu symulacyjnego do wspomagania planowania PPPZ przedstawiono w Hajłasz i Mielczarek (2022a; 2024a).

Tabela 6: Główne aspekty rozważane w ramach każdego ze zidentyfikowanych wymiarów konceptualnych modelu symulacyjnego.

Wymiar	Główne aspekty
Źródła danych i ich struktura	szczegółowość danych
Struktura programu profilaktycznego	świadczenia profilaktyczne, personel medyczny
Przebieg roku szkolnego i nabór do klas pierwszych	struktura roku szkolnego, tworzenie pierwszych klas
Cechy uczniów	kluczowe atrybuty
Mierniki wyjściowe symulacji	główne i dodatkowe miary
Przebieg próchnicy zębów	postęp choroby, wpływ świadczeń profilaktycznych
Parametry symulacji	okres rozgrzewania, liczba powtórzeń, długość powtórzeń

<sup>56</sup> Ang. model conceptualization.



Rysunek 6: Wymiary konceptualne modelu symulacyjnego do badania wpływu struktury PPPZ na rozwój próchnicy zębów u dzieci w szkole podstawowej.

### **Źródła danych i ich struktura**

W celu odwzorowania systemu zapewniania programu profilaktyki próchnicy zębów u uczniów w szkołach niezbędne są różne rodzaje danych: dane epidemiologiczne, demograficzne oraz dotyczące czasu trwania i skuteczności świadczeń profilaktycznych.

Dostęp do danych medycznych, w tym przypadku obejmujących liczbę zębów mlecznych, stałych, wskaźniki opisujące rozwój choroby próchnicy takie, jak: procent populacji posiadający próchnicę zębów, procent dzieci z zalakowanymi zębami oraz puwz i PUWZ są kluczowe do prawidłowego odwzorowania przebiegu choroby. Dane wejściowe mogą być zagregowane i dostępne wyłącznie jako wartości uśrednione wyznaczone dla całych kohort wiekowych lub mogą to być szczegółowe informacje dokumentujące stan uzębienia każdego ucznia w każdym kolejnym roku nauki szkolnej. Z perspektywy podejścia do budowania modelu, wskazane jest, żeby dane opisywały rzeczywistość z jak największą szczegółowością.

Dane demograficzne mogą odnosić się do różnych aspektów związanych z grupą docelową, np. mogą opisywać wiek, płeć, liczebność różnych kohort wiekowych czy wskaźniki migracji.

Formułowanie założeń dotyczących czasu trwania i skuteczności interwencji profilaktycznych jest złożonym procesem. Można przyjąć ogólny czas trwania zarówno przeglądów stomatologicznych, lakowania zębów, fluoryzacji czy grupowej edukacji. Jednak w zależności od wielu losowych czynników, do których należy chociażby chęć współpracy



odbiorców, ich poziom dbania o higienę jamy ustnej czy przestrzeganie zdrowych nawyków żywieniowych, ale również umiejętności i doświadczenie personelu zapewniającego świadczenia, zarówno czas, jak i skuteczność świadczeń mogą się różnić w odniesieniu do danego ucznia czy grupy uczniów.

### **Struktura programu profilaktycznego**

Podczas planowania programu profilaktycznego próchnicy zębów dedykowanego uczniom w szkole podstawowej należy rozważyć jego strukturę, m.in. rodzaj świadczeń, które będzie on obejmować oraz wielkość i typ personelu medycznego, który będzie realizować jego założenia. Opracowanie struktury takiego programu może mieć miejsce na podstawie różnych rekomendacji medycznych, w których zawarte są zarówno informacje jakie świadczenia są skuteczne oraz w jakim wymiarze je zapewniać. Ponadto wybór konkretnych świadczeń do danego programu może być uwarunkowany dostępnością zasobów ludzkich, rzeczowych oraz finansowych. Wśród personelu medycznego odpowiedzialnego za realizowanie założeń programów profilaktycznych można wskazać: lekarzy stomatologów, higienistki stomatologiczne oraz pielęgniarki (np. pielęgniarki szkolne). Wybór konkretnych rodzajów świadczeń profilaktycznych często warunkuje kto będzie je przeprowadzać. Jednak zawsze osoba z większymi kompetencjami może wykonywać więcej niż przewidziano w podstawowym zakresie jej obowiązków, np. lekarz może realizować wszystkie wymienione świadczenia profilaktyczne.

### **Przebieg roku szkolnego i nabór do klas pierwszych**

Modelując przebieg roku szkolnego należy zwrócić uwagę na kilka kwestii. Każdy rok kalendarzowy jest trochę inny. Każdy można podzielić na dni pracujące i dni wolne od pracy. Wśród dni wolnych od pracy zawsze można wskazać weekendy oraz powtarzalne święta i wakacje. Liczba dni wolnych każdego roku jest zbliżona, mogą one jednak występować w różnym czasie. W celu zachowania pewnej uniwersalności modelu, jedną z możliwości jest przyjęcie wzorcowej, niezmiennej struktury roku szkolnego.

Podczas modelowania napływu uczniów klas pierwszych podstawową kwestią, którą należy rozważyć jest to czy modelować napływ uczniów do modelu jako indywidualne jednostki, czy generować napływ całych klas. Z punktu widzenia realizacji programu profilaktycznego część świadczeń może być zapewniana wielu uczniom w tym samym czasie (grupowa edukacja i fluoryzacja), a niektóre powinny być zapewniane indywidualnie (przeglądy i lakowanie

zębów). Zatem można wskazać przesłanki stojące zarówno za tym, żeby modelować ten napływ indywidualnie ale i grupowo.

### **Cechy uczniów**

Uczniowie są w modelu obiektami dynamicznymi, które przemieszczają się przez system i mają przypisane wartości różnych atrybutów. Definiując uczniów w modelu należy rozważyć jakie atrybuty im przypisać. Atrybut opisujący płeć ucznia rozpoczynającego naukę szkolną powinien być zdefiniowany w modelu, jeżeli różnice, które mogą występować pomiędzy płciami są istotne z punktu widzenia rozwoju choroby. Atrybutami, które natomiast powinny być uwzględnione w modelu są: liczba zębów mlecznych i stałych, wskaźniki puwz i PUWZ, symbol rocznika oraz symbol klasy. Liczba zębów mlecznych jak i stałych ogranicza w ilu zębach maksymalnie mogą wystąpić zmiany chorobowe. Ponadto na podstawie liczby posiadanych przez dziecko pierwszych zębów trzonowych podejmowane są decyzje o potrzebie ich lakowania. Wskaźniki puwz i PUWZ informują o tym ile zębów u każdego ucznia jest objętych chorobą próchnicy. Natomiast symbol rocznika i symbol klasy są podstawowymi charakterystykami ucznia w szkole.

### **Mierniki wyjściowe symulacji**

Analiza danych wyjściowych ma na celu wskazanie przy jakiej strukturze programu profilaktycznego, tj. przy jakich świadczeniach i jakim nakładzie godzin pracy personelu medycznego, poziom choroby próchnicy wśród uczniów kończących szkołę podstawową jest na zadowalającym poziomie. W związku z tym do podstawowych mierników wyjściowych należy wskaźnik puwz i PUWZ oraz godziny pracy personelu medycznego w przeliczeniu na miesiąc lub rok, które były potrzebne do zrealizowania programu profilaktycznego u danej grupy dzieci podczas trwania ich edukacji podstawowej.

### **Przebieg próchnicy zębów**

Modelowanie przebiegu choroby próchnicy opiera się przede wszystkim na wyznaczeniu zmian wartości wskaźników puwz i PUWZ w czasie. Zazwyczaj w wieku dwunastu lat dzieci już nie mają zębów mlecznych, co wiąże się również z brakiem zębów mlecznych z próchnicą. Natomiast w wieku czternastu lat nie mogą mieć więcej niż 28 zębów stałych. Ponadto, jeżeli modeluje się zarówno wskaźniki puwz/PUWZ oraz dotyczące liczby zębów, należy pamiętać, że wskaźniki puwz/PUWZ nie mogą być większe niż liczba zębów mlecznych/liczba zębów

stałych u danego ucznia. Obserwacjom należy również poddać kierunki zmian wskaźników. Ponadto część dzieci może mieć próchnicę od początku edukacji, natomiast u części może pojawić się dopiero w trakcie nauki szkolnej.

Na rozwój choroby próchnicy oprócz czasu może mieć wpływ szereg innych czynników, wśród których znajduje się skuteczność prowadzonej profilaktyki. Można również wskazać środowisko, w którym żyje uczeń, częstotliwość i jakość mycia zębów, nawyki dietetyczne, świadomość zdrowotną rodziców lub opiekunów oraz nieobecności podczas prowadzonych świadczeń profilaktycznych. Każdy z tych czynników może wpłynąć na zmniejszenie problemu próchnicy u uczniów, ale może też stymulować rozwój choroby.

### **Parametry symulacji**

Podczas planowania eksperymentów symulacyjnych należy podjąć szereg decyzji dotyczących ustawień parametrów symulacji, do których przede wszystkim należy: okres rozgrzewania modelu<sup>57</sup>, długość powtórzenia oraz liczba powtórzeń.

Można wyróżnić dwie strategie prowadzenia eksperymentów symulacyjnych dla modeli stochastycznych: symulacje pulsacyjne<sup>58</sup> oraz niezmiennicze<sup>59</sup> (za Mielczarek 2009, s. 118). Pierwszy typ – symulacje pulsacyjne – odnosi się do systemów rozpoczynających i kończących cykle pracy, natomiast drugi – symulacje *steady state* – odnosi się do systemów działających w sposób ciągły (Law i Kelton 1991, s. 527-530). W zależności od przyjętego podejścia będzie zachodziła potrzeba wypełnienia modelu zgłoszeniami bądź nie. Cechą charakterystyczną dla symulacji pulsacyjnych jest rozpoczęcie wypełniania modelu zgłoszeniami i kolekcjonowanie statystyk wraz z uruchomieniem symulacji. W przypadku podejścia *steady state*, sytuacja jest bardziej skomplikowana i wymaga określenia warunków początkowych. Aby uniknąć błędów w interpretacji wyników dla systemu działającego w sposób ciągły, należy rozgrzać model, czyli wypełnić go zgłoszeniami do poziomu odpowiadającemu sytuacji rzeczywistej. Jeśli przedmiotem badań mają być różnorodne aspekty zapewniania programu profilaktycznego dla uczniów w szkole podstawowej, to punktem wyjścia do przeprowadzenia obserwacji jest sytuacja, w której wszystkie klasy i roczniki szkolne są wypełnione uczniami. Zatem zalecana długość okresu rozgrzewania wynosi osiem lat, co odpowiada pełnemu cyklowi edukacji w szkole podstawowej.

---

<sup>57</sup> Ang. Warm-up period.

<sup>58</sup> Ang. Terminating simulations.

<sup>59</sup> Ang. Steady state simulations. W dalszej części pracy autorka będzie posługiwała się pojęciem *steady state* w odniesieniu do symulacji niezmienniczych.

Wybór długości jednego powtórzenia uzależniony jest od tego ile roczników kończących szkołę będzie poddanych obserwacjom. Może to być jeden rocznik, wówczas długość jednego powtórzenia będzie wynosić 16 lat (po uwzględnieniu okresu rozgrzewania). Jeżeli natomiast będą to dwa, trzy lub cztery roczniki, będzie to odpowiednio 17, 18 lub 19 lat. Natomiast określenie liczby powtórzeń może mieć miejsce z wykorzystaniem różnych metod: reguły kciuka, metody graficznej i metody przedziału ufności (Robinson 2004).

### 3.2. Wymiar: Źródła danych i ich struktura

Dane wykorzystane w niniejszych badaniach pochodzą z różnych źródeł. Można wskazać cztery kategorie danych: epidemiologiczne, demograficzne, dotyczące skuteczności oraz czasu trwania świadczeń profilaktycznych (Tabela 7).

Tabela 7: Źródła każdego z czterech rodzajów danych wykorzystanych do budowy modelu.

Rodzaj danych	Źródło
Epidemiologiczne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu Olczak-Kowalczyk i inni 2021a)</li> <li>• Program profilaktyczny <i>Zapobieganie próchnicy zębów u uczniów wrocławskich szkół podstawowych</i><sup>60</sup></li> </ul>
Demograficzne	Główny Urząd Statystyczny (GUS 2022)
Skuteczność interwencji profilaktycznych	Dostępne doniesienia literaturowe (Marinho i inni 2015; Stein i inni 2018; Wright i inni 2016)
Czas trwania interwencji profilaktycznych	Ankieta przeprowadzona wśród lekarzy dentyków (Hajłasz 2023)

#### Dane epidemiologiczne

Pozyskanie danych epidemiologicznych próchnicy zębów u dzieci stanowi duże wyzwanie, ponieważ są to wrażliwe dane medyczne. Informacje o stanie zdrowia jamy ustnej u dzieci może pozyskać lekarz na podstawie przeprowadzonego przeglądu, po wcześniejszym wyrażeniu zgody przez rodziców dzieci. W związku z tym, w pierwszej kolejności zostały znalezione szkoły we Wrocławiu, w których realizowany jest program profilaktyki próchnicy zębów. Nawiązany został kontakt z lekarzem, który realizował program o nazwie *Zapobieganie próchnicy zębów u uczniów wrocławskich szkół podstawowych*, finansowany przez miasto Wrocław w wybranych szkołach. Wystąpiono i uzyskano zgodę od miasta Wrocławia

<sup>60</sup> Więcej informacji o programie można znaleźć na stronie: <https://bip.um.wroc.pl/przetarg/57474/zapobieganie-prochnicy-zebow-u-uczniow-wroclawskich-szkol-podstawowych>.

z Wydziału Zdrowia i Spraw Społecznych na dostęp do zanonimizowanych danych zgromadzonych w ramach realizowanego programu w jednej szkole. Dane zostały pozyskane w formie papierowej, więc zostały zdigitalizowane a następnie poddane wstępnej analizie. Niestety zgromadzona próba danych była bardzo mała i nie obejmowała wszystkich niezbędnych elementów. Jednak w ramach nawiązanej współpracy nastąpił szereg spotkań z lekarką odpowiedzialną za realizację tego programu w szkole. W ramach tych spotkań, omówiono jak wygląda zapewnienie takiego programu w szkole zarówno od strony teoretycznej jak i praktycznej.

Zatem konieczne było podjęcie dalszych kroków w celu zgromadzenia danych wejściowych do modelu. Obserwowanie jak zmienia się stan zdrowia jamy ustnej u dzieci od rozpoczęcia do zakończenia edukacji jest jednym ze sposobów na pozyskanie takich danych. Jednak wówczas obserwacja byłaby bardzo kosztowna i wymagałaby zaangażowania wielu specjalistów oraz dużej liczby szkół. Pozyskanie danych w taki sposób wymagałoby odpowiednich przygotowań i prowadzenia obserwacji przez minimum osiem lat, a następnie przeprowadzenia analizy uzyskanych wyników. Oczywiście takie badania są możliwe do przeprowadzenia i najczęściej są realizowane przez różne medyczne ośrodki naukowe, w związku z tym nawiązano współpracę z Uniwersytetem Medycznym we Wrocławiu. W ramach współpracy uzyskano dostęp do raportów podsumowujących ogólnopolskie badania oraz przeprowadzono konsultacje merytoryczne z lekarzami specjalizującymi się pedodontją, czyli specjalizacją obejmującą profilaktykę i leczenie jamy ustnej u dzieci. Raporty są obecnie opublikowane (Olczak-Kowalczyk i inni 2021a). Wśród danych epidemiologicznych (Tabela 8) uwzględniono: liczbę przebadanych dzieci, liczbę zębów mlecznych i stałych, puwz, PUWZ, procent dzieci z uszczelnionym co najmniej jednym zębem trzonowym stałym (zalakowany ząb) oraz procent dzieci z próchnicą ogółem ( $puwz/PUWZ > 0$ ).

W celu implementacji danych w modelu przeprowadzono wstępną analizę danych. Dane były zapisane w formie zagregowanej jako średnie oraz odchylenia od średnich dla całych, wybranych kohort wiekowych. Zatem należało przyjąć odpowiedni sposób generowania wartości wskaźników dla każdego ucznia w modelu. Przeprowadzono analizę dla trzech rozkładów losowych: normalnego, jednostajnego oraz trójkątnego. Uruchomiono symulację dla tej samej grupy uczniów, dla dziesięciu powtórzeń, gdzie za każdym razem dane były generowane z innego rozkładu losowego. Następnie porównano uzyskane wyniki z danymi rzeczywistymi. Brak ograniczenia rozkładu normalnego oraz równe prawdopodobieństwo generowania wartości z ograniczonego przedziału rozkładu jednostajnego głównie przyczyniły się do ich odrzucenia. Zatem na podstawie charakterystyki rozkładów oraz wstępnej analizy

uzyskanych wyników, zdecydowano, że dane rzeczywiste będą w modelu zaimplementowane z wykorzystaniem rozkładów trójkątnych. Jako parametr minimalny i maksymalny przyjęto kolejno średnią pomniejszoną i powiększoną o odchylenie od średniej. Natomiast średnia rzeczywista stanowiła wartość najczęściej występującą. Jeżeli, w nielicznych przypadkach, wartość minimalna rozkładu spadała poniżej zera, jako parametr minimalny przyjmowano wartość 0,01. Natomiast jeżeli wartość maksymalna przekraczała 28, to 28. Liczba zębów nie może być ujemna, a u uczniów do czternastego roku życia przyjmuje się, że nie powinno być więcej niż 28 zębów stałych. Ponadto założono, że zarówno liczba zębów mlecznych, stałych, puwz oraz PUWZ będą zawsze liczbami całkowitymi. Zweryfikowano dwie możliwości zaokrąglania liczb wygenerowanych z rozkładów losowych: do najbliższej całkowitej oraz zawsze w górę. Zaokrąglanie zawsze w górę, w pierwszej chwili wydawało się zasadne, jednak po wstępnej analizie wyników i porównaniu ich z danymi rzeczywistymi, taki sposób zaokrąglania sprawił, że otrzymywane wartości były za duże w porównaniu do danych rzeczywistych. Przyjęto zatem, że liczby te będą zaokrąglane do najbliższej całkowitej, co po wstępnej analizie, okazało się słusznym wyborem.

Tabela 8: Rzeczywiste dane epidemiologiczne dla miast i wsi na Dolnym Śląsku w latach 2016-2019: liczba badanych w konkretnych grupach wiekowych, procent dzieci z zalakowanym chociaż jednym zębem, procent dzieci z przynajmniej jednym zębem z próchnicą (puwz/PUWZ>0) oraz średnia i odchylenie od średniej dla zębów mlecznych, zębów stałych, puwz i PUWZ.

Parametr	7 lat	10 lat	12 lat	15 lat
liczba badanych	301	100	355	100
zalakowany ząb >0	6,64%	16%	20,30%	9%
puwz/PUWZ >0	75,75%	94%	87,04%	89%
zęby mleczne	14,83 ± 2,85	3,88 ± 3,77	0	0
zęby stałe	8,89 ± 2,87	19,65 ± 4,03	25,59 ± 2,94	27,83 ± 0,79
puwz	5,42 ± 3,25	1,62 ± 1,88	0	0
PUWZ	0,61 ± 1,12	1,88 ± 1,63	3,6 ± 2,74	5,42 ± 3,69

Źródło: Olczak-Kowalczyk i inni (2021a).

### Dane demograficzne

Z GUSu (2022) pozyskano dane dotyczące średniej liczby uczniów przypadających na jedną klasę w kolejnych latach. Średnia liczba uczniów przypadających na jeden oddział w szkołach podstawowych w województwie dolnośląskim w latach 2010 - 2021 wynosiła 19 (7 razy) lub

20 uczniów (5 razy). W związku z tym, że różnica pomiędzy średnią liczbą uczniów wynosiła jeden, to bazowo założono, że w każdej klasie uczy się dwudziestu uczniów.

### **Dane dotyczące skuteczności czynności**

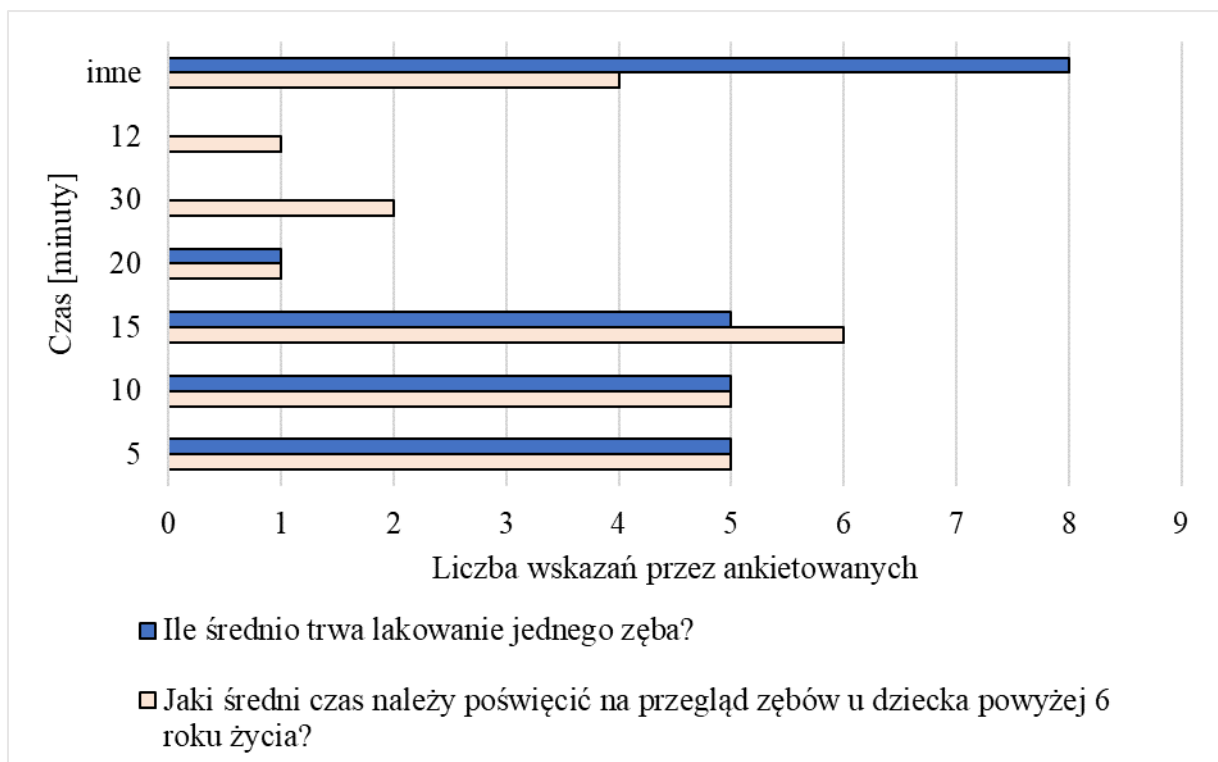
Skuteczność świadczeń profilaktycznych została opracowana na podstawie dostępnych doniesień literaturowych. Chociaż istniejąca literatura nie określa jednoznacznie zmniejszenia ryzyka próchnicy dzięki edukacji zdrowotnej, jest ona powszechnie uznawana za korzystną (Stein i inni 2018). Fluoryzacja zmniejsza ryzyko wystąpienia próchnicy o 20% w przypadku powierzchni zębów mlecznych i 28% w przypadku powierzchni zębów stałych (Marinho i inni 2015). Z kolei lakowanie zębów zmniejsza ryzyko ubytków w zębach stałych o 79% (Wright i inni 2016). W oparciu o przytoczoną literaturę oraz konsultacje ze specjalistą stomatologiem, została założona skuteczność interwencji profilaktycznych uwzględnionych w PPPZ dedykowanemu uczniom w szkołach podstawowych. Skuteczność ta jest rozumiana jako ograniczenie ryzyka wystąpienia próchnicy zębów, która wystąpiłaby u danego ucznia gdyby nie zapewniane świadczenia profilaktyczne.

### **Dane dotyczące czasu trwania czynności**

Dane dotyczące czasu trwania poszczególnych czynności profilaktycznych zostały opracowane na podstawie kwestionariusza ankietowego, przeprowadzonego przez autorkę wśród lekarzy stomatologów. Badanie było traktowane jako poszerzone konsultacje, zważywszy na ograniczenia fizyczne w możliwości bezpośredniego kontaktu z wieloma lekarzami. Ankietowane tematy dotyczyły zagadnień związanych z próchnicą zębów oraz sposobami profilaktyki. Ankieta miała na celu wzbogacenie i uzupełnienie zdobytej wiedzy na temat tej problematyki poprzez zbadanie opinii lekarzy stomatologów w zakresie profilaktyki i występowania próchnicy zębów u dzieci. Anonimowe badanie ankietowe zostało przeprowadzone w 2020 roku stacjonarnie i online i stanowiło uzupełnienie posiadanej wiedzy. Badanie przeprowadzono wśród 24 lekarzy stomatologów praktykujących zawód od jednego roku do trzydziestu siedmiu lat. Ankieta składała się zarówno z pytań otwartych jak i zamkniętych. W pytaniach zamkniętych, odpowiedzi były udzielane według pięciostopniowej skali Likerta (zdecydowanie nie, nie, nie wiem, tak, zdecydowanie tak). Ankieta rozpoczynała się ode metryczki, w której pytano o płeć, wiek, lata praktyki lekarskiej, specjalizację oraz aktualne miejsce pracy (własna praktyka, prywatna opieka, publiczna opieka). Następnie znajdowały się pytania podzielone na następujące kategorie: nastawienie lekarzy do leczenia dzieci i problemu choroby próchnicy, profilaktyka próchnicy zębów w szkołach oraz najlepsze

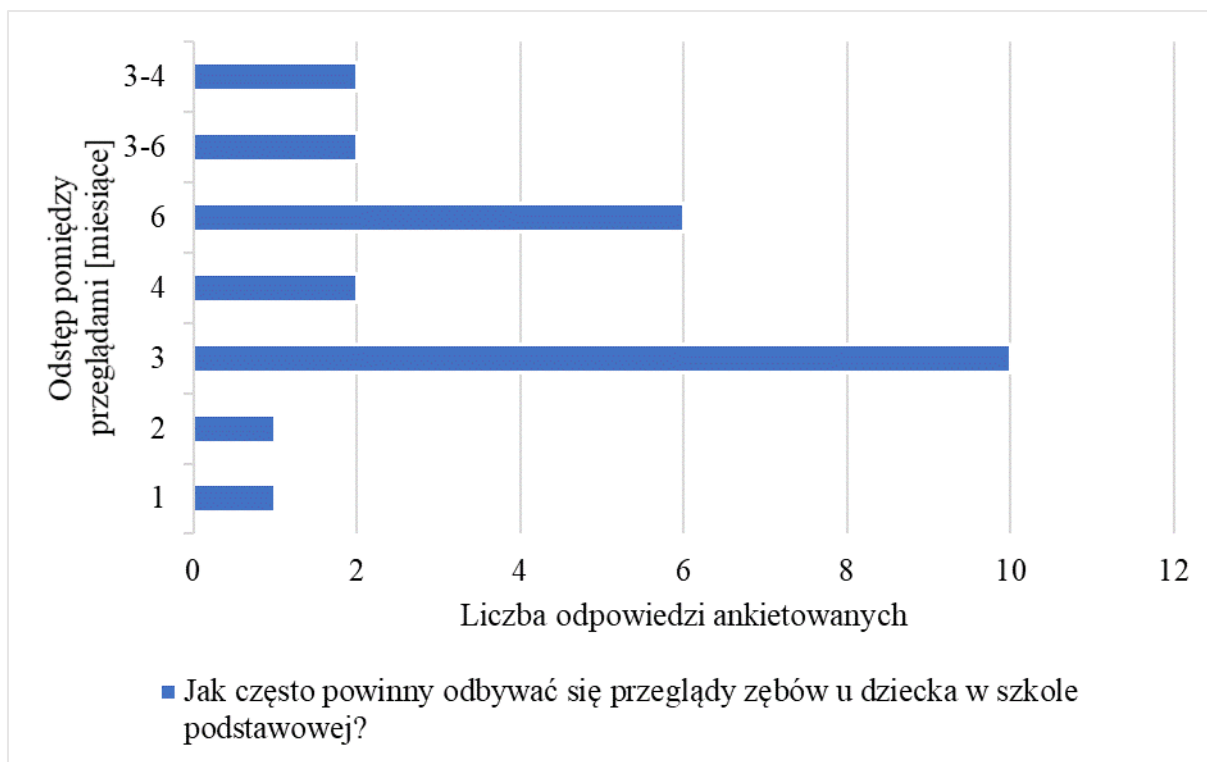
sposoby zapobiegania próchnicy. Kwestionariusz ankietowy jest opublikowany w języku angielskim w otwartym repozytorium (Hajłasz 2023), natomiast w polskiej wersji językowej znajduje się w załącznikach do niniejszej rozprawy (*Załącznik 1*).

Na podstawie ankiety uzyskano ogólną wiedzę dotyczącą problemu próchnicy zębów oraz możliwego czasu trwania wybranych świadczeń profilaktycznych. Na podstawie odpowiedzi udzielonych przez ankietowanych przyjęto czas trwania przeglądu stomatologicznego u jednego dziecka oraz czas lakowania jednego zęba przez lekarza. Ponadto założono orientacyjny odstęp czasu jaki mija pomiędzy kolejnymi przeglądami. Część odpowiedzi dotycząca czasu trwania lakowania pierwszych zębów trzonowych i przeglądów stomatologicznych była przedstawiona w postaci zakresu, np. od 5 do 10 minut, wówczas na Rysunku 7 umieszczono te odpowiedzi w kategorii inne. Na Rysunku 8 przedstawiono jak odpowiadali ankietowani na temat zachowania odstępu czasu pomiędzy kolejnymi przeglądami.



Rysunek 7: Odpowiedzi ankietowanych dotyczące czasu trwania lakowania jednego zęba oraz przeglądu zębów u dziecka powyżej 6 roku życia.





Rysunek 8: Odpowiedzi ankietowanych dotyczące czasu trwania lakowania jednego zęba oraz przeglądu zębów u dziecka powyżej 6 roku życia.

Należy podkreślić, że czas dla poszczególnych czynności, w tym lakowania zębów i przeglądów może zależeć od wielu czynników. Dotyczy to również odstępu czasu pomiędzy kolejnymi przeglądami. Bardziej zepsute zęby mogą np. wymagać częstszych przeglądów w celu szybszego wykrycia potrzeb leczniczych. Prowadząc badania symulacyjne, w zależności od indywidualnych cech danego badania, czas trwania czynności i długość odstępu pomiędzy przeglądami, może się różnić. Ankieta miała na celu przede wszystkim wyrobienie ogólnego poglądu na tematy związane z profilaktyką próchnicy zębów i dotyczące opinii lekarzy odnoszących się do różnych aspektów zapewniania świadczeń. Z racji, że czas trwania czynności medycznych nie stanowi twardych danych i może się różnić w zależności od wielu czynników, odpowiedzi ankietowanych lekarzy potraktowano jako sugestie, które zostały zaimplementowane w modelu jako przykładowe czasy trwania czynności.

### 3.3. Wymiar: Struktura programu profilaktycznego

W modelu założono, że każdego roku jest dzieciom zapewniany dokładnie ten sam program, w ramach którego, w różnych kombinacjach, zapewniane są takie świadczenia jak: fluoryzacja, grupowa edukacja, przeglądy oraz lakowanie szóstek i siódemek. Wymienione świadczenia

zostały uwzględnione w badaniach na podstawie doniesień literaturowych i konsultacji z ekspertami. Do ekspertów należeli lekarze stomatolodzy, którzy są lub byli związani z realizacją programów profilaktycznych próchnicy zębów w szkołach oraz lekarze stomatolodzy z ośrodków naukowych. Przyjęto, że fluoryzację oraz grupową edukację realizuje dla uczniów personel pielęgniarski, natomiast przegląd oraz lakowanie zębów – personel lekarski.

### **3.4. Wymiar: Przebieg roku szkolnego i nabór do klas pierwszych**

Założono, że każdy rok kalendarzowy trwa 365 dni, podczas 296 dni jest czas szkolny, a przez pozostałe 69 dni są wakacje. Uczniowie mogą mieć zapewniane świadczenia prewencyjne podczas czasu szkolnego. Przeanalizowano kalendarze szkolne od 2011 do 2021 roku. W tych latach liczba dni szkolnych wahała się od 183 do 188, przerwa zimowa wynosiła zawsze 2 tygodnie, przerwa świąteczna na Boże Narodzenie od 6 do 9 dni, a przerwa świąteczna na Wielkanoc zawsze 4 dni. Ostatecznie więc w modelu przyjęto przykładowy kalendarz odpowiadający roku szkolnemu 2021/2022. Zakłada on 187 dni szkolnych, przerwę świąteczną na Boże Narodzenie wynoszącą 7 dni, przerwę świąteczną na Wielkanoc równą 4 dni, dwutygodniową przerwę zimową oraz 6 dni roboczych wolnych od pracy z powodu świąt państwowych.

Jeden z rozważanych aspektów dotyczących napływu uczniów do szkoły związany był ze sposobem ich generowania w modelu, czy powinni oni pojawiać się w modelu indywidualnie, czy od razu jako cała klasa. Odpowiedzieć na to pytanie umożliwiło zbudowanie modelu w oparciu o dwa sposoby generowania uczniów. Następnie przeanalizowano, który sposób będzie adekwatniejszy w modelowanym procesie.

Modelowanie napływu uczniów jako jednostek wiąże się z późniejszą potrzebą pogrupowania ich w klasy. Uczniowie uczęszczają do klasy, z którą spędzają najwięcej czasu i w ramach której są kierowani na różne świadczenia profilaktyczne, które mają miejsce w szkole. Część świadczeń może być zapewniana grupowo a część indywidualnie. Modelowanie napływu uczniów jako klasy wiąże się z koniecznością wyodrębnienia poszczególnych uczniów w celu zapewniania świadczeń indywidualnych i aktualizacji wskaźników przypisanych do danego ucznia. Analiza dwóch opcji uwydatniła zalety i wady każdej z nich. Zdecydowano się na modelowanie napływu uczniów jako jednostek. Główną przesłanką do wyboru tej opcji był fakt, że uczniowie co prawda są gromadzeni w ramach jednej

klasy, ale każdy z nich dalej pozostaje indywidualną jednostką i to te indywidualne jednostki i zmiany zdrowia ich jamy ustnej są przedmiotem zainteresowania w prowadzonych badaniach.

### 3.5. Wymiar: Cechy uczniów

W modelu przyjęto, że każdy uczeń jest obecny w szkole od rozpoczęcia do zakończenia edukacji oraz zawsze jest obecny podczas zapewnianych świadczeń profilaktycznych. Założono, że migracje pomiędzy klasami i szkołami oraz absencje w szkole nie będą rozważane. Kluczowe atrybuty ucznia wraz z krótką charakterystyką przedstawiono w Tabeli 9.

Tabela 9: Kluczowe atrybuty przypisane każdemu uczniowi w modelu symulacyjnym.

Nazwa atrybut	Opis
Klasa	Każdy uczeń ma przypisany symbol jednej z pięciu klas w danym roczniku.
Rok edukacji	Każdy uczeń ma przypisany aktualny rok jego edukacji w szkole podstawowej.
Zęby mleczne	Każdy uczeń ma przypisaną aktualną liczbę zębów mlecznych, które wypadają wraz z upływem czasu.
Zęby stałe	Każdy uczeń ma przypisaną aktualną liczbę zębów stałych, która zmienia się wraz z wyrżnięciem nowych zębów stałych w jamie ustnej ucznia.
Zęby zalakowane	Liczba zębów zalakowanych u ucznia. Uczniowie mogą mieć zalakowane maksymalnie cztery lub osiem zębów trzonowych stałych <sup>61</sup> .
Wskaźnik puwz	Informacja o liczbie zębów mlecznych z próchnicą, ubytkiem i wypełnieniem. Wskaźnik puwz może zwiększać się wraz z pojawieniem się nowych zmian próchnicznych oraz zmniejszać się wraz z wypadaniem zębów mlecznych.
Wskaźnik PUWZ	Informacja o liczbie zębów stałych z próchnicą, ubytkiem i wypełnieniem. Wskaźnik PUWZ może zwiększać się wraz z pojawieniem się nowych zmian próchnicznych.

Podczas etapu nadawania cech charakterystycznych uczniom, jedną z kluczowych decyzji było podejście do ujęcia wieku i płci uczniów. W danej klasie mogą występować różnice w wieku wynikające z różnych dat urodzenia. Ponadto zdarzają się sytuacje, że uczniowie rozpoczynają naukę w młodszym wieku, bądź z różnych względów są starsi niż większość dzieci w danym roczniku. Można wskazać wiek, w którym większość dzieci rozpoczyna edukację w pierwszej klasie szkoły podstawowej i jest to 7 lat. Z uwagi na charakter badań i chęć zachowania uniwersalności modelu założono, że wszyscy uczniowie w pierwszym roku edukacji, tj. w pierwszej klasie mają siedem lat i każdego kolejnego roku edukacji są o rok starsi, aż do osiągnięcia czternastu lat w ostatniej klasie. Zatem nie uwzględniono różnic, które mogą wynikać z różnych dat urodzenia.

<sup>61</sup> Uczniowie mają lakowane cztery zęby wówczas gdy świadczenie profilaktyczne obejmuje szóstki, natomiast osiem zębów mają lakowanych wówczas gdy świadczenie obejmuje lakowanie zarówno szóstek jak i siódemek.

Oprócz, wieku, kolejnym kluczowym atrybutem może być płeć. Aby zdecydować, czy należy uwzględnić płeć, porównano wartości wskaźnika puwz zarówno dla płci żeńskiej jak i męskiej w województwie dolnośląskim, które zostało wybrane jako przykładowy region prowadzonych badań. Średnia wartość wskaźnika puwz dla uczniów w wieku sześciu lat w badanym regionie wynosiła 2,89 i 4,32 odpowiednio dla kobiet i mężczyzn. W wieku siedmiu lat średnie wartości wskaźnika wynosiły 5,43 i 5,41 odpowiednio dla kobiet i mężczyzn (Olczak-Kowalczyk i inni 2021a). Chociaż w wieku sześciu lat różnica między płciami w wartościach wskaźników była zauważalna, w wieku siedmiu lat różnica ta już zniknęła. Zatem, z uwagi na charakter prowadzonych badań i cel, dla którego budowany jest model, uznano, że uczniowie nie będą rozróżniani ze względu na płeć.

W grupie kluczowych atrybutów przypisanych uczniom, oprócz wieku, można wskazać jeszcze symbol klasy, aktualny rok edukacji, liczbę zębów mlecznych, stałych oraz wskaźniki związane ze stanem zdrowia jamy ustnej, czyli puwz i PUWZ oraz liczbę zębów zalakowanych. Procesy związane ze zmianą stanu zdrowia jamy ustnej są procesami ciągłymi, jednak w modelu dyskretnym wartości odpowiednich wskaźników, za wyjątkiem liczby zębów zalakowanych, są aktualizowane raz w roku na koniec roku szkolnego. Wskaźnik informujący o liczbie zalakowanych zębów jest aktualizowany bezpośrednio po wizycie u lekarza dentysty, na której to miało miejsce lakowanie zębów. Każdemu uczniowi przypisuje się początkowe wartości liczby zębów mlecznych i stałych, liczby zębów zalakowanych oraz wskaźników puwz i PUWZ w wieku siedmiu lat. W momencie braku zapewniania PPPZ uczniom, przyjęto, że wartości tych wskaźników są aktualizowane zgodnie z danymi rzeczywistymi.

### **3.6. Wymiar: Mierniki wyjściowe symulacji**

Wskaźniki puwz i PUWZ są miarą medyczną i są powszechnie wykorzystywane w medycynie. Z punktu widzenia planowania programów profilaktycznych można rozważyć ich ogólniejsze ujęcie np. poprzez określenie klas zaawansowania choroby. W związku z tym zostało zaproponowane, aby na potrzeby niniejszych badań posługiwać się ogólniejszym ujęciem wskaźników puwz i PUWZ, czyli stanem próchnicy zębów (SPZ), który w zależności od sumy puwz i PUWZ może być zdefiniowany jako: dobry, umiarkowany lub zły (Tabela 10). W momencie, w którym uczniowie nie mają już zębów mlecznych, przyjmuje się, że udział puwz w sumie wyznaczającej klasę SPZ jest zerowy.

Tabela 10: Stan próchnicy zębów (SPZ) zależny od sumy wartości wskaźników informujących o liczbie zębów mlecznych z próchnicą, usuniętych oraz wypełnionych (puwz) oraz stałych (PUWZ).

SPZ	puwz + PUWZ	Opis
dobry	0	Uczeń nie ma zębów z próchnicą
umiarkowany	od 1 do 3	Uczeń ma jeden, dwa lub trzy zęby z próchnicą
zły	4 i więcej	Uczeń ma cztery lub więcej zębów z próchnicą

### 3.7. Wymiar: Przebieg próchnicy zębów

W niniejszych badaniach uwzględniono, jak czas i skuteczność realizowanego PPPZ wpływają na rozwój próchnicy zębów u uczniów. Pozostałe opisane czynniki zostaną uwzględnione na kolejnych etapach badań. Skuteczność świadczeń została założona na podstawie doniesień literaturowych. Skuteczność fluoryzacji i grupowych pogadank edukacyjnych jest generowana corocznie z rozkładów o tych samych parametrach (Tabela 11). Natomiast lakowanie jest skuteczne u większości uczniów i blokuje pojawienie się próchnicy w zalakowanych zębach, jednak mogą wystąpić przypadki (10% - 44% uczniów), w których próchnica rozwija się w zębach pomimo lakowania.

Tabela 11: Parametry rozkładów losowych użytych do wygenerowania skuteczności fluoryzacji nadzorowanej grupowo i rozmów edukacyjnych dla zębów mlecznych i stałych na koniec każdego roku szkolnego, indywidualnie dla każdego ucznia.

Zęby	Parametry rozkładu trójkątnego
mleczne	0,2 - 0,3 (najczęściej występująca wartość: 0,25)
stałe	0,28 - 0,38 (najczęściej występująca wartość: 0,35)

### 3.8. Wymiar: Parametry symulacji

W niniejszych badaniach, dla każdego prowadzonego eksperymentu przyjęto 10 powtórzeń. Liczba powtórzeń została określona przy użyciu metody przedziału ufności (Robinson 2004). W Tabeli 12 przedstawiono wyniki dla średnich z 10 powtórzeń dla wszystkich analizowanych parametrów. Pozostałe wyniki zamieszczono w załącznikach do niniejszej rozprawy (Załącznik 2). Każde powtórzenie trwa 20 lat, które uwzględniają osiem lat okresu rozgrzewania modelu. Po tym okresie ośmiu lat, rozpoczyna się zbieranie statystyk dla pełnego cyklu kształcenia pięciu kohort uczniów rozpoczynających naukę w kolejnych latach.

Tabela 12: Wyniki analizy przedziałów ufności (alfa 0.05) przeprowadzone dla średnich z 10 powtórzeń uzyskanych dla parametrów: zęby mleczne, puwz, zęby stałe i PUWZ dla grup wiekowych siedmio-, dziesięcio-, dwunasto- i piętnastolatków.

Parametr	7 lat		10 lat		12 lat		15 lat	
	średnia	ufność	średnia	ufność	średnia	ufność	średnia	ufność
zęby mleczne	14,85	0,03	3,87	0,04	-	-	-	-
puwz	4,09	0,07	1,66	0,03	-	-	-	-
zęby stałe	8,88	0,04	19,65	0,07	25,59	0,04	27,84	0,01
PUWZ	0,61	0,02	1,25	0,03	3,06	0,08	4,61	0,08

## 4. Charakterystyka modelu symulacyjnego

### 4.1. Schemat modelu logicznego

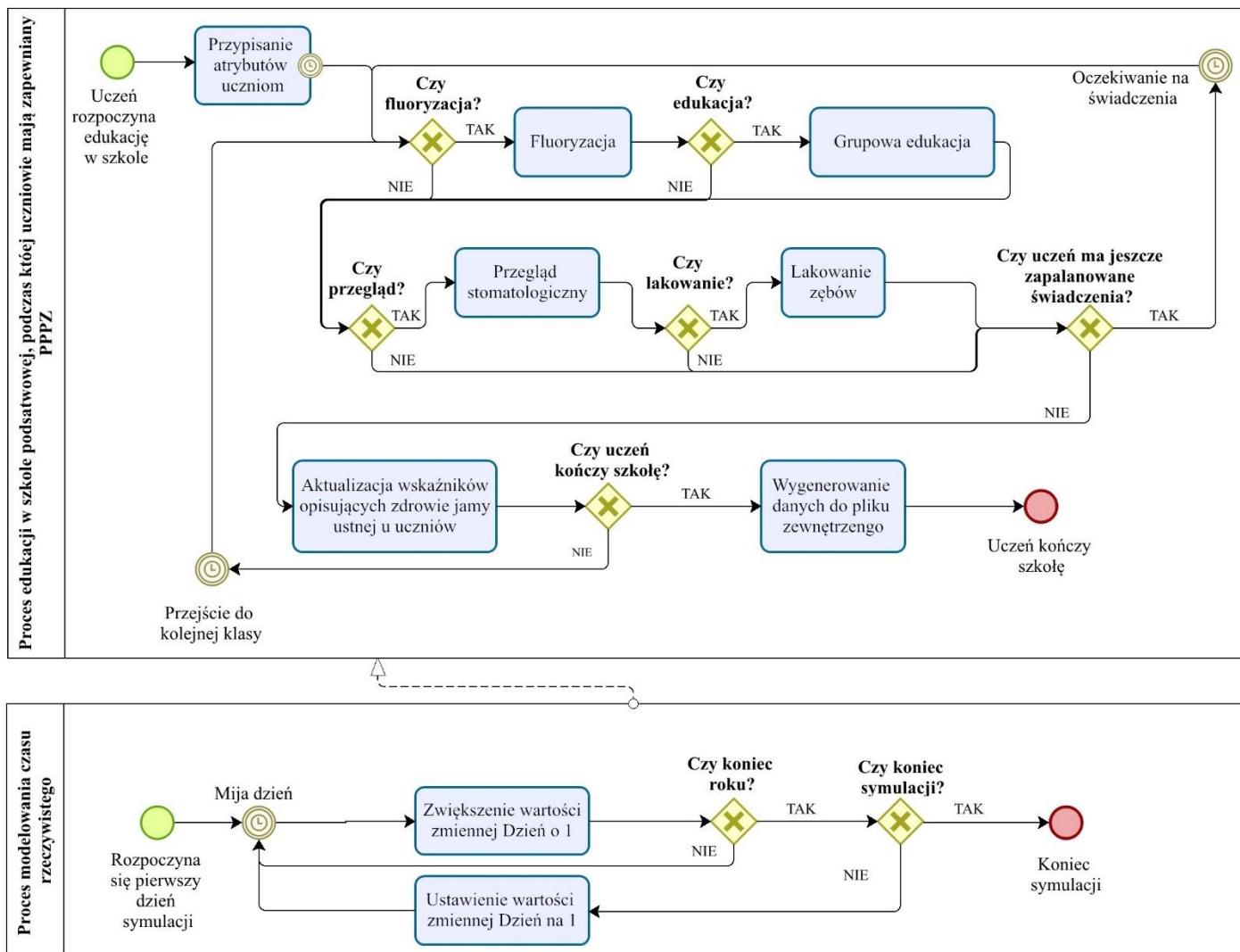
Za pomocą metody DES zamodelowano proces postępowania choroby próchnicy zębów u uczniów podczas ich edukacji w szkole podstawowej. Wstępną wersję modelu przedstawiono w Hajłasz i Mielczarek (2022c). Model symulacyjny zbudowano w programie typu VIS, Arena wersja 16.1. Model został zbudowany w oparciu o przedstawione założenia i udokumentowany zgodnie z wytycznymi listy kontrolnej STRESS<sup>62</sup> odnoszącymi się do metody DES (Monks i inni 2019). Pełna dokumentacja STRESS-DES znajduje się w załącznikach do niniejszej rozprawy (*Załącznik 3*).

Na Rysunku 9 przedstawiono najistotniejsze elementy modelu logicznego, odnoszące się do zapewnianego PPPZ uczniom podczas ich pobytu w szkole podstawowej. Zaprezentowano ogólny sposób odtworzenia przebiegu procesu, a następnie szczegółowo opisano logikę modelu<sup>63</sup>.

Model logiczny opisano z wyszczególnieniem następujących elementów: (1) Ustawienie parametrów symulacji, (2) Modelowanie czasu rzeczywistego, (3) Przypisanie atrybutów, (4) Zapewnienie PPPZ oraz (5) Aktualizacja wskaźników opisujących zdrowie jamy ustnej u uczniów.

<sup>62</sup> Ang. strengthening the reporting of empirical simulation studies.

<sup>63</sup> Plik z modelem zbudowanym w Arenie oraz plik z danymi wejściowymi do modelu udostępne są w otwartym repozytorium danych (Hajłasz 2024b).



Rysunek 9: Uproszczony schemat modelu logicznego opisującego zapewnianie PPPZ uczniom w szkole podstawowej podczas ich procesu edukacji.

## 4.2. Ustawienie parametrów symulacji

Całkowity czas trwania jednego powtórzenia to 7300 dni, czyli 20 lat. W tym 2920 dni, czyli 8 lat to okres rozgrzewania modelu. Dopiero po upływie tych ośmiu lat gromadzone są statystyki dla pięciu kohort uczniów od ich rozpoczęcia do zakończenia szkoły. Sumarycznie obserwacji poddano grupę pięciuset uczniów, którzy podczas swojej edukacji w szkole podstawowej mieli zapewniany ten sam PPPZ.

Uruchomiono symulację dla dziesięciu powtórzeń. W celu ustalenia liczby powtórzeń, przeprowadzono analizę przedziałów ufności dla czterech kluczowych wskaźników: zębów mlecznych, zębów stałych, puwz i PUWZ dla grup wiekowych od 7 do 15 lat (*patrz część III, punkt 3.8*).

## 4.3. Modelowanie czasu rzeczywistego

W modelu umieszczono specjalną część odpowiedzialną za kontrolowanie bieżącego dnia roku kalendarzowego. Jednorazowo, po uruchomieniu symulacji, zostaje wygenerowany jeden obiekt, który reprezentuje dzień. Przechodząc przez kolejne bloki wartość zmiennej *dzień* zwiększa się o 1, aż osiągnie 365, wówczas jest ona zerowana i rozpoczyna się kolejny rok. Zwiększa się również wartość zmiennej sumującej liczbę dni od początku symulacji. Jeżeli zmienna ta osiągnie wartość równą 7300, wówczas obiekt opuszcza system, a symulacja dobiega końca.

Kontrolowanie bieżącego dnia symulacji spełnia w modelu kilka funkcji. Pierwsza dotyczy kalendarza roku szkolnego. Na podstawie bieżącej wartości zmiennej *dzień* odczytywana jest wartość z tablicy informującej o tym czy dany dzień jest roboczy czy wolny. Po drugie służy do kontrolowania czy dany dzień jest dniem, w którym powinna odbyć się fluoryzacja. Po trzecie umożliwia weryfikowanie odstępu czasu pomiędzy kolejnymi przeglądami u lekarza stomatologa.

## 4.4. Przypisanie atrybutów

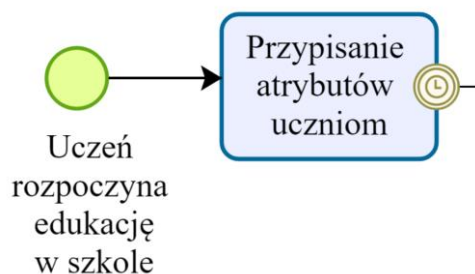
Obiekty, którymi są uczniowie napływają do szkoły pojedynczo w ramach pięciu strumieni, gdzie każdy strumień reprezentuje osobną klasę, do której uczeń uczęszcza podczas całej swojej edukacji w szkole podstawowej. Sumarycznie co roku jest generowanych stu nowych uczniów. Uczniowie przemieszczają się w modelu jako cała klasa. Jeżeli dalej w modelu istnieje potrzeba



rozpatrywania uczniów jako indywidualnych jednostek, to są oni rozdzielani, a później ponownie łączeni w klasy.

Następnie uczniowie mają przypisywane atrybuty (Rysunek 10), które odnoszą się do ich cech jako uczniów oraz opisują stan zdrowia ich jamy ustnej. Po przypisaniu wartości atrybutów, uczniowie są grupowani w ramach swoich klas i przemieszczają się dalej jako pięć obiektów reprezentujących pięć równoległych klas w danym roczniku.

Każdy uczeń ma przypisywane początkowe wartości kluczowych, do oceny problemu próchnicy zębów, wskaźników. Wartości wskaźników zębów mlecznych, zębów stałych, puwz i PUWZ są generowane z rozkładów trójkątnych na podstawie danych rzeczywistych. Parametry rozkładów losowych, tj. wartości minimalne, maksymalne i najczęściej występujące są zaczytywane do modelu z pliku zewnętrznego. Każdy uczeń ma przypisaną wartość wskaźników zębów mlecznych oraz zębów stałych. Natomiast wartość wskaźnika dotyczącego zębów zalakowanych - na podstawie prawdopodobieństwa informującego o liczbie dzieci z zalakowanym chociaż jednym pierwszym zębem trzonowym. Również wartości dla wskaźników puwz i PUWZ uczniowie mają przypisywane na podstawie prawdopodobieństwa informującego o liczbie dzieci z przynajmniej jednym zębem mlecznym/stałym z próchnicą.



Rysunek 10: Fragment uproszczonego modelu logicznego opisujący przypisanie atrybutów uczniom.

Do generowania wartości wskaźników wykorzystano cztery ciągi liczb losowych, po jednym w odniesieniu do wszystkich zmian związanych z liczbą zębów mlecznych, liczbą zębów stałych, puwz i PUWZ.

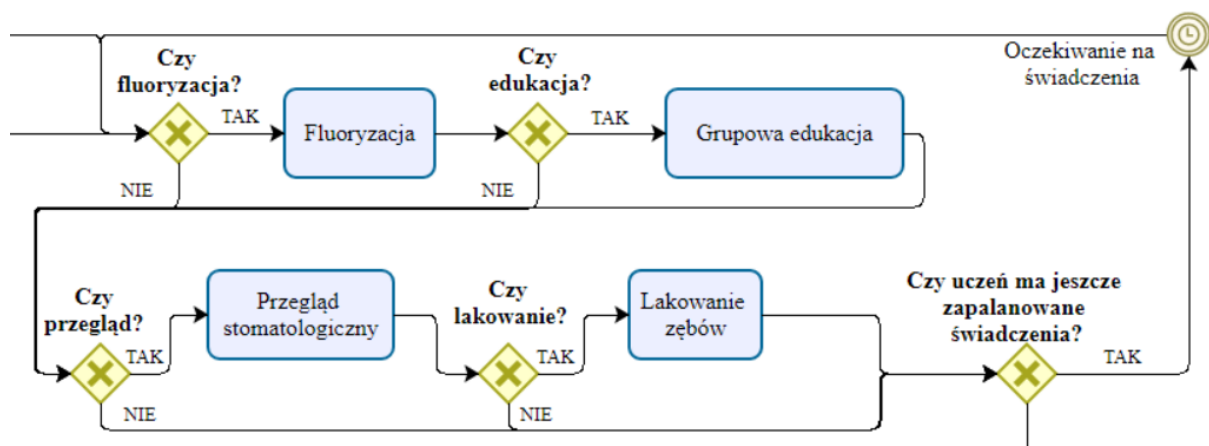
Utworzono plik *Data.xlsx* z danymi wejściowymi do modelu, które są automatycznie zaczytywane przez program. W pliku zostały zapisane dane epidemiologiczne dla Dolnego Śląska opracowane na podstawie Olczak-Kowalczyk i inni (2021a). Plik powstał w celu zwiększenia uniwersalności modelu. Plik z danymi został umieszczony w tym samym repozytorium co plik z modelem (Hajłasz 2024b). Plik składa się z dwóch zakładek: *Wprowadź*

*dane* oraz *Dane wejściowe*. W zakładce *Wprowadź dane* użytkownik wprowadza dane z podziałem na wiek, takie, jak: liczba badanych dzieci, dzieci z co najmniej jednym uszczelnionym zębem stałym, procent dzieci z puwz/PUWZ > 0, średnie i odchylenia od średnich dla zębów mlecznych, zębów stałych, puwz i PUWZ. Następnie w zakładce *Dane wejściowe*, dane przeliczają się tak, żeby powstały wartości parametrów dla rozkładów trójkątnych oraz procentowy przyrost dzieci z puwz/PUWZ > 0.

Od początku każdego roku szkolnego musi minąć jakiś czas zanim uczniowie będą mieli zapewniane świadczenia profilaktyczne. Po rozpoczęciu każdego roku szkolnego, dla każdej klasy osobno, generowana jest losowa liczba dni za pomocą rozkładu trójkątnego w zakresie od dziesięciu do trzydziestu dni, gdzie najczęściej występującą wartością jest piętnaście dni.

#### 4.5. Zapewnienie PPPZ

Skierowanie uczniów na świadczenia profilaktyczne wymaga spełnienia szeregu warunków. Uproszczony schemat modelu logicznego opisującego zapewnianie PPPZ uczniom przedstawiono na Rysunku 11.



Rysunek 11: Fragment uproszczonego modelu logicznego opisujący zapewnianie PPPZ uczniom.

Niezależnie od rodzaju świadczenia, żeby uczniowie zostali na nie skierowani zawsze muszą być spełnione następujące warunki: musi trwać rok szkolny, musi być dzień roboczy oraz muszą być zaplanowane świadczenia, które nie zostały jeszcze zrealizowane w danym roku szkolnym. Jeżeli te warunki są spełnione to, dopiero następuje sprawdzenie pozostałych warunków uzależnionych od konkretnych świadczeń profilaktycznych. Liczba świadczeń jest z góry zaplanowana. Fluoryzacja i grupowa edukacja są zapewniane całej klasie jednocześnie, natomiast przegląd i lakowanie zębów – indywidualnie każdemu uczniowi. Jednak warunki

dotyczące kierowania na wszystkie świadczenia są sprawdzane dla całej klasy, a jeżeli istnieje taka potrzeba klasa jest rozdzielana na poszczególnych uczniów. Uczniowie mają zapewnianą fluoryzację, która odbywa się według z góry określonego harmonogramu, sześć razy w roku w odstępach około 6 tygodni. Harmonogram fluoryzacji został opracowany na podstawie zaleceń, żeby odbywała się ona sześć razy w roku z odstępem sześciotygodniowym (Ostręga i inni 2020). W zależności od numeru fluoryzacji oraz roku edukacji odczytywana jest z harmonogramu wartość dnia, w którym dana klasa powinna mieć świadczenie. Warunek na fluoryzację jest najsztywniejszy więc zawsze jest on sprawdzany w pierwszej kolejności. Uczniowie są kierowani na fluoryzację kiedy bieżący dzień z kalendarza równy jest dniu, w którym klasa ma mieć fluoryzację ( $\pm 1$  dzień). Po niektórych fluoryzacjach uczniowie mają od razu zapewnianą grupową pogadankę. W każdym roku uczniowie mają zapewnianych sześć fluoryzacji i dwie grupowe pogadanki. W związku z tym po każdej fluoryzacji jest 50% szansy, że klasa zostanie skierowana na grupową pogadankę. Z zachowaniem, że łącznie mogą odbyć się dwie. Jeżeli uczeń nie miał w ogóle w roku grupowych pogadanek, to po ostatnich dwóch fluoryzacjach jest 100% szansy, że taka pogadanka się odbędzie.

Jeżeli w momencie sprawdzania warunku dotyczącego kierowania na fluoryzację, nie wypada akurat dzień tego świadczenia, wówczas dla uczniów są sprawdzane warunki dotyczące kierowania na przegląd stomatologiczny. Tutaj są rozpatrywane dwie sytuacje: pierwsza kiedy uczniowie po raz pierwszy w roku udają się na przegląd i druga, kiedy robią to kolejny raz. Uczniowie mają zapewniane dwa przeglądy stomatologiczne w ciągu roku. Na pierwszy przegląd uczniowie są kierowani jeżeli spełnione są dwa warunki: lekarz jest wolny (nie wykonuje przeglądu stomatologicznego i lakowania zębów u innych dzieci) oraz nie został jeszcze wykonany żaden przegląd stomatologiczny u uczniów w danej klasie. Na drugi przegląd stomatologiczny uczniowie są kierowani jeżeli lekarz jest wolny oraz jeżeli minęła minimalna liczba dni od poprzedniego przeglądu. Od poprzedniego przeglądu musi minąć od trzech do sześciu miesięcy, najczęściej trzy miesiące. Wartość ta jest generowana w modelu z rozkładu trójkątnego. Na przeglądzie stomatologicznym lekarz weryfikuje czy od ostatniej wizyty ucznia wyrosły mu nowe zęby trzonowe (szóstki i/lub siódemki). Jeżeli tak i nie są one jeszcze zalakowane, to bezpośrednio po przeglądzie lekarz lakuje te zęby u danego ucznia. Po świadczeniach zawsze jest weryfikowany warunek czy zostały wykonane wszystkie zaplanowane świadczenia na rok. Jeżeli tak, to uczniowie przechodzą do części dotyczącej aktualizacji wskaźników i oczekują na zakończenie roku szkolnego. Pomiędzy każdą kolejną weryfikacją warunków, musi minąć jeden dzień.

Przeгляд oraz lakowanie zębów jest zapewniane przez personel lekarski – lekarza dentystę. Fluoryzacja oraz grupowa edukacja są natomiast zapewniane przez personel pielęgniarski – pielęgniarkę szkolną. Lekarze dentyści oraz pielęgniarki szkolne pracują tylko podczas dni roboczych – lekarz sześć godzin natomiast pielęgniarka osiem. Za pomocą zmiennej tablicowej utworzono kalendarz, gdzie każdy kolejny wiersz odpowiada kolejnemu dniu w roku. W wierszach mogą być „0” dla dni wolnych od pracy oraz „1” dla dni pracujących. Lekarz i pielęgniarka są dostępni tylko podczas dni roboczych, czyli wówczas gdy zmienna *kalendarz* przyjmuje wartość „1” dla danego dnia w roku. Jeżeli dany uczeń ma zapewniany przeгляд w momencie upływu szóstej godziny pracy lekarza, to lekarz dokończa wizytę tego ucznia. Jeżeli upłynął czas pracy lekarza, a nie wykonał jeszcze przeglądu u wszystkich uczniów w danej klasie, to pozostali uczniowie czekają na przeгляд do następnego dnia roboczego. Identyczna sytuacja ma miejsce w przypadku świadczeń zapewnianych przez pielęgniarkę, jednak tam uczniowie nie rozdzielają się, więc jeżeli ma miejsce sytuacja, że upływa ósma godzina pracy pielęgniarki, a jest ona w trakcie grupowej pogadanki lub fluoryzacji, to doprowadza je do końca. Jeżeli natomiast jest w trakcie fluoryzacji, a po niej wypada dla danej klasy grupowa pogadanka to uczniowie mają dokończoną fluoryzację, a na grupową pogadankę udają się następnego dnia.

Czas trwania fluoryzacji generowany jest z rozkładu jednostajnego (Tabela 13). Czas grupowych pogadek edukacyjnych w zakresie zdrowia i higieny jamy ustnej zależy natomiast od roku edukacji ucznia oraz numeru pogadanki w danym roku. Każdorazowo jest on generowany z rozkładów jednostajnych o różnych parametrach minimalnych i maksymalnych. Zarówno grupowa fluoryzacja nadzorowana jak i grupowa edukacja w zakresie zdrowia i higieny jamy ustnej są świadczone całej jednej klasie jednocześnie.

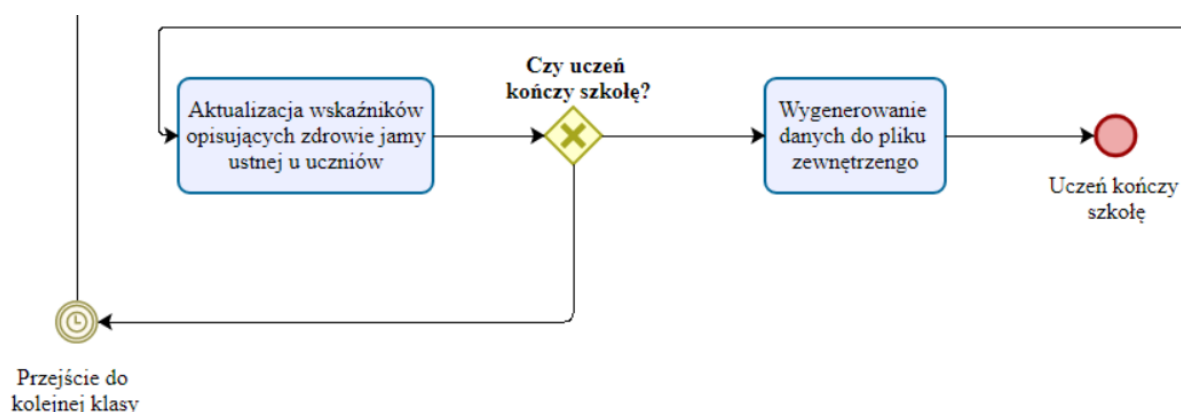
Tabela 13: Charakterystyka świadczeń profilaktycznych uwzględnionych w ramach PPPZ w modelu symulacyjnym.

Świadczenie profilaktyczna	Personel	Czas trwania [minuty]	Źródło	Rozkład zaimplementowany w modelu
Przeгляд	lekarski	5-15 (na jednego ucznia)	Ankieta	Trójkątny 5-15 (wartość najczęściej występująca: 15)
Lakowanie	lekarski	5-15 (na jeden ząb)	Ankieta	Trójkątny 5-15 (wartość najczęściej występująca: 10)
Fluoryzacja	pielęgniarski	10-20 (na klasę)	Wiedza ekspercka	Jednostajny 10-20
Grupowa edukacja	pielęgniarski	45 lub 90 (na klasę)	Olczak-Kowalczyk i inni (2021b)	Jednostajny 40-50 (lub wydłużony do 85-95 dla jednej sesji w siódmej i ósmej klasie)

Czas przeglądu stomatologicznego generowany jest z rozkładu trójkątnego dla każdego ucznia. Jeżeli chodzi o lakowanie pierwszych zębów trzonowych, to przyjęto, że czas lakowania jednego zęba generowany jest z rozkładu trójkątnego. W zależności od liczby zębów do lakowania czas ten jest wydłużony dwu, trzy, albo czterokrotnie.

#### 4.6. Aktualizacja wskaźników opisujących zdrowie jamy ustnej u uczniów

Wskaźnik informujący o liczbie zębów zalakowanych jest aktualizowany jeżeli w modelu uczeń miał lakowane zęby, czyli zaraz po wizycie u lekarza dentysty. Natomiast pozostałe wskaźniki opisujące zdrowie jamy ustnej (liczba zębów mlecznych, zębów stałych, puwz i PUWZ) są aktualizowane po odbyciu wszystkich świadczeń, na koniec każdego roku szkolnego. Wartości wskaźników są więc aktualizowane indywidualnie dla każdego ucznia osiem razy. Na tym etapie są również aktualizowane ogóle ustawienia, takie jak liczba odbytych w danym roku świadczeń profilaktycznych, wskaźniki opisujące klasę oraz rok edukacji uczniów (Rysunek 12).



Rysunek 12: Fragment uproszczonego modelu logicznego opisujący aktualizację wskaźników opisujących zdrowie jamy ustnej u uczniów.

Aktualizacja wskaźników dotyczących zdrowia jamy ustnej odbywa się w oparciu o dane rzeczywiste. Skuteczność świadczeń profilaktycznych odnosi się do zmniejszenia potencjalnej próchnicy zębów, która może wystąpić, jeśli te świadczenia nie zostaną zastosowane. Na koniec każdego roku szkolnego dla każdego ucznia generowany jest, z rozkładów losowych, parametr skuteczności fluoryzacji oraz grupowej edukacji. Wartość ta wskazuje o ile zmniejszy się przyrost zębów z próchnicą na skutek zapewnionej profilaktyki. Rozważając hipotetyczny przypadek, jeżeli parametr skuteczność dla danego ucznia, w danym roku, wynosi 0,25 oznacza to, że u danego ucznia pojawi się 25% mniej zębów z próchnicą, niż pojawiłoby się gdyby nie

profilaktyka, np. jeżeli u ucznia próchnica miałyby pojawić się na czterech zębach, to dzięki grupowej edukacji oraz fluoryzacji, przyrosną trzy, zamiast czterech zębów z próchnicą. Skuteczność grupowej edukacji oraz fluoryzacji jest osobno generowana dla zębów mlecznych i zębów stałych, jednak działa na podstawie tych samych założeń.

Po wygenerowaniu skuteczności, uczniowie którzy mieli już w zębach próchnicę przechodzą do sekcji aktualizacji wskaźników zębów mlecznych, stałych, puwz i PUWZ. Natomiast u pozostałych uczniów weryfikowane jest czy pojawiają im się w danym roku nowe zęby z próchnicą. Jeżeli tak, to wygenerowana wcześniej skuteczność ogranicza przyrost nowych zębów z próchnicą tak, jak w przypadku aktualizacji zębów z próchnicą u uczniów, którzy mieli ją od początku edukacji.

Kolejno u wszystkich uczniów następuje weryfikacja polegająca na sprawdzeniu warunków: czy mają zęby stałe zalakowane oraz czy w danym roku pojawiają się u nich zęby stałe z próchnicą, pomimo skuteczności grupowej edukacji oraz fluoryzacji. Skuteczność lakowania zębów u dzieci mierzy się poprzez określenie prawdopodobieństwa, że w zalakowanych zębach nie pojawi się próchnica. Czyli każdego roku generowana jest procentowa liczba dzieci, u których w zalakowanych zębach nie wystąpi próchnica. Tak, jak w przypadku skuteczności grupowej edukacji i fluoryzacji, skuteczność lakowania jest generowana co roku. Jeżeli u danego ucznia określono, że lakowanie jego zębów jest skuteczne, wówczas jeżeli przyrost PUWZ u niego byłby równy liczbie zalakowanych zębów, to na skutek lakowania, nie przyrosną mu żadne zęby z próchnicą. Jeżeli przyrost zębów z próchnicą byłby większy od liczby zalakowanych zębów, wówczas ten przyrost zostanie pomniejszony o zalakowane u ucznia w danym momencie zęby. Jeśli przyrost ten jest niższy od ilości zalakowanych zębów, to wzrost zębów z próchnicą jest proporcjonalnie mniejszy. Jednak na późniejszych etapach zęby, w których wykluczono pojawienie się próchnicy zmniejszają pulę zębów, w których to ryzyko wystąpienia próchnicy jest mniejsze. Przykładowo, jeśli uczeń ma zalakowane cztery zęby, ale przewidywany wzrost z zębów próchnicą obejmuje tylko dwa, to dzięki lakowaniu te dwa zęby nie zostaną dotknięte chorobą. Natomiast w kolejnym okresie oceny, te dwa zęby nie będą brane pod uwagę jako objęte ochroną profilaktyczną.

## **5. Weryfikacja i walidacja modelu symulacyjnego**

### **5.1. Istota weryfikacji i walidacji**

Aby sprawdzić czy zbudowany model we właściwy sposób oddaje rzeczywistość przeprowadzono weryfikację i walidację modelu. Weryfikacja modelu to *uzasadnienie, że model komputerowy reprezentuje model konceptualny w określonych granicach dokładności* (Schlesinger i inni 1979). Natomiast walidacja to *uzasadnienie, że model komputerowy w swojej dziedzinie domeny zastosowania posiada zadowalający zakres dokładności, zgodny z zamierzonym zastosowaniem modelu*. Zatem weryfikację i walidację można określić jako proces dowodzenia, że model w prawidłowy sposób odwzorowuje system rzeczywisty w zakresie zdefiniowanych celów. Tematyka weryfikacji i walidacji jest poruszana przez wielu autorów takich, jak: Law i Kelton (1991, s. 298-323), Naylor (1975, s. 210-224), Eddy i inni (2012), Caro i Möller (2014) oraz w licznych pracach Sargenta (2010; 2011; 2013; 2015a; 2015b; 2016; 2020).

Dopiero po pomyślnym przejściu testów, można wykorzystać zbudowany model do przeprowadzenia eksperymentów symulacyjnych. W niniejszych badaniach przeprowadzono weryfikację i walidację w oparciu o koncepcję trójstopniowej oceny zasadności Naylora (1975, s. 210-215). Opiera się ona na procedurze trzystopniowej, zawierającą metodologię stanowiska racjonalistycznego, empiryzmu oraz ekonomii pozytywistycznej. Pierwszy stopień polega na sformułowaniu hipotez opisujących system rzeczywisty oraz zachowywanie się tego systemu. Drugi stopień polega na przeprowadzeniu testów statystycznych, natomiast trzeci związany jest z dokonaniem predykcji na podstawie innych danych rzeczywistych.

### **5.2. Pierwszy stopień oceny zasadności modelu**

W ramach pierwszego stopnia oceny zasadności modelu poszukiwano zgodności pomiędzy zbudowanym modelem a systemem rzeczywistym opisującym postępowanie próchnicy zębów u uczniów w szkole podstawowej w miarę przechodzenia do następnej klasy oraz zapewnianego programu profilaktycznego.

Opracowano i przeprowadzono ankietę wśród lekarzy stomatologów (*patrz część III, punkt 3.2*). Ankieta pełniła trzy funkcje: umożliwiła lepsze poznanie działania systemu rzeczywistego, a co z tym związane stanowiła podstawę do opracowania przykładowych danych wejściowych oraz zawierała opinię lekarzy na tematy związane z profilaktyką próchnicy zębów u dzieci.

Ponadto sformułowano hipotezy opisujące zachowywanie się systemu. Można je podzielić na dwie grupy, z których jedna bardziej odnosi się do dzieci będących uczniami w szkole, a druga do próchnicy zębów u tych uczniów. Uczniowie rozpoczynają edukację w szkole podstawowej w wieku siedmiu lat i co roku są o rok starsi i przechodzą do kolejnej klasy. Kończą edukację podstawową po ośmiu latach, mając czternaście lat. Podczas edukacji uczniowie mają zapewniany PPPZ. Świadczenia zapewniane uczniom w ramach programu mogą ograniczać występowanie choroby próchnicy zębów, która wystąpiłaby gdyby nie te świadczenia. Próchnica postępuje u uczniów zgodnie z danymi rzeczywistymi. Postęp ten odzwierciedla sytuację, w której uczniowie nie mają zapewnianych żadnych świadczeń. Zęby mleczne wypadają, zarówno zdrowe jak i objęte próchnicą. W wieku dwunastu lat uczniowie już nie mają zębów mlecznych. Maksymalna liczba zębów stałych wynosi u uczniów 28. Wartość wskaźników puwz i PUWZ u uczniów nie może przekroczyć, odpowiednio liczby zębów mlecznych i liczby zębów stałych. Wszystkie założenia do budowy modelu zostały szczegółowo opisane w części III niniejszej pracy.

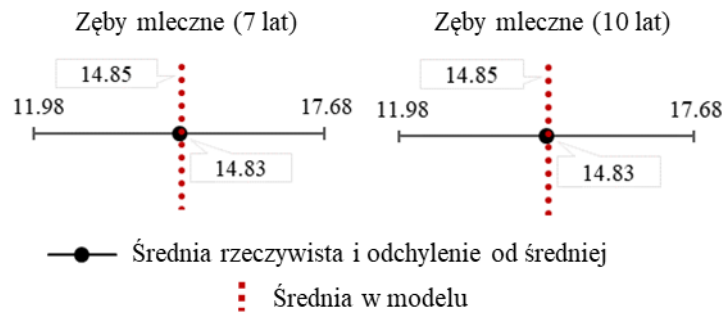
Proponowany model został zaakceptowany przez specjalistów lekarzy dentystów, którzy realizują obecnie lub realizowali w przeszłości PPPZ w szkole.

### **5.3. Drugi stopień oceny zasadności modelu**

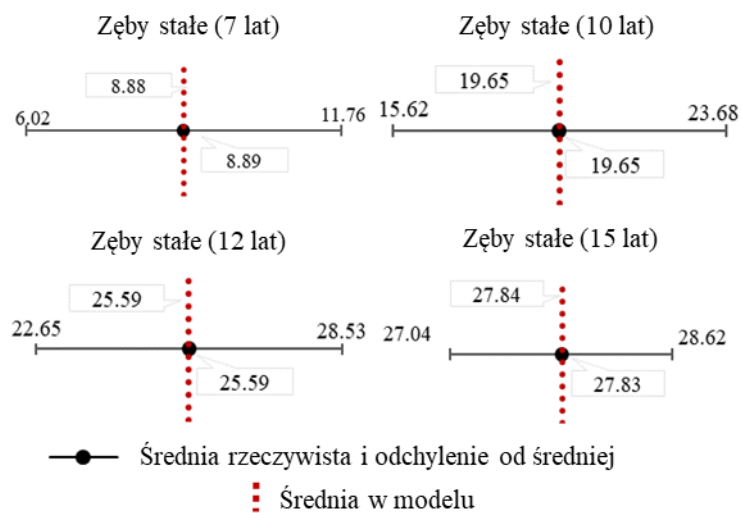
Drugi stopień oceny modelu wiąże się z weryfikacją modelu za pomocą dostępnych testów statystycznych. W pierwszej kolejności, w ramach walidacji, sprawdzono czy wyniki uzyskane w modelu są zbieżne z rzeczywistością. A następnie, po pozytywnym stwierdzeniu tej zgodności – przeprowadzono testy. Na Rysunkach 13-16 przedstawiono porównanie średnich i odchyłeń od średnich ze średnimi uzyskanymi w modelu, dla czterech podstawowych wskaźników: zębów mlecznych, zębów stałych, puwz i PUWZ w grupach wiekowych, dla których były dostępne dane rzeczywiste.

Na przedstawionych wykresach widoczne jest, że średnie wartości wygenerowane w modelu zawsze mieszczą się w przedziale średniej rzeczywistej  $\pm$  odchylenie od średniej rzeczywistej. To stanowi podstawę do sformułowania wniosku, że model w adekwatny sposób, uwzględniając dostępne dane, odzwierciedla rzeczywistość. Na Rysunku 17 porównano średnie odsetki uczniów z próchnicą w rzeczywistości i w modelu.

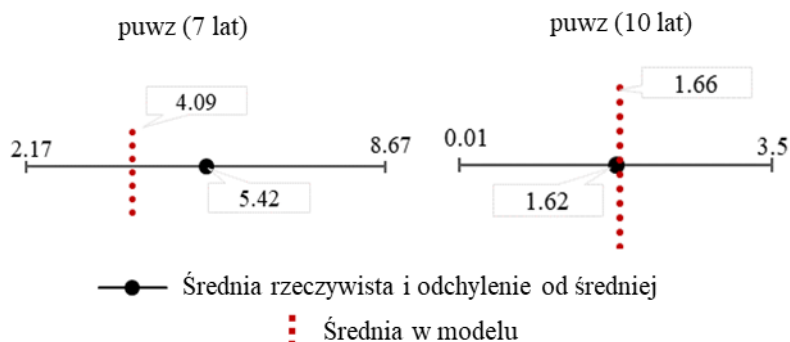




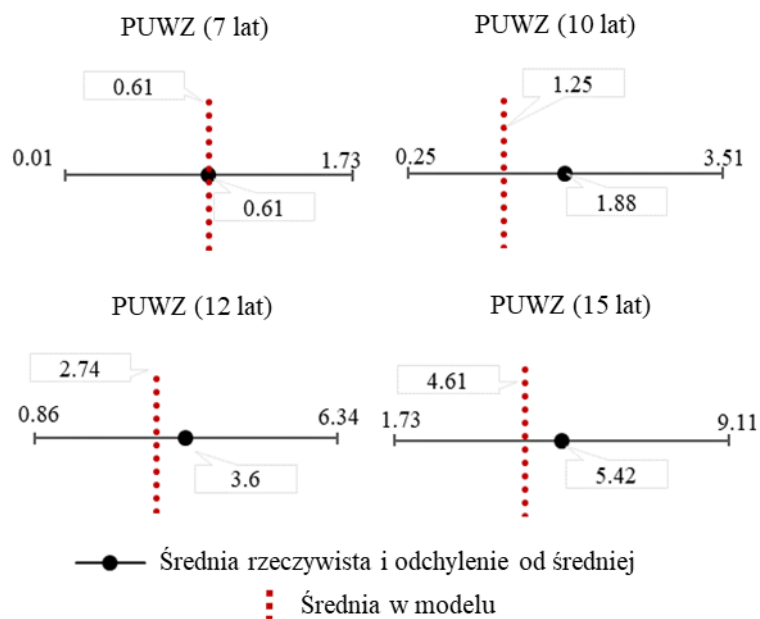
Rysunek 13: Walidacja średnich uzyskanych dla zębów mlecznych w modelu dla siedmio- i dziesięcioletków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa dolnośląskiego.



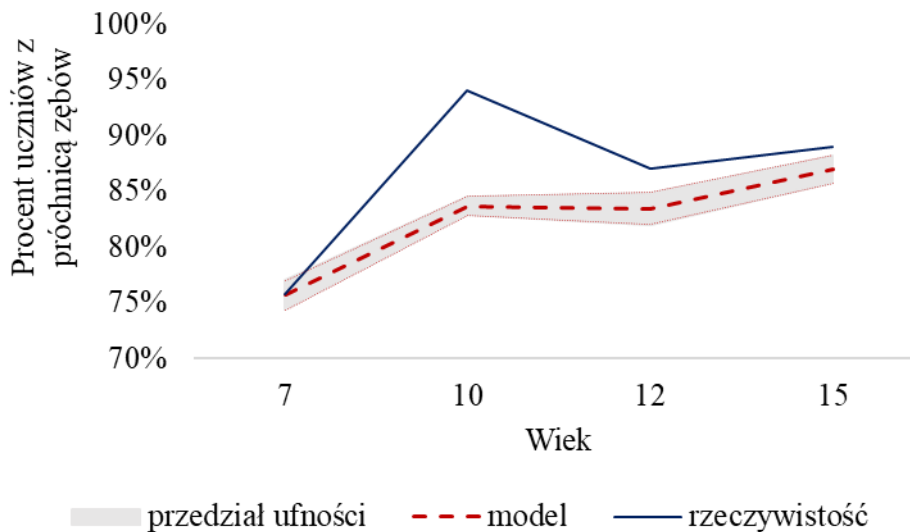
Rysunek 14: Walidacja średnich uzyskanych dla zębów stałych w modelu dla siedmio-, dziesięcio-, dwunasto- i piętnastolatków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa dolnośląskiego.



Rysunek 15: Walidacja średnich uzyskanych dla wskaźników puwz w modelu dla siedmio- i dziesięcioletków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa dolnośląskiego.



Rysunek 16: Walidacja średnich uzyskanych dla wskaźników PUIWZ w modelu dla siedmio-, dziesięcio-, dwunasto- i piętnastolatków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa dolnośląskiego.



Rysunek 17: Porównanie odsetka uczniów z próchnicą wśród dzieci w wieku 7, 10, 12 i 15 lat: średnia rzeczywista i średnia w modelu z 10 powtórzeń dla województwa dolnośląskiego.

Obserwuje się pewne rozbieżności w średnich odsetkach dzieci z próchnicą. Największa różnica występuje wśród dziesięciolatków - około 10%, przy dwunastolatkach maleje do około 4%, a w wieku piętnastu lat spada do 2%. Choć dane wygenerowane przez model nie

korespondują idealnie z rzeczywistością pod względem procentowej liczby dzieci z próchnicą, to został odzwierciedlony ogólny trend. Najważniejsze jest, że średni odsetek uczniów z próchnicą na zakończenie edukacji jest satysfakcjonujący. Jak już wcześniej wspomniano, zbiorcze dane rzeczywiste wymagały przyjęcia pewnych uogólnień i zaokrągleń. Biorąc pod uwagę posiadane dane, można stwierdzić, że model w dobry sposób odzwierciedla rzeczywistość.

Poprzez sprawdzenie modelu za pomocą testów można potwierdzić jakość proponowanych rozwiązań. Zaproponowano i przeprowadzono wiele testów, z których kluczowe przedstawiono w Tabeli 14, a następnie krótko opisano.

Tabela 14: Podsumowanie przeprowadzonych kluczowych testów weryfikacyjnych wraz ze statusem informującym o powodzeniu testu od razu (status I) po wprowadzeniu poprawek (status II).

Nazwa / Skrócony opis testu	Status I	Status II
Weryfikacja czy przepływ uczniów w modelu jest poprawny	Zaliczony	-
Weryfikacja czy odbywają się wszystkie świadczenia, które powinny się odbyć zgodnie z założeniami (fluoryzacja, przegląd i grupowa edukacja)	Niezaliczony	Zaliczony
Weryfikacja czy uczniowie są w poprawny sposób kierowani na lakowanie zębów	Zaliczony	-
Weryfikacja za pomocą animacji modelu	Zaliczony	-
Weryfikacja czy specjaliści pracują zgodnie z harmonogramem	Zaliczony	-
Weryfikacja czy świadczenia nie są zapewniane podczas dni wolnych od pracy	Zaliczony	-

Testy weryfikacyjne były prowadzone na różnych wersjach modelu, w których oprócz edukacji podstawowej uwzględniano również oddział przedszkolny, tzn. „zerówkę”. Jednak na jednym z etapów weryfikowania i walidowania modelu podjęto decyzję o uwzględnieniu samej edukacji podstawowej, tzn. skróceniu okresu obserwacji z dziewięciu do ośmiu lat. Decyzję warunkował m.in. fakt, że nie w każdej szkole podstawowej są zerówki, a część uczniów uczęszcza do zerówki jako kontynuacja edukacji przedszkolnej i dopiero później idzie do szkoły podstawowej. W związku z tym uczniowie, którzy uczęszczali w danej szkole do zerówki mogą nie kontynuować edukacji w tej szkole, a w ich miejsce mogą przyjść nowi uczniowie. Natomiast od pierwszej do ósmej klasy zmiany te są zdecydowanie rzadsze. Zatem, żeby zachować większą ogólność przyjęto, że modelowany okres edukacji obejmuje osiem lat szkoły podstawowej. W związku z tym, że okres modelowania edukacji skrócono do ośmiu lat, dopiero na późniejszym etapie weryfikacji, część testów została przeprowadzona dla okresu edukacji obejmującej dziewięć lat. Jednak skrócenie okresu edukacji nie wpływa na działanie

modelu i w zależności od indywidualnych celów i założeń badań symulacyjnych modelowany okres edukacji można przyjąć jako ośmio- lub dziewięć-letni.

### **Weryfikacja czy przepływ uczniów w modelu jest poprawny**

Na podstawie automatycznie wygenerowanego raportu z Areny, przeanalizowano czy wszyscy uczniowie, którzy powinni opuścić system, opuścili go. Test ten zakończył się powodzeniem. W ramach strumienia odpowiadającego każdej klasie (A, B, C, D i E), w każdym powtórzeniu napłynęło do szkoły 260 uczniów i również tyle opuściło system. Podczas okresu rozgrzewania modelu, który trwał dziewięć lat, do szkoły napłynęło 180 uczniów w ramach każdej klasy. Podczas zbierania statystyk Ci uczniowie opuszczali proces. W związku z tym, że obserwacje prowadzono przez trzynaście lat, sumarycznie szkołę powinno opuścić 260 uczniów w ramach każdej klasy, czyli łącznie 1300 uczniów.

### **Weryfikacja czy odbywają się wszystkie świadczenia, które powinny się odbyć zgodnie z założeniami (fluoryzacja, przegląd i grupowa edukacja)**

Liczba świadczeń profilaktycznych takich, jak przegląd, fluoryzacja i grupowa edukacja jest z góry określona. Natomiast liczba odwiedzin stomatologa w celu lakowania zębów zależy od liczby zębów stałych w danym momencie oraz liczby zębów zalakowanych, która jednak nie mogła być większa niż 4 lub 8 (w zależności od założeń testowanego programu profilaktycznego). Model testowano dla maksymalnie czterech zalakowanych zębów oraz dziewięcioletniego okresu edukacji w szkole podstawowej. Wówczas przeglądów stomatologicznych powinno odbyć się – 23400, fluoryzacji – 3510, natomiast grupowych pogadanek edukacyjnych – 1300. Jak można zauważyć w Tabeli 15 – liczba przeglądów była poprawna w każdym powtórzeniu natomiast liczba fluoryzacji i pogadanek edukacyjnych, różniła się w każdym powtórzeniu i zawsze była mniejsza niż docelowa wartość. W związku z tym postanowiono przeanalizować liczbę odbytych fluoryzacji na koniec każdego roku szkolnego podczas trwania jednego powtórzenia. Celem takiej obserwacji było znalezienie momentu, w którym pojawia się błąd. Obserwacjom poddano pierwsze powtórzenie. Zauważono, że od szóstego roku symulacji, aż do końca symulacji uczniowie mieli zapewnianych mniej fluoryzacji niż powinni.

Tabela 15: Analiza odbytych fluoryzacji podczas pierwszego powtórzenia.

Rok obserwacji	Liczba docelowa	Liczba w modelu	Różnica
1	270	270	0
2	540	540	0
3	810	810	0
4	1080	1080	0
5	1350	1350	0
6	1620	1614	-6
7	1890	1884	-6
8	2160	2142	-18
9	2430	2412	-18
10	2700	2682	-18
11	2970	2952	-18
12	3240	3210	-30
13	3510	3480	-30

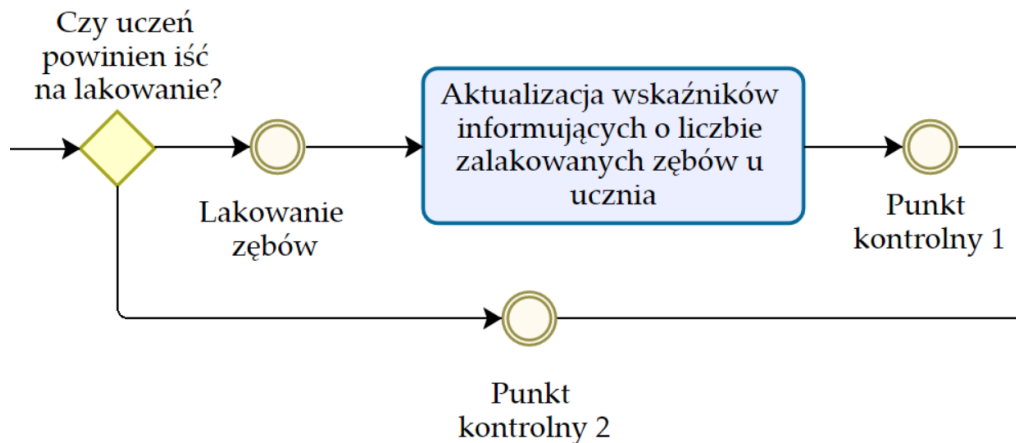
W modelu uczniowie są kierowani na różne świadczenia profilaktyczne według zadanych warunków. Najszywniejszy warunek to warunek, według którego uczniowie są kierowani na fluoryzację (zgodnie z harmonogramem). Najdłużej trwającym świadczeniem jest przegląd stomatologiczny oraz lakowanie pierwszych zębów trzonowych. W związku z tym dodano w modelu dodatkowe bloki w celu weryfikacji czasu trwania pobytu jednej klasy uczniów u stomatologa. Okazało się, że niektóre klasy mogą przebywać u stomatologa nawet dwa dni. Jeżeli jeden z tych dni był dniem, w którym w harmonogramie wypadała fluoryzacja, wówczas uczniowie nigdy nie mieli sprawdzane czy powinni pójść tego dnia na fluoryzację. Postanowiono, że uczniowie mogą być kierowani na fluoryzację również jeden dzień przed jak i po, względem dnia określonego w harmonogramie. W efekcie liczba fluoryzacji zaczęła się zgadzać (Tabela 16). Wraz z liczbą fluoryzacji zweryfikowano czy przy poprawnej ich liczbie, liczba grupowych pogadań edukacyjnych również będzie się zgadzać. Jeżeli liczba fluoryzacji każdego roku równa jest 270, czyli wszystkie klasy mają zapewnione sześć fluoryzacji w roku, wówczas liczba pogadań również się zgadza.

Tabela 16: Analiza liczby odbytych sumarycznych fluoryzacji i pogadań edukacyjnych podczas kolejnych lat obserwacji w pierwszym powtórzeniu (po wprowadzeniu korekty).

Rok obserwacji	Docelowa liczba fluoryzacji	Zrealizowana liczba fluoryzacji	Docelowa liczba pogadań	Zrealizowana liczba pogadań
1	270	270	100	100
2	540	540	200	200
3	810	810	300	300
4	1080	1080	400	400
5	1350	1350	500	500
6	1620	1620	600	600
7	1890	1890	700	700
8	2160	2160	800	800
9	2430	2430	900	900
10	2700	2700	1000	1000
11	2970	2970	1100	1100
12	3240	3240	1200	1200
13	3510	3510	1300	1300

### **Weryfikacja czy uczniowie są w poprawny sposób kierowani na lakowanie zębów**

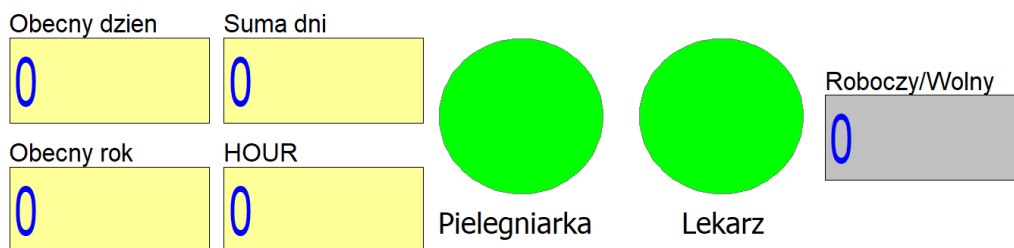
W celu weryfikacji czy uczniowie w poprawny sposób są kierowani do lakowania przeprowadzono wrywkową analizę czy uczniowie, którzy powinni być kierowani na lakowanie, idą na nie oraz czy uczniowie mają zalakowaną odpowiednią liczbę zębów w stosunku do posiadanych w danym momencie zębów stałych. Proces świadczenia lakowania zębów, w celu weryfikacji, rozbudowano o dwa etapy kontrolne (Rysunek 18). W momencie, gdy uczniowie trafiali do bloku decyzyjnego, na podstawie liczby zębów stałych i liczby zębów zalakowanych była podejmowana decyzja czy idą na lakowanie, czy nie. Symulacja była zatrzymywana, gdy uczniowie znajdowali się w bloku decyzyjnym, a następnie odczytywano wartości atrybutów i zakładano gdzie powinni dalej się udać, jeżeli udali się tam, gdzie założono, to stwierdzano poprawność analizy. *Punkt kontrolny 1* oraz *punkt kontrolny 2* stanowiły etapy weryfikacji. Uczeń na podstawie warunków zapisanych w bloku decyzyjnym powinien trafić albo do jednego, albo do drugiego punktu. Analiza wykazała, że model działa poprawnie jeżeli chodzi o kierowanie uczniów na lakowanie zębów oraz liczbę zalakowanych zębów. W załącznikach do niniejszej rozprawy przedstawiono wyniki analizy dla 10 przykładowych uczniów (*Załącznik 4*).



Rysunek 18: Proces weryfikacji poprawności świadczenia lakowania zębów u uczniów.

### Weryfikacja za pomocą animacji modelu

Model poddano również weryfikacji wizualnej (Rysunek 19). Obserwowano jak przebiega animacja modelu, czyli czy uczniowie przemieszczają się przez system zgodnie z założeniami. Między innymi w tym celu wyświetlano na ekranie wartości różnych zmiennych takich, jak np. aktualna godzina, aktualny dzień, aktualny rok, sumę dni od początku symulacji oraz czy aktualny dzień jest dniem roboczym, czy wolnym od pracy. Weryfikacja wizualna zakończyła się sukcesem, a obserwacja przebiegu procesu symulacji, dała podstawy do stwierdzenia poprawności działania modelu.



Rysunek 19: Elementy wizualnej weryfikacji poprawności działania modelu.

### Weryfikacja czy specjaliści pracują zgodnie z harmonogramem

Czas pracy zarówno lekarza dentyisty, jak i pielęgniarki jest w modelu zapisany za pomocą harmonogramu. Lekarz pracuje przez 6, natomiast pielęgniarka przez 8 godzin podczas dnia roboczego. Jeżeli dany uczeń ma zapewniany przegląd w momencie upływu szóstej godziny pracy lekarza, to lekarz dokończy wizytę tego ucznia. Jeżeli upłynął czas pracy lekarza, a nie wykonał on jeszcze przeglądu u wszystkich uczniów w danej klasie, to pozostali uczniowie czekają na przegląd do następnego dnia roboczego. Identyczna sytuacja ma miejsce

w przypadku świadczeń zapewnianych przez pielęgniarkę, jednak tam uczniowie nie rozdzielają się, więc jeżeli ma miejsce sytuacja, że upływa ósma godzina pracy pielęgniarki, a jest ona w trakcie pogadanki lub fluoryzacji, to doprowadza je do końca. Jeżeli natomiast jest w trakcie fluoryzacji, a po tej fluoryzacji wypada pogadanka dla danej klasy, to uczniowie mają dokończoną fluoryzację, a na pogadankę udają się następnego dnia. Weryfikacja poprawności działania harmonogramu pracy specjalistów odbyła się wizualnie poprzez obserwowanie stanu zasobu, który może być: *wolny*, *zajęty* lub *nieaktywny*. W tym celu, oprócz wyświetlanych już zmiennych (godzina, dzień roboczy/wolny), dodano wizualizację stanu zasobu. Stan *wolny* lub *zajęty* przyjmują zasoby podczas czasu swojej pracy. Stan *nieaktywny* powinni mieć po upływie czasu pracy podczas dni roboczych oraz podczas dni wolnych. Ten test również zakończył się pozytywnie.

### **Weryfikacja czy świadczenia nie są zapewniane podczas dni wolnych od pracy**

Uczniowie są kierowani na świadczenia profilaktyczne w zależności od szeregu warunków, które muszą zostać spełnione. Nie powinna mieć miejsce sytuacja, w której pomimo dnia wolnego, uczniowie są kierowani na dane świadczenie. W modelu funkcjonuje kalendarz, utworzony na podstawie przykładowego kalendarza dla roku 2021/2022. Może mieć miejsce sytuacja, w której w momencie sprawdzania warunku jest dzień roboczy, ale dany specjalista jest zajęty. Wówczas uczniowie są kierowani na świadczenie i oczekują na nie w kolejce. Stwierdzono, że model działa poprawnie jeżeli chodzi o zapewnianie PPPZ uczniom w dni robocze.

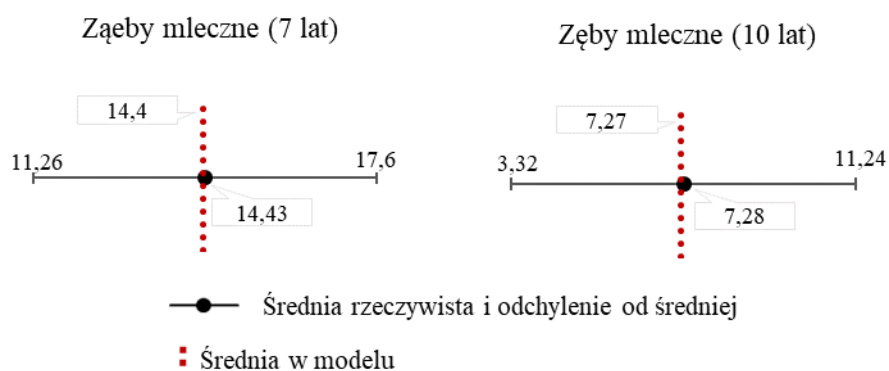
## **5.4. Trzeci stopień oceny zasadności modelu**

Trzeci stopień dotyczył sprawdzenia czy wyniki symulacji są porównywalne z danymi rzeczywistymi. W tym celu przeprowadzono walidację historyczną dla innego wybranego regionu. Dane dla innego regionu zostały zaimplementowane w modelu na podstawie tego samego opracowania, co dane dla Dolnego Śląska (Olczak-Kowalczyk i inni 2021a). Wybrano województwo Mazowieckie, ponieważ spośród badanych regionów, to województwo było jednym z nielicznych, dla których podano dane dla grup wiekowych będących przedmiotem zainteresowania. Zaimplementowano w modelu dane dla województwa Mazowieckiego, a następnie porównano uzyskane wyniki z danymi rzeczywistymi. Implementacja danych dla innego, niż dolnośląskie, województwa wymagała pewnego dostosowania modelu,

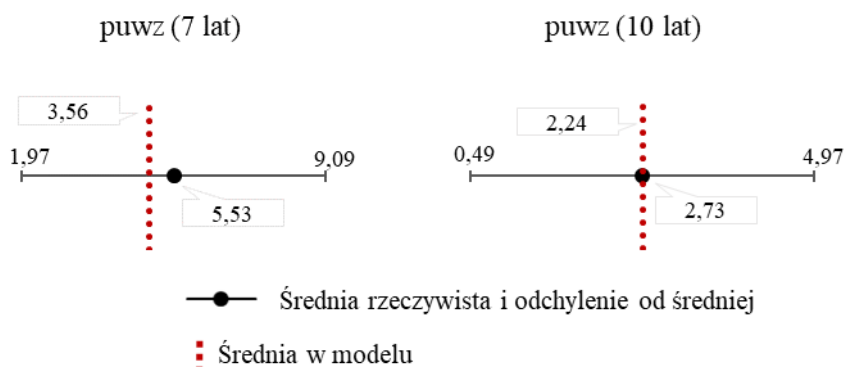


polegającego na weryfikacji i uwzględnieniu trendów przyrostu próchnicy w zębach specyficznych dla województwa mazowieckiego.

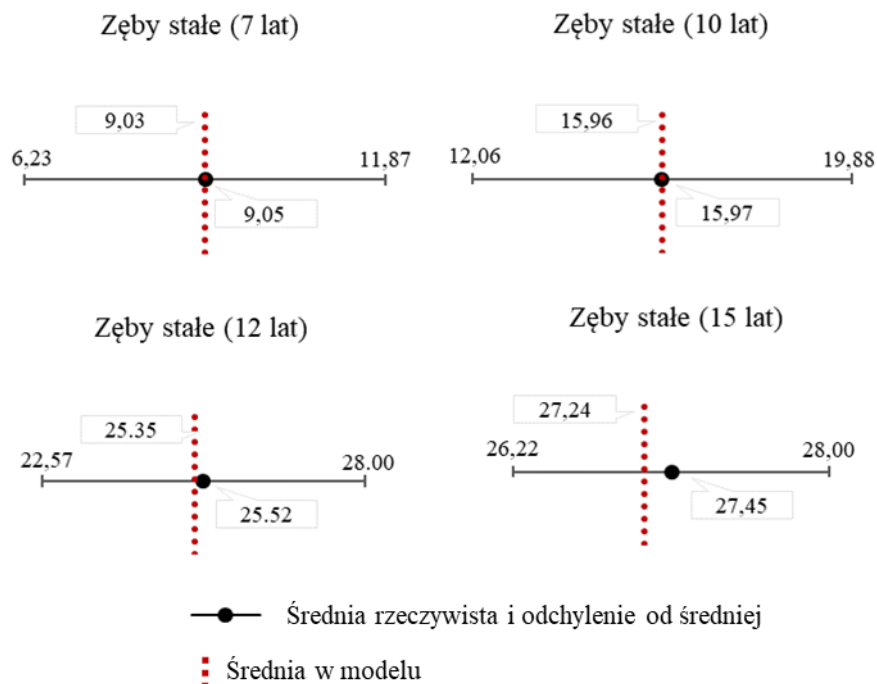
Zgodność danych symulacyjnych z danymi rzeczywistymi została poddana sprawdzeniu dla kluczowych wskaźników, takich jak liczba zębów mlecznych, liczba zębów stałych, puwz i PUWZ (Rysunki 20-23). Zaprezentowano wyniki walidacji dla regionu mazowieckiego. Średnie wygenerowana w modelu, z 10 powtórzeń dla tej samej grupy 500 uczniów, zawsze mieściła się w przedziale średniej rzeczywistej  $\pm$  odchylenie od średniej rzeczywistej. Dodatkowo dokonano analizy czy trendy dotyczące średniego odsetka dzieci z próchnicą pomiędzy modelem a rzeczywistością są zadowalające (Rysunek 24). Analiza zakończyła się pozytywnie i stwierdzono zgodność pomiędzy badanymi parametrami.



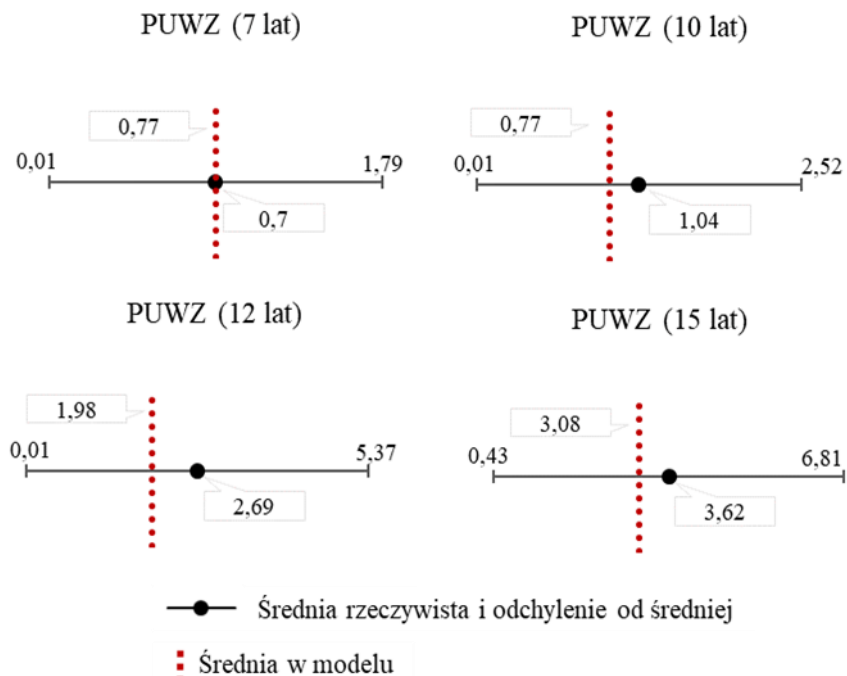
Rysunek 20: Walidacja średnich uzyskanych dla zębów mlecznych w modelu dla siedmio- i dziesięcioletków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa mazowieckiego.



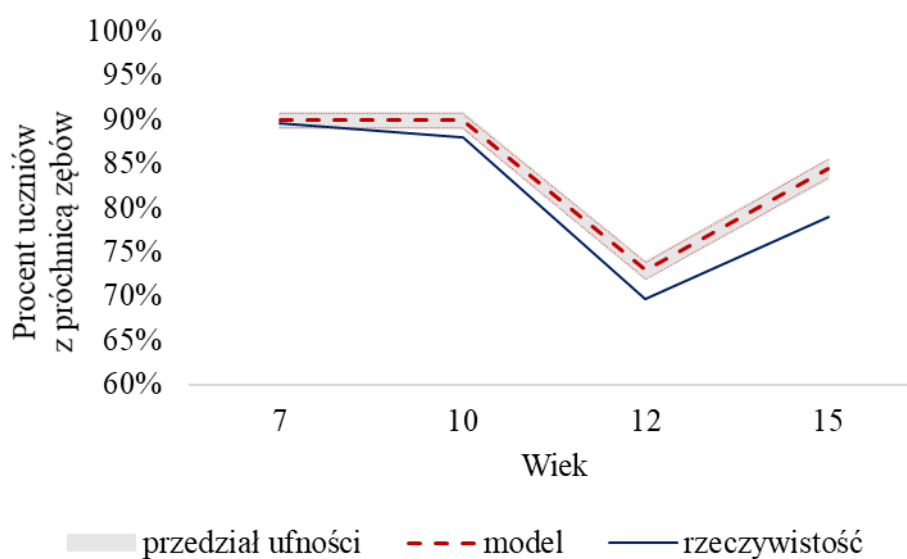
Rysunek 21: Walidacja średnich uzyskanych dla wskaźników puwz w modelu dla siedmio- i dziesięcioletków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa mazowieckiego.



Rysunek 22: Walidacja średnich uzyskanych dla zębów stałych w modelu dla siedmio-, dziesięcio-, dwunasto- i piętnastolatków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa mazowieckiego.



Rysunek 23: Walidacja średnich uzyskanych dla wskaźników PUWZ w modelu dla siedmio-, dziesięcio-, dwunasto- i piętnastolatków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa mazowieckiego.



Rysunek 24: Porównanie odsetka uczniów z próchnicą wśród dzieci w wieku 7, 10, 12 i 15 lat: średnia rzeczywista i średnia w modelu z 10 powtórzeń dla województwa mazowieckiego.

Proces budowy modelu był rozłożony w czasie, testowano różne możliwości i założenia. Każda kolejna wersja modelu była dopracowywana i stanowiła bardziej zaawansowaną wersję. Liczba testów i jakość przeprowadzonej weryfikacji i walidacji w oparciu o koncepcję trójstopniowej oceny zasadności Naylora (1975, s. 210-215) stanowi podstawę do przyjęcia modelu symulacyjnego i stwierdzenia jego zgodności z rzeczywistością.

## Część IV

# Badania symulacyjne

---

### 1. Cele badań symulacyjnych

Za pomocą komputerowych eksperymentów symulacyjnych planowane jest sprawdzenie potencjalnej użyteczności modelu symulacyjnego – opracowanego w oparciu o zaproponowaną koncepcję – do wspierania zarządzania PPPZ. Głównym celem badań symulacyjnych jest obserwowanie postępowania choroby próchnicy zębów u uczniów w szkole podstawowej w zależności od upływającego czasu i wpływu PPPZ o zróżnicowanej hipotetycznej strukturze oraz różnych założeniach dotyczących skuteczności i liczebności zapewnianych świadczeń. Ponadto wyznaczona zostanie liczba godzin pracy personelu medycznego niezbędnego do zrealizowania danego PPPZ w szkole podstawowej.

Dla prowadzonych badań sformułowano następujące cele szczegółowe:

- Zbadanie, która spośród badanych struktur PPPZ umożliwi hipotetyczne największe ograniczenie występowania próchnicy zębów u uczniów kończących szkołę podstawową, przy założeniu bazowej skuteczności świadczeń profilaktycznych.
- Sprawdzenie czy i w jakim stopniu zmodyfikowanie skuteczności świadczeń profilaktycznych może wpływać na ograniczenie występowania próchnicy zębów u uczniów kończących szkołę podstawową.
- Zweryfikowanie czy i w jakim stopniu mniejsza liczba pogadanek edukacyjnych, realizowanych przez pielęgniarkę, może wpływać na zapotrzebowanie na godziny pracy personelu medycznego oraz na średnią liczbę uczniów kończących szkołę podstawową z czterema lub więcej zębami z próchnicą.
- Sprawdzenie czy i w jakim stopniu dodatkowa indywidualna pogadanka edukacyjna, prowadzona przez lekarza, dla dzieci posiadających 4 i więcej zębów z próchnicą, może

wpływać na wielkość zapotrzebowania na godziny pracy personelu medycznego oraz na ograniczenie występowania próchnicy zębów u uczniów kończących szkołę podstawową.

Realizacja badań symulacyjnych umożliwi zastosowanie zaproponowanego modelu do eksperymentowania z różnymi konfiguracjami PPPZ, obejmującymi zróżnicowany rodzaj, liczbę oraz skuteczność świadczeń profilaktycznych próchnicy zębów. W zależności od założeń PPPZ, zarówno występowanie próchnicy zębów u uczniów w szkole podstawowej jak i zapotrzebowanie na godziny pracy specjalistów medycznych mogą się różnić.

## 2. Plan badań symulacyjnych

W ramach eksperymentów symulacyjnych na modelu przewidziano jeden scenariusz bazowy (scenariusz B) oraz pięć scenariuszy symulacyjnych typu what-if<sup>64</sup> (scenariusze I – V). Scenariusz bazowy odzwierciedla sytuację, w której uczniowie nie mają zapewnionego kompleksowego PPPZ. W tym scenariuszu, postęp próchnicy u uczniów jest zgodny z rzeczywistymi danymi, w których nie odnotowano stosowania żadnych kompleksowych działań profilaktycznych. Każdy z pozostałych pięciu scenariuszy symulacyjnych odpowiada PPPZ o innej strukturze świadczeń profilaktycznych (Tabela 17). W ramach każdego scenariusza zbadane zostaną jego warianty zakładające zmodyfikowaną skuteczność świadczeń, mniejszą liczbę grupowych pogadanek oraz dodatkowe indywidualne pogadanki<sup>65</sup> (Tabela 18). W każdym scenariuszu, dla wariantów oznaczonych tymi samymi numerami przyjęto te same założenia. W różnych scenariuszach będą badane wybrane warianty (Tabela 19). Nie ma możliwości przetestowania wszystkich wariantów w ramach wszystkich scenariuszy, ponieważ odnoszą się one do różnych struktur PPPZ zakładających pracę personelu lekarskiego i/lub pielęgniarskiego. Plan eksperymentów symulacyjnych został przyjęty w oparciu o dostępne doniesienia literaturowe dotyczące sugerowanych zestawów świadczeń oraz w oparciu o konsultacje ze specjalistami – lekarzami dentystami zaangażowanymi w realizowanie profilaktyki w szkołach podstawowych.

W każdym scenariuszu symulacyjnym zostaną przyjęte jednakowe parametry symulacji (*patrz część III, punkt 3*). Dla wszystkich badanych wariantów zostanie przeprowadzonych 10 powtórzeń. Czas trwania jednego powtórzenia będzie wynosił 20 lat (w tym ośmioletni okres

---

<sup>64</sup> Nazywamy tak badanie symulacyjne, które umożliwia uzyskanie odpowiedzi na pytanie *co by było gdyby?*

<sup>65</sup> W dalszej części pracy, dla zachowania przejrzystości opisu, scenariusz bazowy będzie oznaczony jako „B”, kolejne scenariusze symulacyjne będą oznaczone cyframi rzymskimi od I do V. Natomiast warianty scenariuszy – cyframi arabskimi od 1 do 4.

rozgrzewania modelu). Obserwacjom zostanie poddanych pięć kohort uczniów podczas ich całego okresu edukacji w szkole podstawowej. Kohorta jest rozumiana jako uczniowie rozpoczynający edukację w tym samym roku, czyli stu uczniów podzielonych na pięć klas.

Tabela 17: Plan scenariuszy symulacyjnych: świadczenia profilaktyczne uwzględnione w ramach PPPZ w scenariuszu bazowym (B) oraz od I do V (✓ - zawiera dane świadczenie; ✗ - nie zawiera danego świadczenia).

Scenariusz	Fluoryzacja	Grupowa Edukacja	Przeгляд	Lakowanie szóstek	Lakowanie siódemek
B	✗	✗	✗	✗	✗
I	✓	✓	✓	✓	✓
II	✓	✓	✓	✓	✗
III	✓	✓	✗	✗	✗
IV	✗	✗	✓	✓	✓
V	✗	✗	✓	✓	✗

W scenariuszu I, PPPZ obejmuje komplet świadczeń profilaktycznych: fluoryzację, grupową edukację, przeгляд, lakowanie szóstek i siódemek. W scenariuszu II, uczniowie mają zapewnianą fluoryzację, grupową edukację, przeгляд oraz lakowanie tylko szóstek. W scenariuszu III, PPPZ obejmuje fluoryzację oraz grupową edukację. Jeżeli jednak uczniowie mieli zalakowane zęby, zanim rozpoczęli naukę w szkole podstawowej, to założono, że w tych zębach istnieje jedynie od 10 - 44% szansy na rozwój próchnicy zębów (czyli tak, jak w przypadku bazowej skuteczność przyjętej dla lakowania, *patrz część III, punkt 3.7*). W scenariuszu IV, PPPZ obejmuje przeгляд oraz lakowanie szóstek i siódemek. W scenariuszu V uczniowie mają zapewniony przeгляд i lakowanie szóstek.

Tabela 18: Charakterystyka wariantów przeprowadzonych w ramach scenariuszy symulacyjnych.

Wariant	Założenie
1	Bazowa skuteczność świadczeń profilaktycznych
2	Zmodyfikowana skuteczność świadczeń profilaktycznych
3	Zmniejszona liczba grupowych pogadanek edukacyjnych
4	Dodatkowe indywidualne pogadanki edukacyjne u lekarza

Tabela 19: Wskazanie, które warianty są analizowane w ramach których scenariuszy ( ✓ - dany wariant jest analizowany w ramach danego scenariusza; ✗ - nie jest analizowany).

Scenariusz	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
B	✗	✗	✗	✗
I	✓	✓	✓	✓
II	✓	✓	✓	✓
III	✓	✓	✓	✗
IV	✓	✓	✗	✓
V	✓	✓	✗	✓

### Wariant 1

W wariacie 1 zostanie przetestowany wpływ danej struktury PPPZ na wyniki zdrowotne przy bazowych założeniach skuteczności. Wyniki dla tego wariantu będą porównane ze sobą w ramach porównania scenariuszy. Wariant ten będzie również stanowić odniesienie dla pozostałych wariantów testowanych w ramach danego scenariusza.

### Wariant 2

W wariacie 2 zostanie zweryfikowany wpływ danej struktury PPPZ na wyniki zdrowotne przy zmodyfikowanych założeniach skuteczności świadczeń. W ramach modyfikacji skuteczności świadczeń przewidziano, że po osiągnięciu dziesiątego roku życia skuteczność lakowania maleje w porównaniu do wartości początkowej, natomiast skuteczność fluoryzacji i grupowej edukacji wzrasta. To założenie opiera się na obserwacji, że w miarę upływu czasu lak może ulegać erozji, co zwiększa ryzyko rozwoju próchnicy w zalakowanych zębach. Jednocześnie starsze dzieci mogą być bardziej podatne na edukację i być może lepiej dbają o higienę jamy ustnej niż młodsze dzieci. Dlatego też edukacja może mieć większy wpływ na ich zachowanie i cechować się wyższą skutecznością fluoryzacji i edukacji przyjętą w modelu. W przypadku mniejszej skuteczności lakowania założono, że istnieje od 45% do 55% ryzyka, że próchnica rozwinie się w zalakowanych zębach. Natomiast w przypadku większej skuteczności fluoryzacji i edukacji, przyjęto, że będzie ona generowana z parametrów o 25% większych niż w sytuacji bazowej. W Tabeli 20 przedstawiono zmodyfikowane wielkości parametrów rozkładów losowych użytych do generowania skuteczności fluoryzacji i grupowej edukacji.

Tabela 20: Parametry rozkładów losowych użytych do wygenerowania zwiększonej, w stosunku do bazowej, skuteczności fluoryzacji i pogadań dla zębów mlecznych i stałych na koniec każdego roku szkolnego, indywidualnie dla każdego ucznia.

Zęby	Parametry rozkładu trójkątnego
mleczne	0,25–0,38 (najczęściej występująca wartość: 0,31)
stałe	0,35–0,48 (najczęściej występująca wartość: 0,44)

### Wariant 3

W ramach wariantu 3 badano wpływ danej struktury PPPZ na wyniki zdrowotne przy bazowych założeniach skuteczności i zmniejszeniu liczby odbywanych grupowych pogadań. Mniejsza liczba pogadań edukacyjnych wiązała się również z mniejszym czasem pracy pielęgniarki. Uczniowie mogą mieć zrealizowanych maksymalnie dwie pogadanki na rok. Na pogadanki są kierowani po niektórych fluoryzacjach, gdzie fluoryzacji zawsze mają sześć. Po każdej fluoryzacji istnieje jedynie 30% szansy, że dana klasa będzie miała pogadanki. Zatem może mieć miejsce sytuacja, że niektóre klasy w danym roku nie będą miały w ogóle pogadań, będą miały jedną lub dwie. W wariacie przetestowano jak kształtowałyby się wyniki zdrowotne gdyby odbywało się mniej grupowych pogadań edukacyjnych dla uczniów. Jeżeli w danym roku nie odbyła się żadna pogadanka lub tylko jedna, wówczas skuteczność fluoryzacji i pogadań edukacyjnych może dodatkowo zostać zmniejszona o wartość wygenerowaną z rozkładu jednostajnego. Parametry rozkładu jednostajnego zmieniają się w zależności od liczby zrealizowanych pogadań w danym roku (Tabela 21). Rozkład jednostajny został wybrany do generowania przelicznika skuteczności, ponieważ zakłada się, że zmniejszenie liczby pogadań może oddziaływać na skuteczność fluoryzacji i pogadań edukacyjnych u uczniów w podobnym stopniu. Rozkład jednostajny najlepiej oddaje założoną równomierność i brak wyraźnego nacisku na specyficzną wartość.

Tabela 21: Przelicznik skuteczności grupowej fluoryzacji nadzorowanej i pogadań edukacyjnych w zależności od liczby pogadań zrealizowanych w danym roku.

Liczba pogadań na rok	Parametr modyfikacji skuteczności
0	generowany z rozkładu jednostajnego od 0,25 do 0,5
1	generowany z rozkładu jednostajnego od 0,5 do 0,75



#### **Wariant 4**

W wariantcie 4, podczas każdego przeglądu u lekarza, dzieci posiadające cztery lub więcej zębów z próchnicą będą miały 60% szans na przeprowadzenie indywidualnych pogadank edukacyjnych przez lekarza. Ta dodatkowa edukacja będzie oznaczać wydłużenie czasu przeglądu u lekarza dla danego dziecka. Dodatkowy czas będzie generowany z rozkładu jednostajnego od 3 do 7 minut. Założono, że jeżeli dany uczeń chociaż raz w roku miał indywidualną pogadankę, to sumaryczna skuteczność fluoryzacji i edukacji u danego ucznia może wzrosnąć. Istnieje 30% szansy, że wzrośnie o 0,25, 50% szansy, że o 0,5, natomiast z 20% szansą nic się nie zmieni. Jeśli uczniowie nie mają zapewnionej fluoryzacji i edukacji w ramach PPPZ, skuteczność dodatkowych indywidualnych pogadank generowana jest co roku. Dla uczniów, którzy brali udział w tych dodatkowych pogadankach istnieje 30% szansy, że skuteczność będzie wynosić 0.25, 50% szansy, że będzie wynosić 0.5 oraz 20% szansy, że będzie równa zero.

#### **Miary wyjściowe**

W ramach prowadzonych badań uwzględniono dwie grupy wskaźników jako podstawowe miary wyjściowe. Pierwsza grupa to parametry określające stan zdrowia jamy ustnej u uczniów. Druga to parametry obciążenia pracą specjalistów personelu lekarskiego i pielęgniarzkiego. Stan zdrowia jamy ustnej u uczniów będzie opisany za pomocą klasy SPZ (*patrz część III, punkt 3.6*) przypisanej każdemu uczniowi w oparciu o sumaryczną wartość wskaźników puwz i PUWZ u ucznia w danym momencie. Klasa SPZ będzie odczytywana u uczniów na koniec każdego roku szkolnego. Najbardziej pożądanym efektem, realizacji PPPZ, byłaby sytuacja, w której wszyscy uczniowie na zakończenie edukacji w szkole podstawowej mieliby SPZ dobry, jednak SPZ umiarkowany również jest akceptowalny. Natomiast SPZ zły jest stanem, który należy wyeliminować.

Godziny pracy specjalistów natomiast będą analizowane jako ogólna ilość czasu, jaką dany rodzaj personelu medycznego musi poświęcić na świadczenie usług profilaktyki próchnicy zębów danej grupie uczniów w każdym roku edukacji podstawowej tych uczniów. Miary wyjściowe przedstawiane będą jako średnie wyniki uzyskane z przeprowadzonych powtórzeń symulacji.

### **3. Metodyka analizy wyników**

Kategorią nadrzędną w prowadzonych badaniach są scenariusze. Natomiast kategorię podrzędną stanowią warianty. Najpierw zostaną przedstawione wyniki dla scenariusza bazowego, następnie zostaną porównane ze sobą wyniki uzyskane dla wszystkich scenariuszy. Do porównania scenariuszy między sobą wybrany zostanie wariant 1 z każdego scenariusza. Następnie w ramach każdego scenariusza od I do V zostaną przeanalizowane wybrane warianty od 2 do 4 i porównane z wariantem 1 w danym scenariuszu (charakterystyka scenariuszy symulacyjnych i ich wariantów została przedstawiona w Tabelach 17-19).

SPZ u uczniów będzie analizowany dla wszystkich wariantów przeprowadzonych w ramach scenariuszy od I do V. Natomiast czas pracy specjalistów będzie rozważany w ramach danego scenariusza tylko jeżeli różnił się on w stosunku do czasu analizowanego na wcześniejszych etapach badań. Wynika to z faktu, że różnice pomiędzy scenariuszami i wariantami czasem dotyczyły wyboru innych świadczeń realizowanych przez personel lekarski lub pielęgniarski, a czasem polegały na zmianach, które nie odnosiły się do czasu pracy specjalistów. Zatem czas pracy specjalistów w każdym scenariuszu będzie analizowany dla dwóch wariantów: dla personelu lekarskiego w wariantach 1 i 4, a dla personelu pielęgniarskiego w wariantach 1 i 3. Te wybory wynikają z założeń poszczególnych wariantów, które nie wpływają na zmiany w czasie pracy wybranych specjalistów w pozostałych wariantach. Dodatkowo, analiza czasu pracy w poszczególnych scenariuszach zostanie przeprowadzona jedynie wtedy, gdy będzie on różnił się w stosunku do scenariusza I. Na przykład, w scenariuszu I analizowano czas pracy zarówno dla personelu lekarskiego, jak i pielęgniarskiego. W scenariuszu II tylko dla personelu lekarskiego. Czas pracy personelu lekarskiego w scenariuszach IV i V odpowiadał czasowi pracy w scenariuszach I i II, więc te analizy nie były powtarzane. Natomiast czas pracy personelu pielęgniarskiego w scenariuszach II i III odpowiadał czasowi pracy pielęgniarki w scenariuszu I. W scenariuszu III PPPZ nie obejmował świadczeń lekarskich, podczas gdy w scenariuszach IV i V PPPZ nie uwzględniały świadczeń pielęgniarskich. W Tabeli 22 zawarto podsumowanie, w których wariantach i scenariuszach będzie przedstawiona analiza czasu pracy personelu lekarskiego i pielęgniarskiego.

Tabela 22: Wyszczególnienie wariantów i scenariuszy, dla których przedstawiono analizę czasu pracy personelu lekarskiego i pielęgniarskiego (oznaczenie „L” - analiza czasu pracy personelu lekarskiego, oznaczenie „P” - analiza czasu pracy personelu pielęgniarskiego).

Scenariusz	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
B	-	-	-	-
I	L, P	-	P	L
II	L	-	-	L
III	-	-	-	-
IV	-	-	-	-
V	-	-	-	-

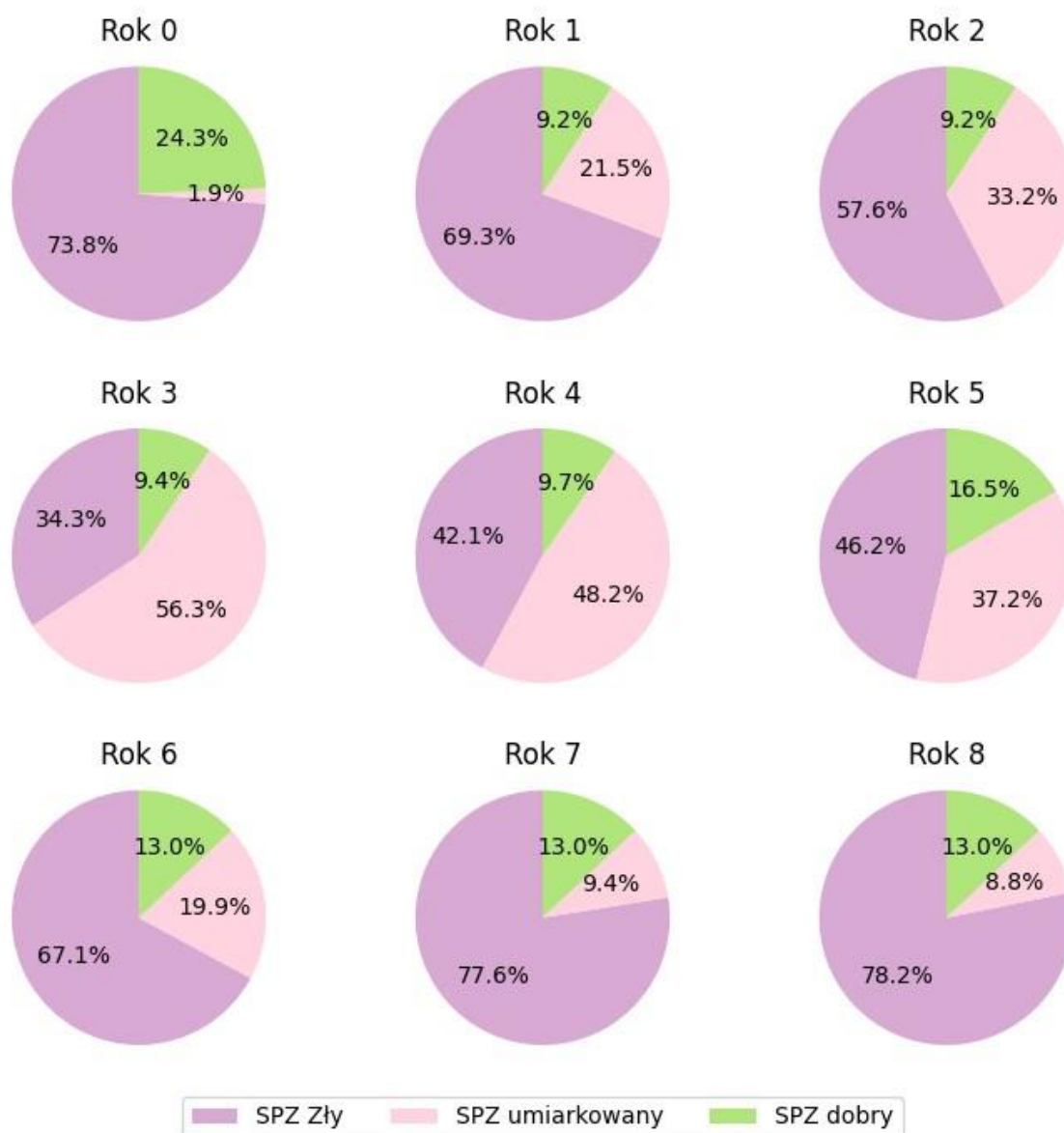
Zarówno liczba uczniów kończących szkołę z danym SPZ jak i czas pracy specjalistów będzie przedstawiony jako średnia uzyskana ze wszystkich powtórzeń symulacyjnych. Dla wyników uzyskanych dla wariantów w ramach scenariuszy zostaną przeprowadzone testy t-Studenta dla dwóch prób niezależnych w celu porównania wyników osiągniętych w poszczególnych wariantach między sobą. Analiza zostanie przeprowadzona na podstawie 10 obserwacji, z których każda reprezentuje średni wynik uzyskany w jednym powtórzeniu symulacyjnym obejmującym grupę 500 uczniów. Średnie liczby uczniów z poszczególnym SPZ na zakończenie edukacji w badanych w danym scenariuszu wariantach będą porównywane do tych średnich uzyskanych w wariantcie 1, zakładającym bazową skuteczność. Najpierw przeprowadzone zostaną testy Levene'a w celu oceny czy wariancje w porównywanych próbkach są istotnie różne. Następnie w zależności od wyniku przeprowadzone zostaną testy T dla prób zakładających równe lub nierówne wariancje (dla nierównych wariancji tzw. testy Welch'a). Założono dwie hipotezy, gdzie hipoteza zerowa zakłada, że średnie porównywanych parametrów są równe dla dwóch wariantów:  $H_0: \text{średnia}_1 = \text{średnia}_2$ , natomiast hipoteza alternatywna zakłada, że te średnie różnią się:  $H_1: \text{średnia}_1 \neq \text{średnia}_2$ .

## 4. Wyniki badań symulacyjnych

### 4.1. Scenariusz bazowy

W scenariuszu bazowym uczniowie nie mają zapewnianego PPPZ. Najbardziej pożądanym stanem zdrowia jamy ustnej u uczniów jest SPZ dobry, czyli ten, w którym uczeń nie ma ani jednego zęba z próchnicą (*patrz część III, punkt 3.6*). Stanem akceptowalnym jest SPZ umiarkowany, natomiast tym, który jest niedopuszczalny jest SPZ zły. Na zakończenie edukacji

w szkole podstawowej średnio aż 391 ( $\pm 7,34$ ) uczniów kończyło szkołę z SPZ złym (cztery i więcej zębów z próchnicą). SPZ umiarkowany (od 1 do 3 włącznie zębów z próchnicą) miało średnio 43,9 ( $\pm 4$ ) uczniów. Natomiast uczniów, którzy kończyli szkołę z SPZ dobrym (bez próchnicy zębów) było średnio 65,1 ( $\pm 7,09$ ). Zatem aż 78% badanych uczniów kończyło szkołę z SPZ złym, 9% z SPZ umiarkowanym i 13 z SPZ dobrym (Rysunek 25).



Rysunek 25: Wyniki scenariusza bazowego: procent uczniów z SPZ złym, umiarkowanym i dobrym w każdym roku edukacji w szkole podstawowej, od momentu rozpoczęcia (oznaczonego jako "0") do ósmego roku edukacji. Wyniki przedstawiają średnią z 10 powtórzeń symulacyjnych dla tej samej grupy 500 uczniów.

## 4.2. Porównanie scenariuszy

### Stan Próchnicy Zębów

Charakterystyka scenariuszy symulacyjnych została przedstawiona w Tabeli 17. Przy porównywaniu scenariuszy od I do V, przedmiotem analizy były wyniki osiągnięte w wariancie 1 (*patrz Tabela 18*) w każdym ze scenariuszy, które porównano do scenariusza B. Analizowano, jaka struktura PPPZ przy bazowych założeniach parametrów skuteczności, zapewniłaby najkorzystniejsze efekty zdrowotne u uczniów. Analizując jak struktura świadczeń przyjęta w różnych scenariuszach wpływa na średnią liczbę uczniów kończących szkołę z SPZ dobrym, można zauważyć, że są one wyższe niż w scenariuszu B. SPZ umiarkowany można określić jako stan pośredni, jeżeli dana struktura umożliwia znaczące zmniejszenie średniej liczby uczniów posiadających SPZ zły na zakończenie edukacji np. w scenariuszu I, wówczas zwiększa się średnia liczba uczniów z SPZ umiarkowanym. W Tabeli 23 można zaobserwować, że w każdym scenariuszu od I do V osiągnięto poprawę wyników dotyczących zdrowia jamy ustnej w badanej grupie uczniów. Poszukiwano, która struktura PPPZ umożliwi, żeby jak najmniejsza możliwa średnia liczba uczniów kończyła szkołę z SPZ złym.

Tabela 23: Wyniki scenariusza B i scenariuszy od I do V. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym, umiarkowanym i złym na zakończenie edukacji określona na podstawie 10 powtórzeń dla grupy 500 uczniów. Wartość procentowa informuje o tym, ile spośród 500 uczniów osiągnęło określony stan na zakończenie edukacji w szkole podstawowej.

SPZ	Scenariusz B	Scenariusz I	Scenariusz II	Scenariusz III	Scenariusz IV	Scenariusz V
dobry	13,02%	26,40%	23,92%	16,84%	20,38%	15,70%
umiarkowany	8,78%	69,46%	62,52%	47,20%	48,04%	21,76%
zły	78,2%	4,14%	13,56%	35,96%	31,58%	62,54%

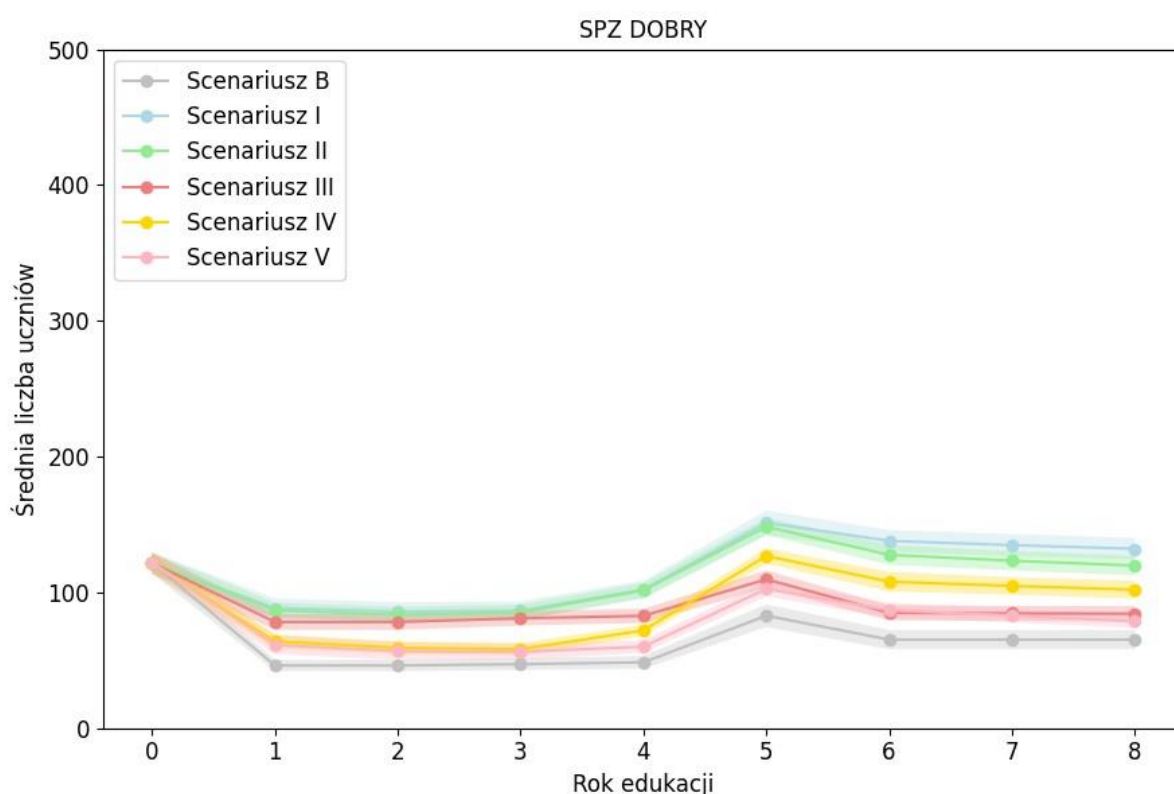
Przyjęcie struktur PPPZ zgodnych z założeniami w scenariuszach I i II skutkowało tym, że spośród badanej grupy 500 uczniów średnio 4% i 14% uczniów posiadało SPZ złym w momencie zakończenia szkoły podstawowej. Porównywalne średnie dla SPZ złego osiągnięto w scenariuszu III – 36% oraz scenariuszu IV – 32%. Zdecydowanie najwięcej uczniów – 63% kończyło szkołę z SPZ złym w scenariuszu V. Analizując jak struktura świadczeń przyjęta w różnych scenariuszach wpływa na średnią liczbę uczniów kończących szkołę z SPZ dobrym, można zauważyć, że wszędzie są one wyższe niż w scenariuszu bazowym.

Wdrożenie PPPZ o każdej z analizowanych struktur umożliwiło poprawę wyników zdrowotnych u uczniów. Najmniejsze różnice pomiędzy wynikami dotyczyły SPZ dobrego (Rysunek 26). Natomiast zmiany zaobserwowane w średnich liczbach uczniów z SPZ umiarkowanym (Rysunek 27) były efektem zmian dotyczących średnich liczb uczniów z SPZ złym (Rysunek 28).

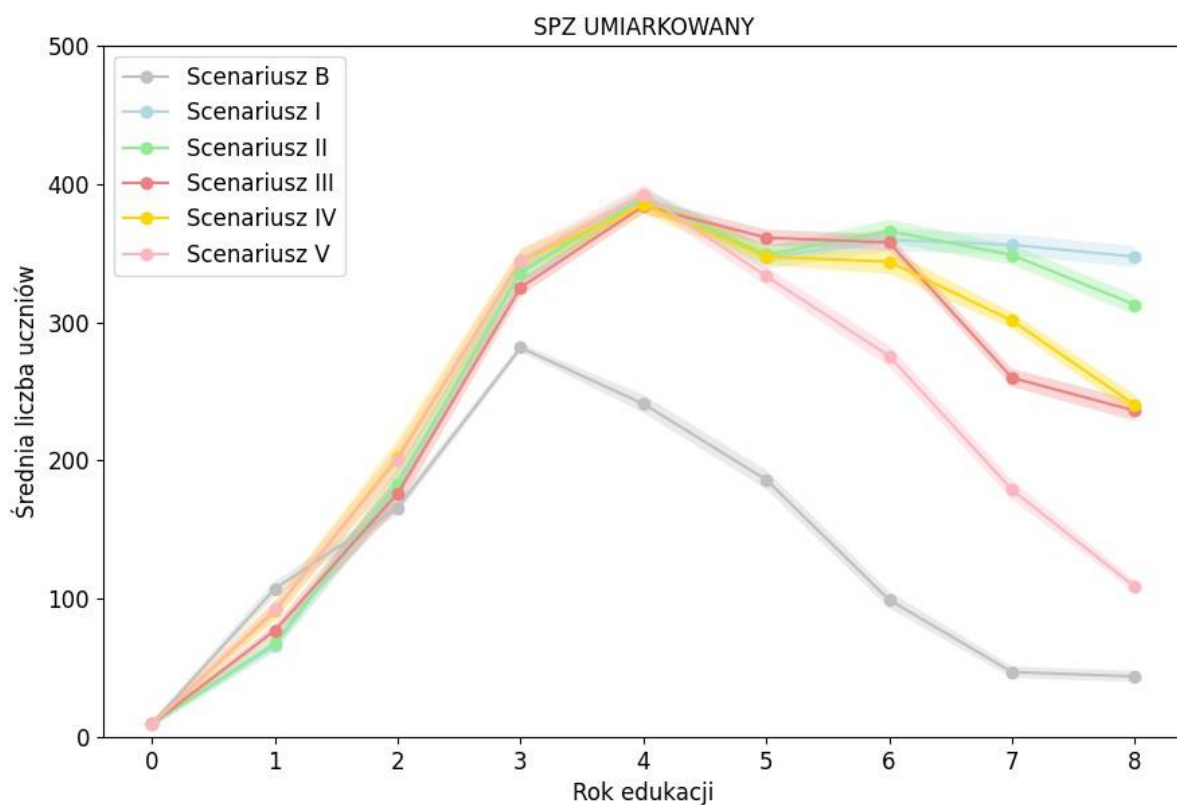
## Czas pracy specjalistów

### Personel lekarski

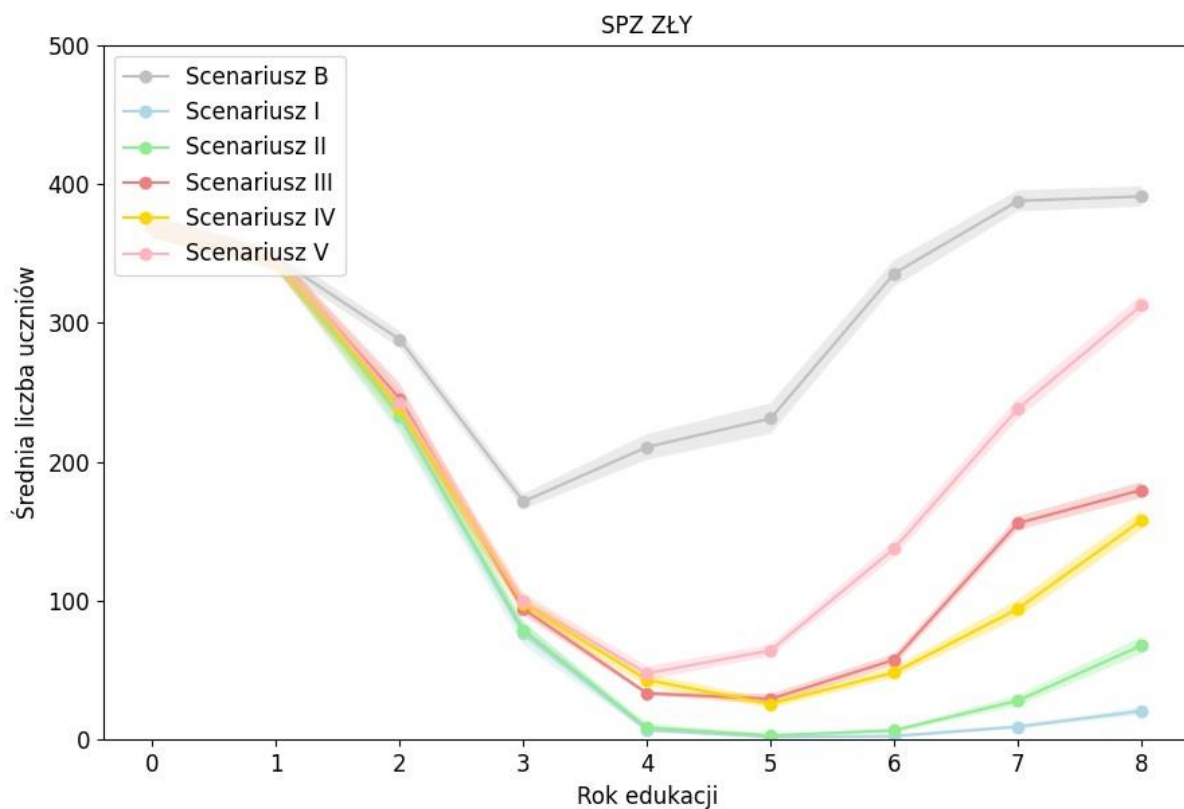
Personel lekarski pracował podczas zapewniania PPPZ uczniom w scenariuszach I, II, IV i V. Czas pracy personelu lekarskiego w scenariuszach I i IV oraz II i V był taki sam, ponieważ założenia dotyczące struktury świadczeń profilaktycznych zapewnianych przez personel lekarski w tych scenariuszach były takie same. Zatem przeanalizowano czas pracy personelu lekarskiego, który jest wymagany w wariancie 1 w scenariuszu I i scenariuszu II, aby zagwarantować grupie 500 uczniów dany PPPZ. Przedstawione zostały średnie wyniki dla 10 powtórzeń symulacyjnych wraz z 95% przedziałami ufności.



Rysunek 26: Wyniki uzyskane we wszystkich przeprowadzonych scenariuszach symulacyjnych. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.



Rysunek 27: Wyniki uzyskane we wszystkich przeprowadzonych scenariuszach symulacyjnych. Średnia liczba uczniów z SPZ umiarkowanym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.



Rysunek 28: Wyniki uzyskane we wszystkich przeprowadzonych scenariuszach symulacyjnych. Średnia liczba uczniów z SPZ złym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.

W scenariuszu I w pierwszym roku edukacji badanej grupy uczniów czas pracy personelu lekarskiego wynosił średnio 826 ( $\pm 5,83$ ) godzin (Tabela 24). W drugim roku 206,07 ( $\pm 1,75$ ), a w trzecim roku było to 194,34 ( $\pm 0,66$ ) godzin. W pozostałych latach personel lekarski pracował średnio około 194-195 godzin rocznie. W scenariuszu II w pierwszym roku edukacji uczniów personel lekarski pracował średnio 505,46 ( $\pm 3,93$ ) godzin, natomiast już od drugiego roku edukacji uczniów czas pracy personelu lekarskiego wynosił średnio około 194-196 godzin. W ramach scenariusza II sumaryczny czas pracy personelu lekarskiego był mniejszy niż w scenariuszu I. Wiązało się to z innym zakresem świadczeń obejmującym, oprócz przeglądu, lakowanie samych szóstek. Zatem największa różnica jest zauważalna w pierwszym i drugim roku edukacji uczniów, podczas których uczniowie mają lakowane zęby.

Tabela 24: Czas pracy personelu lekarskiego jaki musi zostać przeznaczony na zapewnienie grupie 500 uczniów PPPZ założonego w scenariuszu I (IV) i scenariuszu II (V) średnia  $\pm 95\%$  przedział ufności.

Scenariusz	Rok edukacji							
	1	2	3	4	5	6	7	8
I (IV)	826,82 ( $\pm 5,83$ )	206,07 ( $\pm 1,75$ )	194,34 ( $\pm 0,66$ )	195,01 ( $\pm 0,93$ )	194,88 ( $\pm 0,64$ )	194,27 ( $\pm 0,62$ )	194,42 ( $\pm 0,47$ )	194,67 ( $\pm 0,56$ )
II (V)	505,46 ( $\pm 3,93$ )	194,98 ( $\pm 0,64$ )	195,54 ( $\pm 1,52$ )	194,31 ( $\pm 0,69$ )	194,64 ( $\pm 1,42$ )	194,36 ( $\pm 0,77$ )	194,71 ( $\pm 1,05$ )	194,27 ( $\pm 0,73$ )

### Personel pielęgniarski

Personel pielęgniarski pracował podczas zapewniania PPPZ uczniom w scenariuszach I, II, i III. Czas pracy personelu pielęgniarskiego we wszystkich wspomnianych scenariuszach był taki sam, ponieważ założenia dotyczące struktury świadczeń profilaktycznych zapewnianych przez personel pielęgniarski w tych scenariuszach dla wariantów 1 były takie same. Od pierwszego do szóstego roku edukacji uczniów personel pielęgniarski pracował średnio około 74-75 godzin na rok (Tabela 25). Natomiast w siódmym i ósmym roku średnio około 94 godzin na rok. Zwiększony czas pracy pod koniec edukacji uczniów związany był z faktem, że wówczas uczniowie mają zapewniane dłuższe grupowe pogadanki edukacyjne.

Tabela 25: Czas pracy personelu pielęgniarskiego jaki musi zostać przeznaczony na zapewnienie grupie 500 uczniów PPPZ założonego w scenariuszu I (II i III): średnia  $\pm 95\%$  przedział ufności.

Scenariusz	Rok edukacji							
	1	2	3	4	5	6	7	8
I (II,III)	74,93 ( $\pm 0,3$ )	75,33 ( $\pm 0,32$ )	74,64 ( $\pm 0,36$ )	75,16 ( $\pm 0,33$ )	75,16 ( $\pm 0,31$ )	74,61 ( $\pm 0,37$ )	94 ( $\pm 0,7$ )	93,51 ( $\pm 0,48$ )



## Podsumowanie

Podsumowując, spośród analizowanych struktur PPPZ, ta założona w ramach scenariusza I umożliwiła osiągnięcie najlepszych wyników zdrowotnych wśród uczniów. Podczas ich ośmioletniej edukacji w szkole podstawowej, personel lekarski musiałby być zaangażowany w wymiarze wynoszącym średnio 275,06 godzin na rok, natomiast personel pielęgniarki na poziomie wynoszącym średnio 79,67 godzin na rok. Przy zaangażowaniu personelu medycznego na takim poziomie średnio 26 % uczniów kończyło szkołę z SPZ dobrym, średnio 69% uczniów z SPZ umiarkowanym i średnio 4% z SPZ złym. Jeżeli do realizacji PPPZ można zaangażować tylko pielęgniarkę (scenariusz III), wówczas pracuje ona średnio 79,67 godzin na rok, a wtedy średnio 17% uczniów kończy szkołę z SPZ dobrym, średnio 47% uczniów kończy szkołę z SPZ umiarkowanym, a średnio 36% uczniów z SPZ złym. Najgorsze, spośród analizowanych scenariuszy wyniki zdrowotne osiągnięto w scenariuszu V, gdzie przy średniorocznym zaangażowaniu personelu lekarskiego wynoszącym 233,53 godzin na rok, wówczas średnio 16% uczniów kończy szkołę z SPZ złym, średnio 22% uczniów z SPZ umiarkowanym, a aż średnio 63% uczniów z SPZ złym. Wyniki wykazują znacznie większe różnice w średniej liczbie uczniów kończących szkołę z SPZ złym w różnych scenariuszach. Natomiast różnice w średniej liczbie uczniów z SPZ dobrym są mniejsze. Warto zauważyć, że przy uwzględnieniu zarówno uczniów z SPZ dobrym, jak i SPZ złym, kolejność scenariuszy pod względem osiągniętych wyników zdrowotnych pozostaje taka sama. Najlepsze wyniki zdrowotne uzyskano kolejno w scenariuszach: I, II, IV, III oraz V.

### 4.3. Porównanie wariantów w scenariuszu I

#### Stan Próchnicy Zębów

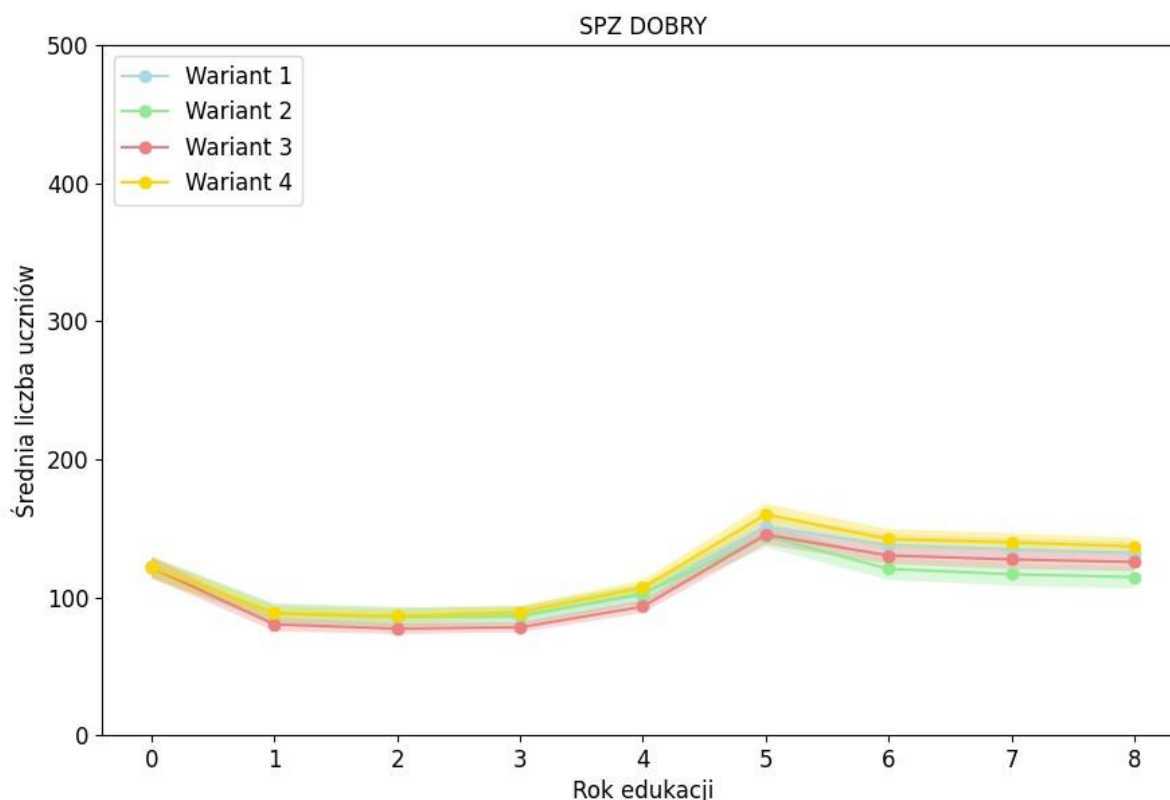
W ramach struktury PPPZ założonej w scenariuszu I uwzględniono takie świadczenia, jak: fluoryzacja, grupowa edukacja, przegląd, lakowanie szóstek oraz lakowanie siódemek. W ramach scenariusza I przetestowano cztery warianty (*patrz Tabela 18*). Realizacja PPPZ o takiej strukturze skutkowała tym, że w każdym analizowanym wariantcie dla scenariusza I średnio ponad 22% uczniów kończyło szkołę z SPZ dobrym (Tabela 26). Natomiast analizując wyniki dla SPZ złego można zauważyć, że najwięcej uczniów – 9% kończyło szkołę z tym stanem w wariantcie 3 wówczas, gdy uczniowie mieli zapewnianych mniej grupowych pogadanek na rok. Nieznacznie mniej, czyli średnio 8% uczniów kończyło szkołę z SPZ złym w przypadku założeń dotyczących zmodyfikowanej skuteczności – wariant 2. Dodatkowe indywidualne pogadanki w wariantcie 4 powodowały, że średnio 5% uczniów kończyło szkołę

z SPZ złym. Natomiast w przypadku bazowej skuteczności w wariancie 1, najmniej uczniów kończyło szkołę z SPZ złym i było to średnio 4% uczniów.

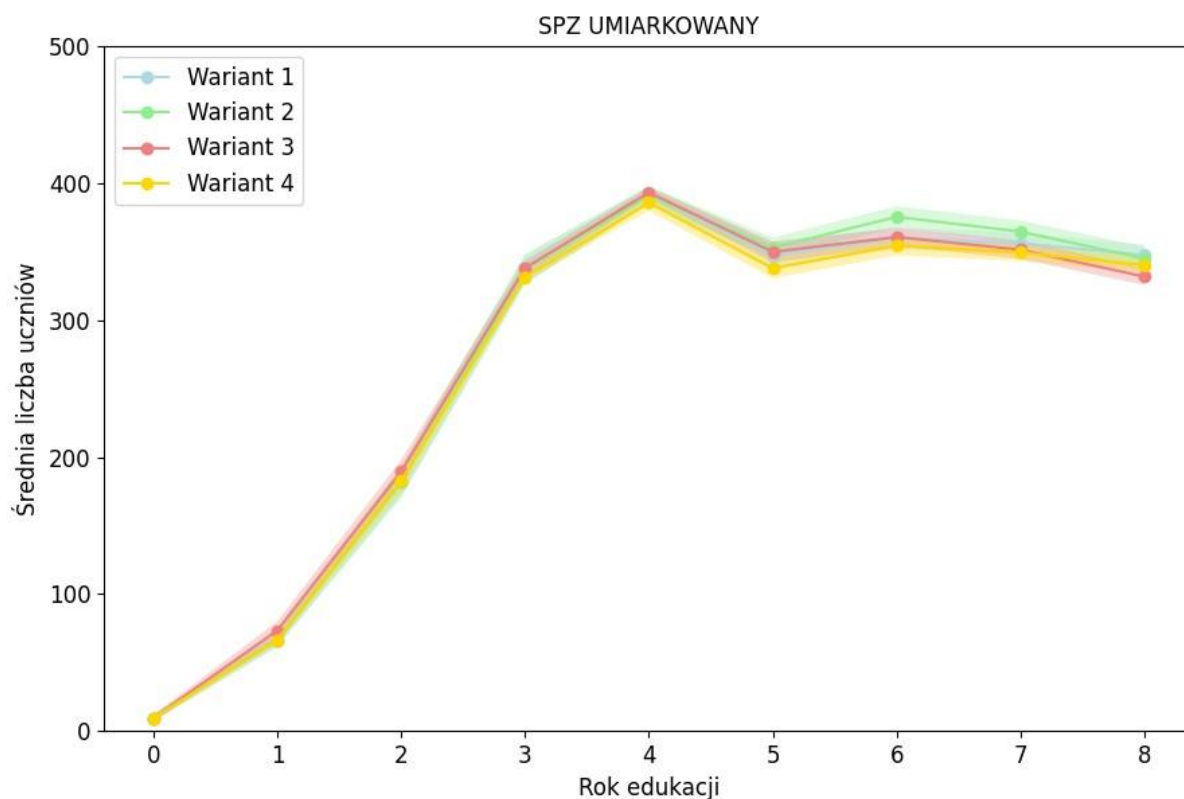
W scenariuszu I nie są zauważalne znaczące różnice pomiędzy wynikami osiąganymi w poszczególnych wariantach dla średniej liczby uczniów z SPZ dobrym (Rysunek 29), umiarkowanym (Rysunek 30) i złym (Rysunek 31) podczas całego okresu edukacji.

Tabela 26: Wyniki czterech wariantów przeprowadzonych w ramach scenariusza I. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym, umiarkowanym i złym na zakończenie edukacji określona na podstawie 10 powtórzeń oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. Wartość procentowa informuje o tym, ile spośród 500 uczniów osiągnęło określony stan na zakończenie edukacji w szkole podstawowej.

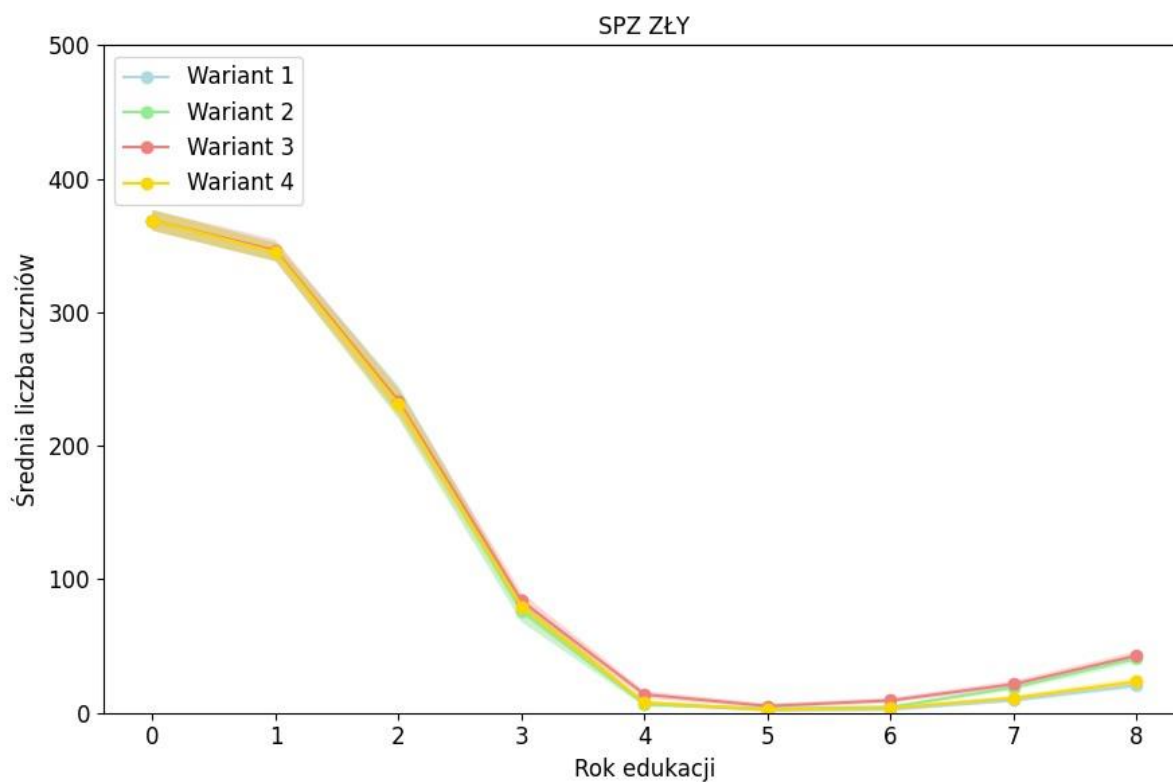
Wariant	Charakterystyka	SPZ dobry		SPZ umiarkowany		SPZ zły	
1	bazowa skuteczność	132 ( $\pm 7,89$ )	26,4%	347,3 ( $\pm 7,71$ )	69,46%	20,7 ( $\pm 2,59$ )	4,14%
2	zmodyfikowana skuteczność	114,5 ( $\pm 8,14$ )	22,9%	344,8 ( $\pm 8,6$ )	68,96%	40,7 ( $\pm 3,42$ )	8,14%
3	mniej grupowych pogadank	125,5 ( $\pm 6,6$ )	25,1%	331,6 ( $\pm 6,14$ )	66,32%	42,9 ( $\pm 3,26$ )	8,58%
4	dodatkowe indywidualne pogadanki	136,7 ( $\pm 6,37$ )	27,34%	339,9 ( $\pm 5,42$ )	67,98%	23,4 ( $\pm 3,11$ )	4,68%



Rysunek 29: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza I. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.



Rysunek 30: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza I. Średnia liczba uczniów z SPZ umiarkowanym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.



Rysunek 31: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza I. Średnia liczba uczniów z SPZ złym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.

Dla uzyskanych wyników przeprowadzono testy t-Studenta dla dwóch średnich w celu porównania wyników osiągniętych w poszczególnych wariantach. Analizę przeprowadzono na podstawie 10 obserwacji, z których każda reprezentowała średni wynik uzyskany w jednym powtórzeniu symulacyjnym obejmującym grupę 500 uczniów. Na średnią liczbę uczniów kończących szkołę z SPZ dobrym może istotnie wpływać modyfikacja skuteczności świadczeń, która miała miejsce w wariancie 2 (Tabela 27). Mniejsza liczba pogadań edukacyjnych – wariant 3 oraz dodatkowe indywidualne pogadanki prowadzone przez lekarza stomatologa – wariant 4 nie wykazują istotnego statystycznego wpływu na średnią liczbę uczniów kończących szkołę z SPZ dobrym. Rozpatrując różnice w średnich liczbach uczniów kończących szkołę z SPZ umiarkowanym, istotna statystycznie różnica została wykazana pomiędzy wariantami 1 i 3, gdzie uczniowie mieli zapewnianych mniej grupowych pogadań z pielęgniarką (Tabela 28). Natomiast, jeżeli chodzi o średnią liczbę uczniów kończących szkołę z SPZ złym, to zarówno dla wariantu 2 i 3 wykazano istotną statystycznie różnicę w porównaniu do wariantu 1 (Tabela 29). Porównując wariant 1 z wariantem 4 dla SPZ dobrego, złego i umiarkowanego, nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic dla tych wariantów. Zatem przy PPPZ o kompleksowej strukturze takiej, jak w scenariuszu I, z punktu widzenia średniej liczby uczniów kończących szkołę z danym SPZ może nie mieć znaczenia prowadzenie przez lekarzy dodatkowych indywidualnych pogadań. A powoduje, że lekarze muszą pracować więcej, aby takie indywidualne pogadanki uczniom zapewnić.

Tabela 27: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ dobrym na zakończenie edukacji w wariantach 2,3 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu I za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję, a  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

SPZ DOBRY								
porównanie wariantów 1 i 2			porównanie wariantów 1 i 3			porównanie wariantów 1 i 4		
	wariant 1	wariant 2		wariant 1	wariant 3		wariant 1	wariant 4
$x$	132	114,5	$x$	132	125,5	$x$	132	136,7
$s^2$	121,78	129,61	$s^2$	121,78	85,17	$s^2$	121,78	79,34
	$t_{(18)} = 3,49$ ( $p = 0,003$ )			$t_{(18)} = 1,43$ ( $p = 0,17$ )			$t_{(18)} = -0,05$ ( $p = 0,31$ )	
	<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b>nie istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b>nie istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami	

Tabela 28: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ umiarkowanym na zakończenie edukacji w wariantach 2,3 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu I za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję, a  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

SPZ UMIARKOWANY								
porównanie wariantów 1 i 2		porównanie wariantów 1 i 3			porównanie wariantów 1 i 4			
	wariant 1	wariant 2	wariant 1	wariant 3	wariant 1	wariant 4		
$x$	347,3	344,8	$x$	347,3	331,6	$x$	347,3	339,9
$s^2$	116,23	144,4	$s^2$	116,23	73,6	$s^2$	116,23	57,43
	$t_{(18)} = 0,49$ ( $p = 0,63$ )		$t_{(18)} = 3,6$ ( $p = 0,002$ )			$t_{(18)} = 1,78$ ( $p = 0,09$ )		
<b>nie istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b>nie istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami		

Tabela 29: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ złym na zakończenie edukacji w wariantach 2,3 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu I za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję, a  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

SPZ ZŁY								
porównanie wariantów 1 i 2		porównanie wariantów 1 i 3			porównanie wariantów 1 i 4			
	wariant 1	Wariant 2	wariant 1	wariant 3	wariant 1	wariant 4		
$x$	20,7	40,7	$x$	20,7	42,9	$x$	20,7	23,4
$s^2$	13,12	22,9	$s^2$	13,12	20,77	$s^2$	13,12	18,93
	$t_{(18)} = -10,54$ ( $p < 0,05$ )		$t_{(18)} = -12,06$ ( $p < 0,05$ )			$t_{(18)} = -1,51$ ( $p = 0,15$ )		
<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b>nie istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami		

## Czas pracy specjalistów

### Personel lekarski

Analiza czasu pracy personelu medycznego polegała na obserwowaniu faktycznej ilości czasu pracy, jaką ten personel musi przeznaczyć na zapewnienie PPPZ w scenariuszu I, dla grupy 500 uczniów w trakcie kolejnych lat ich edukacji w szkole podstawowej. Przedstawione zostały średnie wyniki dla 10 powtórzeń symulacyjnych wraz z 95% przedziałami ufności. Czas pracy analizowano w godzinach przypadających na kolejne lata edukacji uczniów. Celem takiej

analizy było zbadanie ile czasu musi przeznaczyć personel lekarski, żeby dana grupa uczniów osiągnęła założone wyniki zdrowotne podczas edukacji w szkole na skutek zapewnianego PPPZ.

Założenia co do pracy personelu lekarskiego w ramach PPPZ w wariantach 1, 2 i 3 nie zmieniają się. W wariacie 4 personel lekarski ma możliwość przeprowadzania dodatkowych indywidualnych pogadań, co prowadzi do zwiększenia ich czasu pracy w każdym roku edukacji uczniów w porównaniu do czasu pracy zaobserwowanego w wariacie 1 (Tabela 30). Największa różnica w czasie pracy lekarza pomiędzy wariantami 1 i 4 miała miejsce w ciągu trzech pierwszych lat edukacji uczniów. Wiązało to się z faktem, że na początku edukacji uczniowie mieli lakowane zęby. Ponadto liczba uczniów z SPZ złym, czyli takich do których te indywidualne pogadanki były kierowane, malała wraz z kolejnymi latami edukacji uczniów. Zatem w wariacie 1, w pierwszym roku edukacji badanej grupy uczniów czas pracy lekarza wynosił średnio 826,82 ( $\pm 5,83$ ) godzin, a w wariacie 4 wynosił 860,9 ( $\pm 5,69$ ) godzin. W drugim roku dla wariantu 1 i 4, kolejno: 206,07 ( $\pm 1,75$ ), 235,32 ( $\pm 2,15$ ). W trzecim roku było to 194,34 ( $\pm 0,66$ ) w wariacie 1 oraz 203,63 ( $\pm 1,27$ ) w wariacie 4. W pozostałych latach, różnica w czasie pracy lekarza była znacznie mniejsza.

Tabela 30: Czas pracy personelu lekarskiego jaki musi zostać przeznaczony na zapewnienie grupie 500 uczniów PPPZ założonego w wariantach 1 i 4 w scenariuszu I: średnia  $\pm 95\%$  przedział ufności.

Wariant	Rok edukacji							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	826,82 ( $\pm 5,83$ )	206,07 ( $\pm 1,75$ )	194,34 ( $\pm 0,66$ )	195,01 ( $\pm 0,93$ )	194,88 ( $\pm 0,64$ )	194,27 ( $\pm 0,62$ )	194,42 ( $\pm 0,47$ )	194,67 ( $\pm 0,56$ )
4	860,9 ( $\pm 5,69$ )	235,32 ( $\pm 2,15$ )	203,63 ( $\pm 1,27$ )	195,7 ( $\pm 0,92$ )	194,29 ( $\pm 1,39$ )	194,83 ( $\pm 0,86$ )	194,4 ( $\pm 0,91$ )	195,77 ( $\pm 1,17$ )

Dodatkowe indywidualne pogadanki mogły odbyć się jeżeli w momencie przeglądu u lekarza dentysty uczniowie mieli SPZ zły. Wówczas szansa, że dany uczeń będzie mieć indywidualną pogadankę po przeglądzie wynosiła 60%. W pierwszym roku edukacji, personel lekarski przeprowadził najwięcej pogadań średnio 412 ( $\pm 6,79$ ) razy. Natomiast w piątym roku edukacji uczniów w ogóle nie prowadził takich pogadań (Tabela 31).

W Tabeli 32 przedstawiono wyniki dla przeprowadzonych testów t-Studenta, które posłużyły do porównania czasu pracy personelu lekarskiego pomiędzy wariantem 1 a wariantem 4 w każdym roku edukacji uczniów. Procedura testowa została przeprowadzona zgodnie z podejściem opisanym podczas analizy średnich wyników SPZ uzyskanych przez

uczniów na zakończenie edukacji we wszystkich wariantach realizowanych w ramach scenariusza I.

Tabela 31: Średnia liczba zrealizowanych przez personel lekarski dodatkowych indywidualnych pogadań edukacyjnych dla wybranych uczniów spośród badanej grupy 500 uczniów, w każdym roku ich edukacji w szkole podstawowej (wariant 4, scenariusz I).

	Rok edukacji							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Średnia liczba dodatkowych indywidualnych pogadań	412 (±6,79)	344,9 (±9,01)	115 (±6,14)	14,3 (±3,59)	0	2,9 (±1,28)	4,7 (±1,58)	12,3 (±3,02)

Tabela 32: Porównanie średnich czasów pracy personelu lekarskiego w kolejnych latach edukacji, badanej grupy 500 uczniów, w szkole podstawowej w wariantach 1 i 4 w scenariuszu I za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję,  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

Rok edukacji	Wariant	$x$	$s^2$	Test T	Interpretacja
1	1	826,82	66,34	$t_{(18)} = -9,47$ ( $p < 0,05$ )	Są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b>różne</b> .
	4	860,9	63,23		
2	1	206,07	5,96	$t_{(18)} = -23,93$ ( $p < 0,05$ )	
	4	235,32	8,99		
3	1	194,34	0,84	$t_{(18)} = -14,76$ ( $p < 0,05$ )	
	4	203,63	3,12		
4	1	195,01	1,7	$t_{(18)} = -1,2$ ( $p = 0,25$ )	
	4	195,7	1,63		
5	1	194,88	0,82	$t_{(18)} = 0,87$ ( $p = 0,4$ )	
	4	194,29	3,77		
6	1	194,27	0,76	$t_{(18)} = -1,19$ ( $p = 0,25$ )	Nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b>równe</b> .
	4	194,83	1,44		
7	1	194,42	0,44	$t_{(18)} = 0,05$ ( $p = 0,96$ )	
	4	194,4	1,6		
8	1	194,67	0,6	$t_{(18)} = -1,92$ ( $p = 0,07$ )	
	4	195,77	2,69		

### Personel pielęgniarski

Analiza czasu pracy personelu pielęgniarskiego była prowadzona w taki sam sposób, jak analiza czasu pracy personelu lekarskiego. Założenia co do pracy personelu pielęgniarskiego w PPPZ realizowanym w ramach scenariusza I, w wariantach 1, 2 i 4 nie zmieniają się. W wariacie 3 odbywało się mniej grupowych pogadank (Tabela 33). Wiązało to się ze zmniejszeniem czasu pracy personelu pielęgniarskiego (Tabela 34).

W wariacie 1, w każdym roku, badana grupa uczniów, miała zapewnionych 50 grupowych pogadank. Natomiast w wariacie 3 uczniowie w czwartym roku edukacji uczestniczyli średnio w najmniejszej liczbie grupowych pogadank, wynoszącej 34,2 ( $\pm 2,71$ ), podczas gdy w piątym roku liczba ta wzrosła do średnio 37,8 ( $\pm 3,05$ ). To przekładało się na różny nakład czasu pracy personelu pielęgniarskiego niezbędny do zapewnienia PPPZ tej grupie uczniów. Utrzymywanie stałej liczby 50 grupowych pogadank edukacyjnych wymagało od personelu pielęgniarskiego średnio około 74-75 godzin pracy rocznie od pierwszego do szóstego roku edukacji uczniów oraz około 94 godzin w siódmym i ósmym roku. Z kolei mniejsza liczba pogadank obniżała średni roczny czas pracy personelu do około 63-66 godzin w latach od pierwszego do szóstego oraz do około 82-83 godzin w siódmym i ósmym roku edukacji.

Tabela 33: Średnia liczba zrealizowanych przez personel pielęgniarski grupowych pogadank w wariacie 3 dla badanej grupy 500 uczniów, podczas każdego roku ich edukacji w szkole podstawowej.

	Rok edukacji							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Grupowe pogadanki	35 ( $\pm 3,37$ )	36,5 ( $\pm 2,87$ )	36,1 ( $\pm 1,45$ )	34,2 ( $\pm 2,71$ )	37,8 ( $\pm 3,05$ )	36,4 ( $\pm 2,29$ )	37,1 ( $\pm 2,73$ )	37,5 ( $\pm 2,72$ )

Tabela 34: Czas pracy personelu pielęgniarskiego jaki musi zostać przeznaczony na zapewnienie grupie 500 uczniów PPPZ założonego w wariantach 1 i 3 w scenariuszu I: średnia  $\pm 95\%$  przedział ufności.

Wariant	Rok edukacji							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	74,93 ( $\pm 0,3$ )	75,33 ( $\pm 0,32$ )	74,64 ( $\pm 0,36$ )	75,16 ( $\pm 0,33$ )	75,16 ( $\pm 0,31$ )	74,61 ( $\pm 0,37$ )	94 ( $\pm 0,7$ )	93,51 ( $\pm 0,48$ )
3	64 ( $\pm 2,58$ )	64,75 ( $\pm 2,42$ )	64,43 ( $\pm 1,29$ )	63,23 ( $\pm 2$ )	65,85 ( $\pm 2,53$ )	65,23 ( $\pm 1,68$ )	82,13 ( $\pm 2,88$ )	82,64 ( $\pm 3,18$ )

W Tabeli 35 przedstawiono wyniki przeprowadzonych testów t-Studenta, które zostały wykorzystane do porównania średniego czasu pracy personelu pielęgniarskiego w każdym roku edukacji uczniów, uzyskanego w wariacie 1 i wariacie 3, zgodnie z wcześniej opisaną procedurą testową. Analiza wyników testów statystycznych wskazuje na istotne różnice



w średnim czasie pracy personelu pielęgniarskiego pomiędzy analizowanymi wariantami w każdym roku edukacji uczniów.

Tabela 35: Porównanie średnich czasów pracy personelu pielęgniarskiego w kolejnych latach edukacji badanej grupy 500 uczniów w wariantach 1 i 3 w scenariuszu I za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję,  $t_{(9)}$  oznacza wynik testu dla dziewięciu stopni swobody, natomiast  $t_{(10)}$  oznacza wynik testu dla dziesięciu stopni swobody.

Rok edukacji	Wariant	$x$	$s^2$	Test T	Interpretacja
1	1	74,93	0,18	$t_{(9)} = 9,54$ ( $p < 0,05$ )	Są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 3 są <b><u>różne</u></b> .
	3	64	12,93		
2	1	75,33	0,2	$t_{(9)} = 9,8$ ( $p < 0,05$ )	
	3	64,75	11,45		
3	1	74,64	0,25	$t_{(10)} = 17,2$ ( $p < 0,05$ )	
	3	64,43	3,27		
4	1	75,16	0,22	$t_{(9)} = 13,27$ ( $p < 0,05$ )	
	3	63,23	7,86		
5	1	75,16	0,18	$t_{(9)} = 8,24$ ( $p < 0,05$ )	
	3	65,85	12,56		
6	1	74,61	0,27	$t_{(10)} = 12,33$ ( $p < 0,05$ )	
	3	65,23	5,52		
7	1	94	0,95	$t_{(10)} = 9,07$ ( $p < 0,05$ )	
	3	82,13	16,17		
8	1	93,51	0,45	$t_{(9)} = 7,65$ ( $p < 0,05$ )	
	3	82,64	19,7		

## Podsumowanie

Podsumowując, analiza PPPZ o kompleksowej strukturze, założonej w scenariuszu I, wykazała, że wyniki zdrowotne osiągnięte przez badaną grupę uczniów były bardzo dobre i zbliżone do siebie we wszystkich badanych wariantach. Wprowadzone modyfikacje w wariantach 2 i 3 nie wpłynęły na czas pracy personelu medycznego, natomiast zmiany w wariantach 1 i 4 skutkowały zmniejszeniem czasu pracy personelu pielęgniarskiego, a w wariantach 2 i 4 – zwiększeniem czasu pracy personelu lekarskiego. Z przeprowadzonej analizy

wynika, że w scenariuszu I dodatkowe indywidualne pogadanki nie miały istotnego wpływu na poprawę stanu zdrowia jamy ustnej uczniów. Podobnie, zmniejszenie liczby pogadań grupowych nie przyczyniło się do znacznego pogorszenia wyników zdrowotnych.

#### 4.4. Porównanie wariantów w scenariuszu II

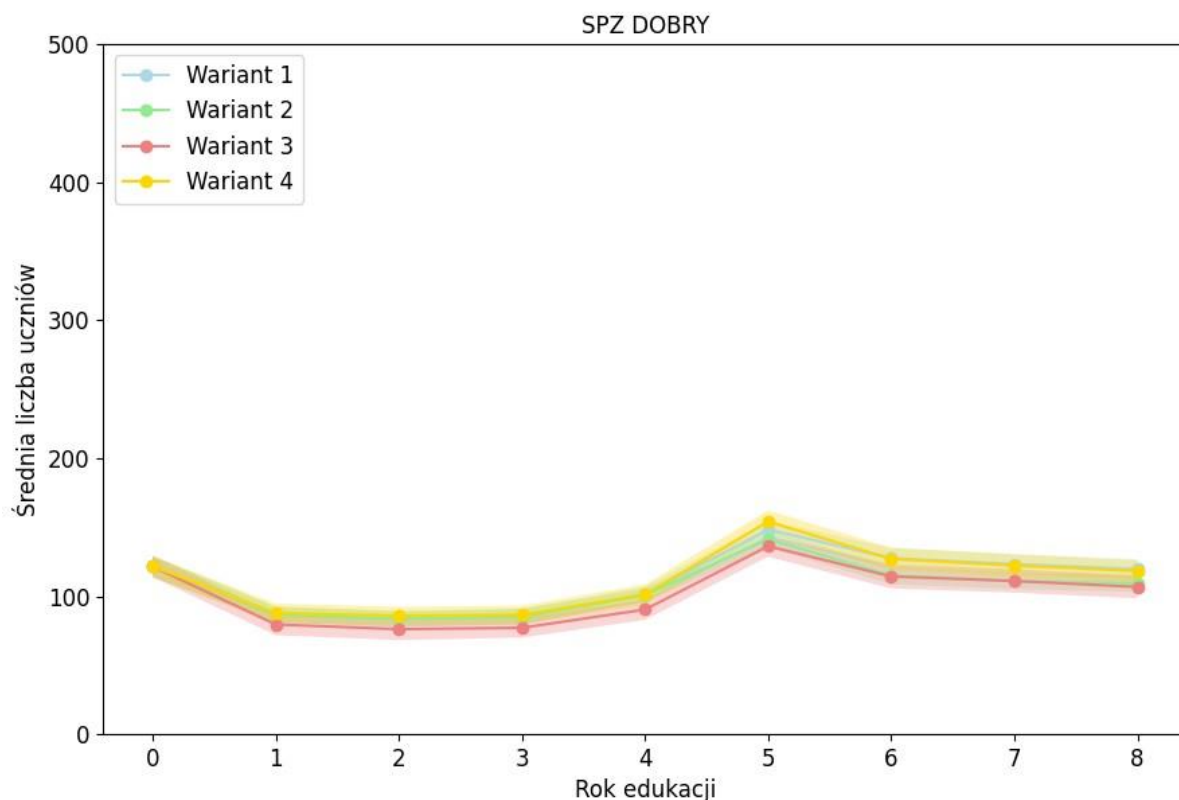
##### Stan Próchnicy Zębów

Struktura PPPZ przyjęta w scenariuszu II obejmowała fluoryzację, grupową edukację, przegląd oraz lakowanie szóstek. Wpływ implementacji PPPZ na wyniki został przebadany w czterech wariantach (*patrz Tabela 18*). Najlepsze wyniki zdrowotne osiągnięto w wariacie 1, w którym założono bazową skuteczność – średnio 24% uczniów kończyło szkołę z dobrym SPZ, a jedynie średnio 14% uczniów ze złym SPZ (Tabela 36). Natomiast najgorsze pod względem zdrowotnym wyniki osiągnięto w wariacie 3, w którym było mniej grupowych pogadań. Przy mniejszej liczbie grupowych pogadań średnio 21% uczniów kończyło szkołę z SPZ dobrym, natomiast średnio 22% uczniów z SPZ złym. Zauważalne jest, że w wariacie 2 i wariacie 3 odpowiednio średnio 22% i 21% uczniów kończyło szkołę z wynikiem SPZ dobrym, co wskazuje na niewielką różnicę między nimi. Jednak analiza średniej liczby uczniów kończących szkołę z wynikiem SPZ umiarkowanym i złym dla tych wariantów pokazuje, że w wariacie 2 uzyskano lepsze rezultaty niż w wariacie 3.

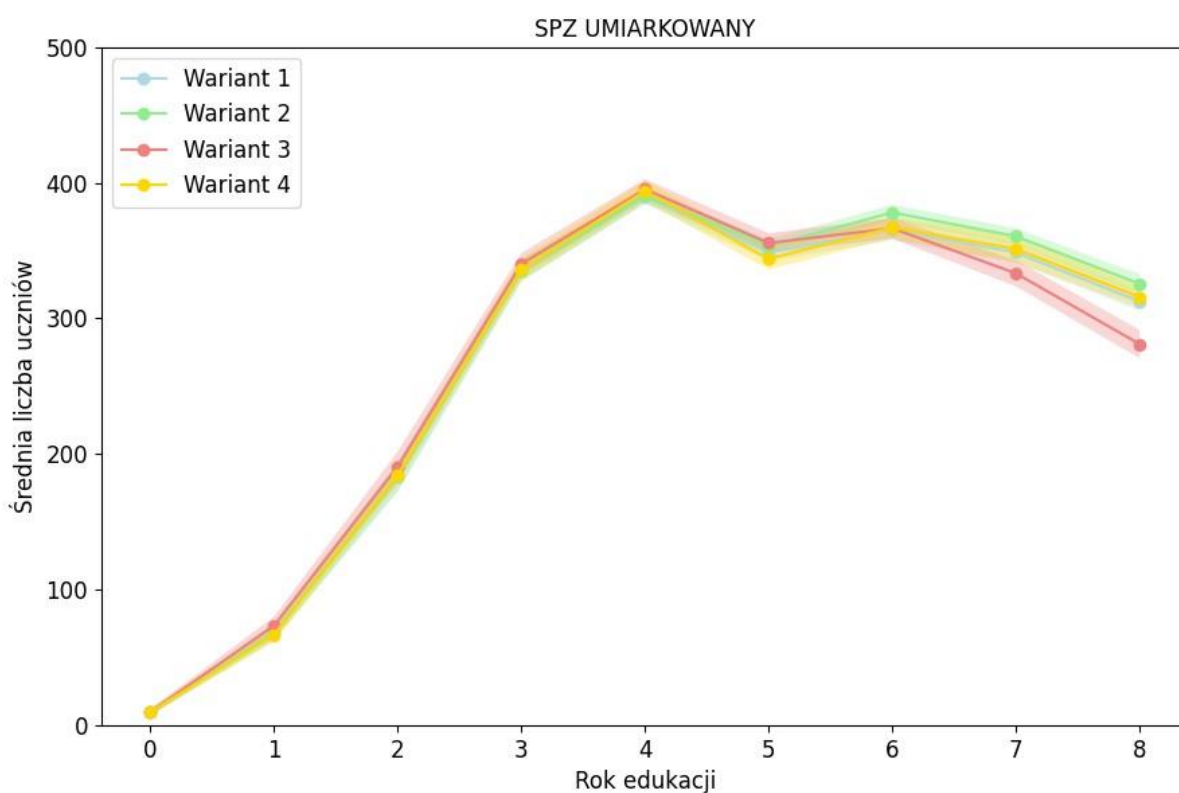
Tabela 36: Wyniki czterech wariantów przeprowadzonych w ramach scenariusza II. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym, umiarkowanym i złym na zakończenie edukacji określona na podstawie 10 powtórzeń oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. Wartość procentowa informuje o tym, ile spośród 500 uczniów osiągnęło określony stan na zakończenie edukacji w szkole podstawowej.

Wariant	Charakterystyka	SPZ dobry		SPZ umiarkowany		SPZ zły	
1	bazowa skuteczność	119,6 (±7,2)	23,92%	312,6 (±7,11)	62,52 %	67,8 (±6,23)	13,56 %
2	zmodyfikowana skuteczność	109,3 (±6,09)	21,86%	325,6 (±7,11)	65,12 %	65,1 (±5,25)	13,02 %
3	mniej grupowych pogadań	106,7 (±8,18)	21,34%	281,1 (±10,45)	56,22 %	112,2 (±7,4)	22,44 %
4	dodatkowe indywidualne pogadanki	118,2 (±7,76)	23,64%	315,8 (±7,74)	63,16%	66 (±4,1)	13,20%

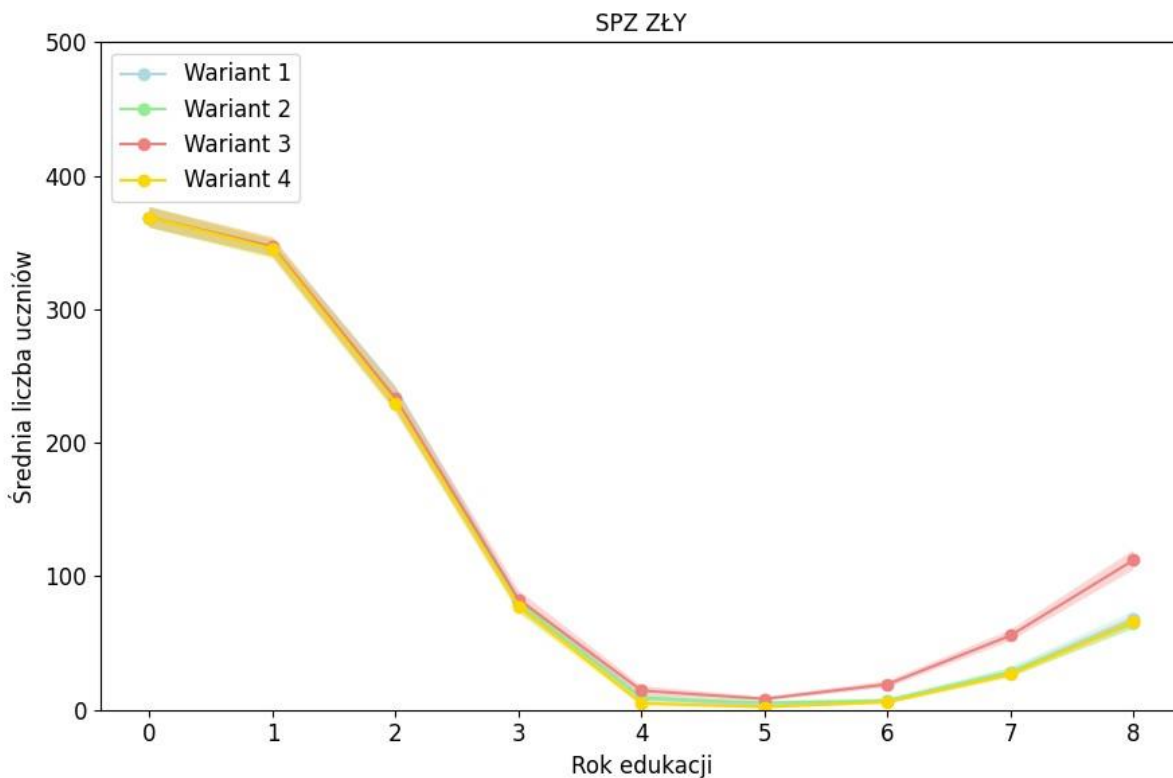
Na Rysunkach 32-34 przedstawiono wpływ PPPZ zaplanowanego w ramach scenariusza II na kształtowanie się średniej liczby uczniów z wynikami SPZ dobrym, umiarkowanym i złym w ciągu całego okresu ich edukacji podstawowej.



Rysunek 32: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza II. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.



Rysunek 33: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza II. Średnia liczba uczniów z SPZ umiarkowanym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.



Rysunek 34: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza II. Średnia liczba uczniów z SPZ złym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.

Dane na wykresie pokazują, że średnia liczba uczniów z wynikiem SPZ dobrym jest bardzo zbliżona we wszystkich wariantach (Rysunek 32). W przypadku SPZ umiarkowanego, wyniki wariantu 3 do piątego roku edukacji kształtują się zgodnie z trendem obserwowanym w pozostałych wariantach. Pomiędzy piątym a szóstym rokiem wzrost średniej liczby uczniów z SPZ umiarkowanym jest niższy niż w innych wariantach, a od szóstego roku edukacji ta średnia liczba zaczyna maleć (Rysunek 33). Ten spadek wiąże się ze wzrostem średniej liczby uczniów z SPZ złym, która od szóstego roku edukacji uczniów jest wyższa w wariantcie 3 niż w pozostałych wariantach (Rysunek 34).

Dla uzyskanych wyników przeprowadzono testy t-Studenta zgodnie z procedurą stosowaną podczas analizy wyników uzyskanych w scenariuszu I. W Tabelach 36-38 przedstawiono czy różnice średnich pomiędzy wariantami są istotne statystycznie.

Na podstawie uzyskanych wyników zauważono, że różnice w średnich liczbach uczniów na zakończenie edukacji w szkole podstawowej z wynikami SPZ dobrym, umiarkowanym i złym pomiędzy wariantami 1 i 4 nie są istotne statystycznie. Z tego wynika, że wprowadzenie dodatkowych indywidualnych pogadarek, jeśli PPPZ zakłada świadczenia takie, jak

w scenariuszu II (fluoryzacja, grupowa edukacja, przegląd oraz lakowanie szóstek), nie ma istotnego wpływu na osiągnięte wyniki zdrowotne.

Tabela 37: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ dobrym na zakończenie edukacji w wariantach 2,3 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu II za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję, a  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

SPZ DOBRY								
porównanie wariantów 1 i 2			porównanie wariantów 1 i 3			porównanie wariantów 1 i 4		
	wariant 1	wariant 2		wariant 1	wariant 3		wariant 1	wariant 4
$x$	119,6	109,3	$x$	119,6	106,7	$x$	119,6	118,2
$s^2$	101,38	72,46	$s^2$	101,38	130,9	$s^2$	101,38	117,73
	$t_{(18)} = 2,47$ ( $p = 0,02$ )			$t_{(18)} = 2,68$ ( $p = 0,02$ )			$t_{(18)} = 0,3$ ( $p = 0,77$ )	
	<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b>nie istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami	

Tabela 38: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ umiarkowanym na zakończenie edukacji w wariantach 2,3 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu II za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję, a  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

SPZ UMIARKOWANY								
porównanie wariantów 1 i 2			porównanie wariantów 1 i 3			porównanie wariantów 1 i 4		
	wariant 1	wariant 2		wariant 1	wariant 3		wariant 1	wariant 4
$x$	312,6	325,6	$x$	312,6	281,1	$x$	312,6	315,8
$s^2$	98,71	98,71	$s^2$	98,71	213,21	$s^2$	98,71	117,07
	$t_{(18)} = -2,93$ ( $p = 0,01$ )			$t_{(18)} = 5,46$ ( $p < 0,05$ )			$t_{(18)} = -0,69$ ( $p = 0,5$ )	
	<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b>nie istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami	

Tabela 39: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ złym na zakończenie edukacji w wariantach 2,3 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu II za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję, a  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

SPZ ZŁY								
porównanie wariantów 1 i 2		porównanie wariantów 1 i 3		porównanie wariantów 1 i 4				
war. 1	war. 2	war. 1	war. 3	war. 1	war. 4			
$x$	67,8	65,1	$x$	67,8	112,2	$x$	67,8	66
$s^2$	75,75	53,88	$s^2$	75,75	107,07	$s^2$	75,73	32,89
$t_{(18)} = 0,75$ ( $p = 0,46$ )		$t_{(18)} = -10,38$ ( $p < 0,05$ )		$t_{(18)} = 0,55$ ( $p = 0,59$ )				
<b>nie istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami		<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami		<b>nie istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami				

W wariancie 2 i wariancie 3, średnia liczba uczniów kończących szkołę z SPZ dobrym jest niższa niż w wariancie 1. Ta różnica jest statystycznie istotna dla obu porównywanych przypadków (Tabela 37). Przy rozpatrywaniu średniej liczby uczniów, którzy kończą szkołę z SPZ umiarkowanym, można zauważyć, że w wariancie 2 i wariancie 3 wyniki te są wyższe niż w wariancie 1. Różnica ta jest również statystycznie istotna (Tabela 38). W kontekście średniej liczby uczniów kończących szkołę z SPZ złym, w wariancie 2 modyfikacja skuteczności świadczeń nie ma znaczącego wpływu na ostateczne rezultaty (Tabela 39). Z kolei w wariancie 3, zmniejszenie liczby grupowych pogadek skutkuje znaczącym wzrostem średniej liczby uczniów kończących szkołę podstawową z SPZ złym.

## Czas pracy specjalistów

### Personel lekarski

Czas pracy personelu lekarskiego w scenariuszu II analizowano w wariancie 1 i wariancie 4. W wariancie 4 personel lekarski pracował średnio o około 38 godzin więcej niż w wariancie 1 w pierwszym roku edukacji badanej grupy (Tabela 40). W kolejnych latach różnica w godzinach pracy między tymi wariantami stopniowo zmniejszała się aż do szóstego roku edukacji uczniów, a następnie zaczęła wzrastać. W ósmym roku, różnica w czasie pracy między wariantami 1 i 4 wynosiła około czterech godzin

Tabela 40: Czas pracy personelu lekarskiego jaki musi zostać przeznaczony na zapewnienie grupie 500 uczniów PPPZ założonego w wariantach 1 i 4 w scenariuszu II: średnia  $\pm 95\%$  przedział ufności.

Wariant	Rok edukacji							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	505,46 ( $\pm 3,93$ )	194,98 ( $\pm 0,64$ )	195,54 ( $\pm 1,52$ )	194,31 ( $\pm 0,69$ )	194,64 ( $\pm 1,42$ )	194,36 ( $\pm 0,77$ )	194,71 ( $\pm 1,05$ )	194,27 ( $\pm 0,73$ )
4	542,78 ( $\pm 4,15$ )	223,33 ( $\pm 2,12$ )	204,38 ( $\pm 1,4$ )	195,87 ( $\pm 0,84$ )	194,54 ( $\pm 1,14$ )	194,5 ( $\pm 0,95$ )	195,36 ( $\pm 0,53$ )	197,09 ( $\pm 0,68$ )

W ramach wariantu 4, zgodnie z przyjętymi założeniami, personel lekarski przeprowadzał dodatkowe indywidualne pogadanki. W pierwszym roku edukacji, dla badanej grupy uczniów, odnotowano najwyższą liczbę takich pogadań – średnio 423,8 ( $\pm 12,29$ ). Natomiast w piątym roku edukacji uczniów w ogóle nie prowadził takich pogadań (Tabela 41).

Tabela 41: Średnia liczba zrealizowanych przez personel lekarski dodatkowych indywidualnych pogadań edukacyjnych dla wybranych uczniów, spośród badanej grupy 500 uczniów, podczas każdego roku ich edukacji w szkole podstawowej (wariant 4, scenariusz II).

	Rok edukacji							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Średnia liczba dodatkowych indywidualnych pogadań	423,8 ( $\pm 12,29$ )	342,9 ( $\pm 16,49$ )	118,3 ( $\pm 7,8$ )	15,6 ( $\pm 4,5$ )	0	2,7 ( $\pm 1,01$ )	6,7 ( $\pm 2,08$ )	30,2 ( $\pm 3,01$ )

W Tabeli 42 zaprezentowano wyniki testów t-Studenta, które były wykorzystane do porównania średniego czasu pracy personelu lekarskiego w każdym roku edukacji uczniów. Analiza ta dotyczyła wariantu 1, gdzie uczniowie nie mieli zapewnionych dodatkowych pogadań, oraz wariantu 4, gdzie te pogadanki się odbywały. Wykazano, że istnieje statystycznie istotna różnica w średnim czasie pracy personelu lekarskiego między wariantami 1 i 4 dla lat edukacji uczniów od pierwszego do czwartego, a także w ósmym roku. Natomiast w latach edukacji od piątego do siódmego nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic między tymi średnimi.

### Personel pielęgniarski

W scenariuszu II nie przeprowadzono analizy czasu pracy personelu pielęgniarskiego (*patrz Tabela 22*), gdyż zakres świadczeń realizowanych przez ten personel nie różnił się w porównaniu do wcześniejszych analiz.

Tabela 42: Porównanie średnich czasów pracy personelu lekarskiego w kolejnych latach edukacji, badanej grupy 500 uczniów w wariantach 1 i 4 w scenariuszu II za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję,  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

Rok edukacji	Wariant	$x$	$s^2$	Test T	Interpretacja																																																								
1	1	505,46	30,22	$t_{(18)} = -14,77$ ( $p < 0,05$ )	Są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b><u>różne.</u></b>																																																								
	4	542,78	33,68			2	1	194,98	0,81	$t_{(18)} = -28,88$ ( $p < 0,05$ )	4	223,33	8,81	3	1	195,54	4,48	$t_{(18)} = -9,69$ ( $p < 0,05$ )	4	204,38	3,84	4	1	194,31	0,94	$t_{(18)} = -3,25$ ( $p < 0,05$ )	4	195,87	1,37	5	1	194,64	3,94	$t_{(18)} = 0,12$ ( $p = 0,91$ )	4	194,54	2,55	6	1	194,36	1,15	$t_{(18)} = -0,26$ ( $p = 0,8$ )	Nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b><u>równe.</u></b>	4	194,5	1,77	7	1	194,71	2,15	$t_{(18)} = -1,27$ ( $p = 0,23$ )	4	195,36	0,54	8	1	194,27	1,03	$t_{(18)} = -6,4$ ( $p < 0,05$ )	Są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b><u>różne.</u></b>	4
2	1	194,98	0,81	$t_{(18)} = -28,88$ ( $p < 0,05$ )																																																									
	4	223,33	8,81			3	1	195,54	4,48	$t_{(18)} = -9,69$ ( $p < 0,05$ )	4	204,38	3,84	4	1	194,31	0,94	$t_{(18)} = -3,25$ ( $p < 0,05$ )	4	195,87	1,37	5	1	194,64	3,94	$t_{(18)} = 0,12$ ( $p = 0,91$ )	4	194,54	2,55	6	1	194,36	1,15	$t_{(18)} = -0,26$ ( $p = 0,8$ )	Nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b><u>równe.</u></b>	4	194,5	1,77	7	1	194,71	2,15		$t_{(18)} = -1,27$ ( $p = 0,23$ )	4	195,36	0,54	8	1	194,27	1,03	$t_{(18)} = -6,4$ ( $p < 0,05$ )	Są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b><u>różne.</u></b>	4	197,09	0,91					
3	1	195,54	4,48	$t_{(18)} = -9,69$ ( $p < 0,05$ )																																																									
	4	204,38	3,84			4	1	194,31	0,94	$t_{(18)} = -3,25$ ( $p < 0,05$ )	4	195,87	1,37	5	1	194,64	3,94	$t_{(18)} = 0,12$ ( $p = 0,91$ )	4	194,54	2,55	6	1	194,36	1,15	$t_{(18)} = -0,26$ ( $p = 0,8$ )	Nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b><u>równe.</u></b>	4	194,5	1,77	7	1	194,71	2,15		$t_{(18)} = -1,27$ ( $p = 0,23$ )	4	195,36	0,54	8	1	194,27	1,03	$t_{(18)} = -6,4$ ( $p < 0,05$ )	Są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b><u>różne.</u></b>	4	197,09	0,91													
4	1	194,31	0,94	$t_{(18)} = -3,25$ ( $p < 0,05$ )																																																									
	4	195,87	1,37			5	1	194,64	3,94	$t_{(18)} = 0,12$ ( $p = 0,91$ )	4	194,54	2,55	6	1	194,36	1,15	$t_{(18)} = -0,26$ ( $p = 0,8$ )	Nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b><u>równe.</u></b>	4	194,5	1,77	7	1	194,71	2,15		$t_{(18)} = -1,27$ ( $p = 0,23$ )	4	195,36	0,54	8	1	194,27	1,03	$t_{(18)} = -6,4$ ( $p < 0,05$ )	Są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b><u>różne.</u></b>	4	197,09	0,91																					
5	1	194,64	3,94	$t_{(18)} = 0,12$ ( $p = 0,91$ )																																																									
	4	194,54	2,55		6	1	194,36	1,15	$t_{(18)} = -0,26$ ( $p = 0,8$ )	Nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b><u>równe.</u></b>	4	194,5	1,77	7	1	194,71	2,15	$t_{(18)} = -1,27$ ( $p = 0,23$ )		4	195,36	0,54	8	1	194,27	1,03	$t_{(18)} = -6,4$ ( $p < 0,05$ )	Są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b><u>różne.</u></b>	4	197,09	0,91																														
6	1	194,36	1,15	$t_{(18)} = -0,26$ ( $p = 0,8$ )		Nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b><u>równe.</u></b>																																																							
	4	194,5	1,77		7		1	194,71	2,15		$t_{(18)} = -1,27$ ( $p = 0,23$ )	4	195,36	0,54	8	1	194,27	1,03	$t_{(18)} = -6,4$ ( $p < 0,05$ )	Są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b><u>różne.</u></b>	4	197,09	0,91																																						
7	1	194,71	2,15	$t_{(18)} = -1,27$ ( $p = 0,23$ )																																																									
	4	195,36	0,54		8		1	194,27	1,03	$t_{(18)} = -6,4$ ( $p < 0,05$ )	Są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b><u>różne.</u></b>	4	197,09	0,91																																															
8	1	194,27	1,03	$t_{(18)} = -6,4$ ( $p < 0,05$ )		Są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej. Na poziomie istotności 0,05 średnie uzyskane w wariantach 1 i 4 są <b><u>różne.</u></b>																																																							
	4	197,09	0,91																																																										

## Podsumowanie

Wyniki analizy PPPZ w scenariuszu II wskazują, że gdyby wdrożono program o takiej właśnie strukturze, to zmniejszenie liczby grupowych pogadanek w wariancie 3 wpłynęłoby na wzrost średniej liczby uczniów kończących szkołę z SPZ (stanem profilaktycznym zębów) złym, w porównaniu do innych wariantów. W innych wariantach średnia liczba uczniów kończących edukację z SPZ złym utrzymuje się na podobnym poziomie. Jednak zauważalne są większe różnice w średniej liczbie uczniów kończących szkołę z SPZ dobrym, szczególnie gdy zmodyfikowano skuteczność w wariancie 2 oraz przy zmniejszonej liczbie grupowych



pogadank – obserwuje się spadek liczby uczniów kończących z SPZ dobrym. Dodatkowe indywidualne pogadanki nie mają znaczącego wpływu na zwiększenie średniej liczby uczniów kończących z SPZ dobrym ani na zmniejszenie liczby uczniów kończących z SPZ złym. Z analizy scenariusza II wynika, że zmniejszenie liczby grupowych pogadank edukacyjnych może mieć wpływ na wyniki zdrowotne uczniów na końcu edukacji w szkole podstawowej. W związku z tym, w ramach takiego programu istotne jest zwrócenie szczególnej uwagi na przestrzeganie planu grupowych pogadank edukacyjnych dla uczniów. Choć pominięcie niektórych z nich może przyczynić się do skrócenia czasu pracy personelu pielęgniarskiego, warto rozważyć, czy taka oszczędność czasu jest korzystna w świetle pogorszenia wyników zdrowotnych u uczniów.

#### 4.5. Porównanie wariantów w scenariuszu III

##### Stan Próchnicy Zębów

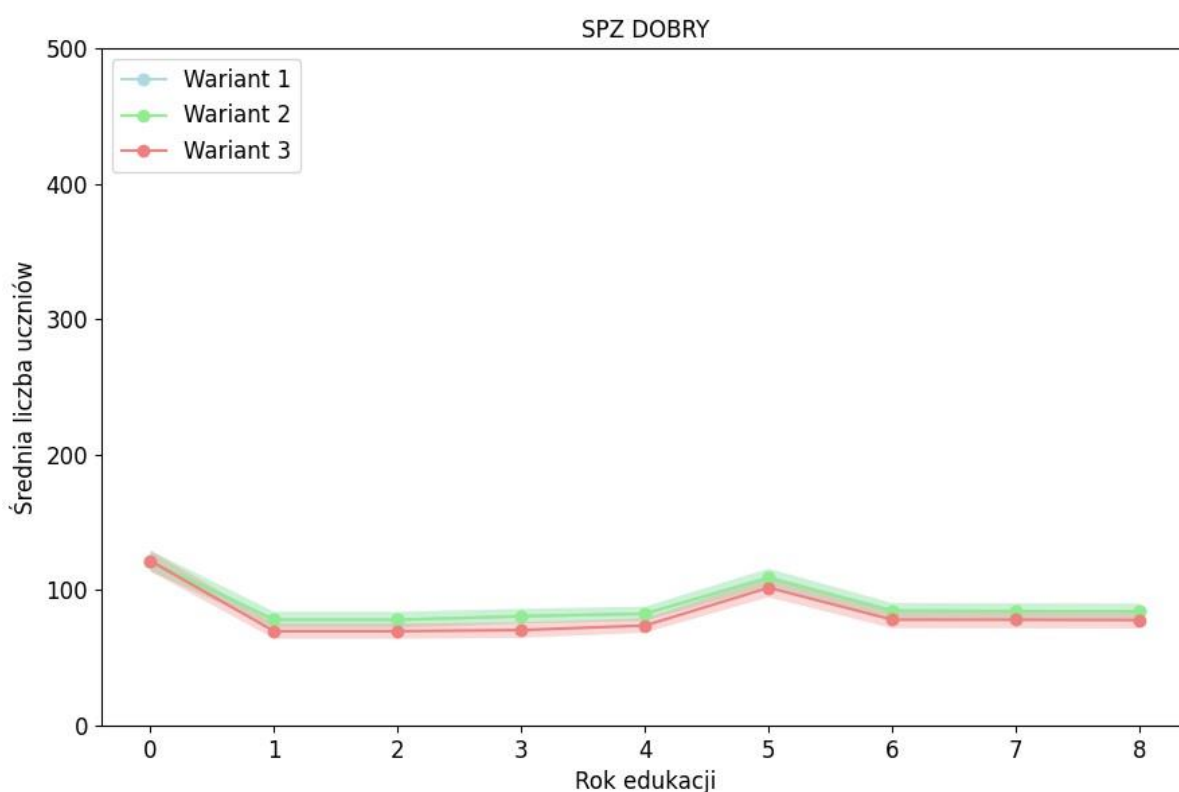
W ramach scenariusza III przyjęto, że PPPZ obejmuje świadczenia takie, jak: fluoryzacja oraz grupowa edukacja realizowane tylko przez personel pielęgniarski. Efekty realizacji PPPZ o takiej strukturze analizowano w wariantach 1, 2 oraz 3 (*patrz Tabela 18*). Najmniej uczniów kończyło szkołę z SPZ złym w wariacie 2, co stanowiło średnio 23% uczniów, a najwięcej – średnio 47% uczniów – w wariacie 3 (Tabela 43).

Tabela 43: Wyniki trzech wariantów przeprowadzonych w ramach scenariusza III. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym, umiarkowanym i złym na zakończenie edukacji określona na podstawie 10 powtórzeń oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. Wartość procentowa informuje o tym, ile spośród 500 uczniów osiągnęło określony stan na zakończenie edukacji w szkole podstawowej.

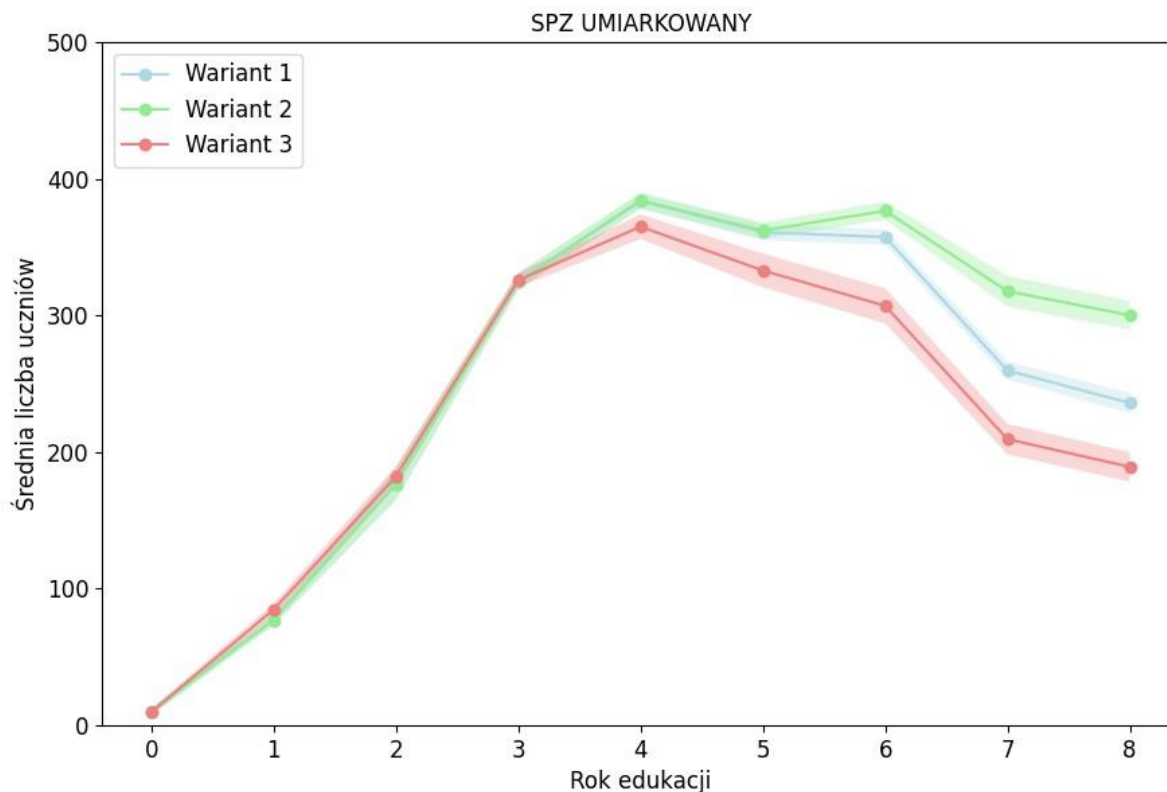
Wariant	Charakterystyka	SPZ dobry		SPZ umiarkowany		SPZ zły	
1	bazowa skuteczność	84,2 (±5,6)	16,84%	236 (±7,4)	47,2%	179,8 (±5,78)	35,96%
2	zmodyfikowana skuteczność	84,4 (±5,85)	16,88%	300,3 (±10,53)	60,06%	115,3 (±6,41)	23,06%
3	mniej grupowych pogadank	77,9 (±6,33)	15,58%	189,2 (±10,81)	37,84%	232,9 (±9,47)	46,58%

We wszystkich wariantach średnia liczba uczniów kończących szkołę z SPZ dobrym była zbliżona, wynosząca od średnio 16% uczniów w wariacie 3 do średnio 17% uczniów kolejno w wariacie 1 i wariacie 2. To sugeruje, że w przypadku zakładania w ramach PPPZ jedynie grupowej fluoryzacji nadzorowanej i edukacji w zakresie zdrowia i higieny jamy ustnej, istotną rolę odgrywa liczba prowadzonych pogadank. Ich ograniczenie wpływa na znaczący wzrost liczby uczniów kończących szkołę z SPZ złym.

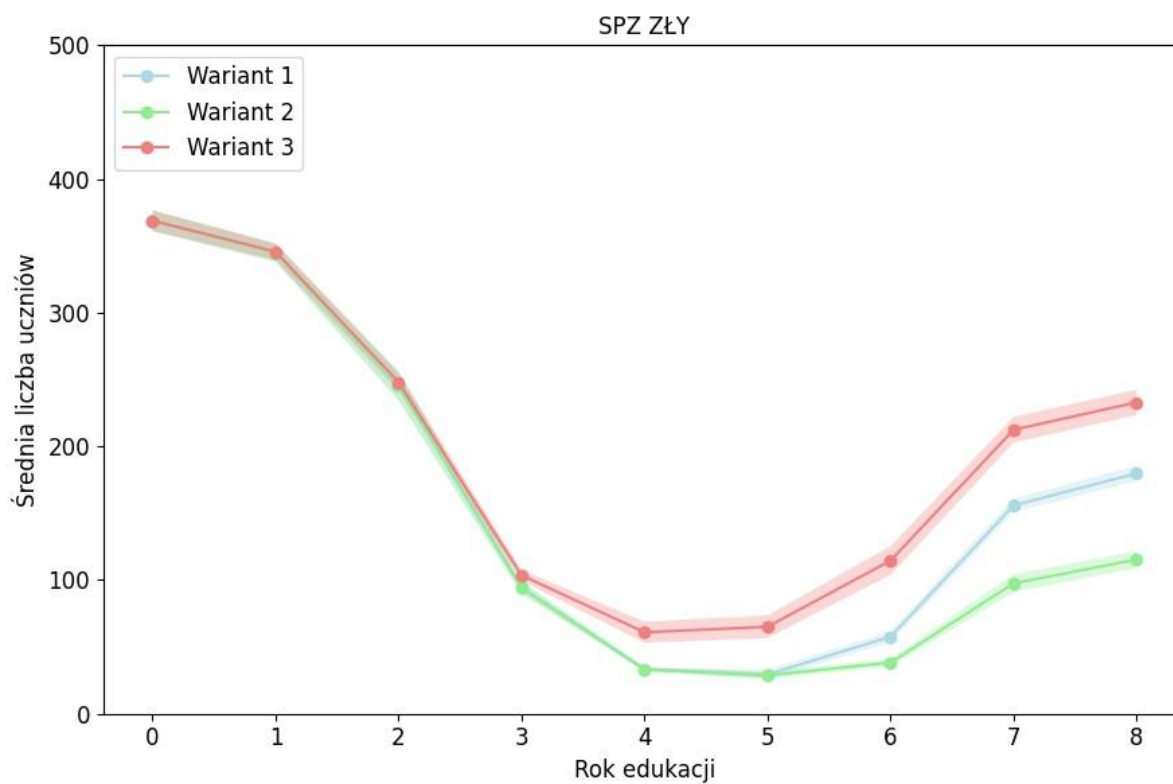
Na Rysunkach 35-37 przedstawiono zmiany w średniej liczbie badanej grupy uczniów z SPZ dobrym, umiarkowanym i złym w trakcie edukacji w szkole podstawowej. Analiza wykazała, że średnia liczba uczniów kończących szkołę z SPZ dobrym wykazuje analogiczne trendy we wszystkich badanych wariantach, a uzyskane wyniki jedynie nieznacznie się od siebie różnią (Rysunek 35). Do trzeciego roku edukacji nie zaobserwowano istotnych różnic w średniej liczbie uczniów z SPZ umiarkowanym (Rysunek 36). Jednak począwszy od czwartego roku, zaczynają się pojawiać zauważalne różnice w zależności od wariantu. Najwyższą średnią liczbę uczniów z SPZ umiarkowanym odnotowano w wariancie 2, następnie w wariancie 1, a najniższą w wariancie 3. Na wykresie odnoszącym się do SPZ złego, widoczne jest, że ograniczenie liczby pogadanek w wariancie 3 skutkuje wyższą średnią liczbą uczniów kończących szkołę z tym wynikiem, w porównaniu do wariantów 1 i 2 (Rysunek 37). Przy czym najmniej uczniów z SPZ złym kończyło szkołę w wariancie 2.



Rysunek 35: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza III. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.



Rysunek 36: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza III. Średnia liczba uczniów z SPZ umiarkowanym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.



Rysunek 37: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza III. Średnia liczba uczniów z SPZ złym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.

Dla uzyskanych wyników przeprowadzono testy t-Studenta, aby zweryfikować czy różnice średnich pomiędzy wariantami są istotne statystycznie (Tabele 44-46).

Tabela 44: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ dobrym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 3 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu III za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję, a  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

SPZ DOBRY					
porównanie wariantów 1 i 2			porównanie wariantów 1 i 3		
	wariant 1	wariant 2		wariant 1	wariant 3
$x$	84,2	84,4	$x$	84,2	77,9
$s^2$	61,29	66,93	$s^2$	61,29	78,32
	$t_{(18)} = -0,06$ ( $p = 0,96$ )			$t_{(18)} = 1,69$ ( $p = 0,11$ )	
	<b>nie istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b>nie istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami	

Tabela 45: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ umiarkowanym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 3 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu III za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję, a  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

SPZ UMIARKOWANY					
porównanie wariantów 1 i 2			porównanie wariantów 1 i 3		
	wariant 1	wariant 2		wariant 1	wariant 3
$x$	236	300,3	$x$	236	189,2
$s^2$	106,89	216,68	$s^2$	106,89	228,18
	$t_{(18)} = -11,3$ ( $p < 0,05$ )			$t_{(18)} = 8,09$ ( $p < 0,05$ )	
	<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami	

Tabela 46: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ złym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 3 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu III za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję, a  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

SPZ ZŁY				
porównanie wariantów 1 i 2			porównanie wariantów 1 i 3	
	wariant 1	wariant 2		wariant 3
$x$	179,8	115,3	$x$	232,9
$s^2$	65,29	80,23	$s^2$	175,43
	$t_{(18)} = 16,91$ ( $p < 0,05$ )			$t_{(18)} = -10,83$ ( $p < 0,05$ )
	<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami

W scenariuszu III uczniowie mieli zapewniany PPPZ realizowany tylko przez personel pielęgniarski. Można zauważyć, że jeżeli uczniowie mają zapewnianą fluoryzację oraz grupową edukację, niezależnie od wariantu różnice w średnich SPZ dobrych na zakończenie edukacji nie różnią się od siebie w sposób istotny statystycznie (Tabela 44). Różnice w średnich liczbach uczniów kończących szkołę z SPZ umiarkowanym i złym, zarówno pomiędzy wariantem 1 i 2 oraz 1 i 3 są istotne statystycznie. Najwięcej uczniów ukończyło szkołę z SPZ umiarkowanym w wariacie 2, następnie w wariacie 1 i w wariacie 3 (Tabela 45).

W analizowanym scenariuszu, wariant 1 wyróżniał się najkorzystniejszymi rezultatami pod względem najmniejszej liczby uczniów kończących szkołę z SPZ złym, w porównaniu z pozostałymi wariantami (Tabela 46). Następnie można wskazać wariant 1 i na końcu wariant 3.

### Podsumowanie

W scenariuszu III założono, że PPPZ jest zapewniany uczniom tylko przez personel pielęgniarski. Przy takiej strukturze świadczeń wyraźnie widać wpływ modyfikacji wprowadzonych w wariacie 2 i wariacie 3 na wyniki zdrowotne u uczniów. Choć średnia liczba uczniów kończących szkołę z SPZ dobrym utrzymuje się na zbliżonym poziomie w analizowanych wariantach, to w przypadku uczniów kończących szkołę z SPZ złym można zaobserwować znaczne rozbieżności pomiędzy wariantami. Podobne różnice zauważa się także w przypadku uczniów kończących szkołę z SPZ umiarkowanym. Modyfikacja skuteczności

świadczeń, przy założeniu ich większej skuteczności od 10. roku życia, wpłynęła na obniżenie średniej liczby uczniów kończących szkołę z SPZ złym. Zwiększenie skuteczności może wynikać z różnych czynników, w tym z lepszej zdolności starszych dzieci do koncentracji i przyswajania wiedzy, a także z zaangażowania i sposobu prowadzenia grupowych pogadań przez personel pielęgniarski. Wnioskuje się zatem, że w ramach PPPZ obejmującego takie świadczenia, jak fluoryzacja i grupowa edukacja ważne jest, aby personel pielęgniarski był zmotywowany i skutecznie docierał do uczniów, wpływając na kształtowanie u nich lepszych nawyków dietetycznych i higienicznych. W tym scenariuszu duże znaczenie ma ograniczenie liczby grupowych pogadań edukacyjnych. Ich zmniejszenie w wariantcie 3 prowadzi do prawie dwukrotnego wzrostu liczby uczniów kończących szkołę z SPZ złym w zestawieniu z wariantem 2.

#### 4.6. Porównanie wariantów w scenariuszu IV

##### Stan Próchnicy Zębów

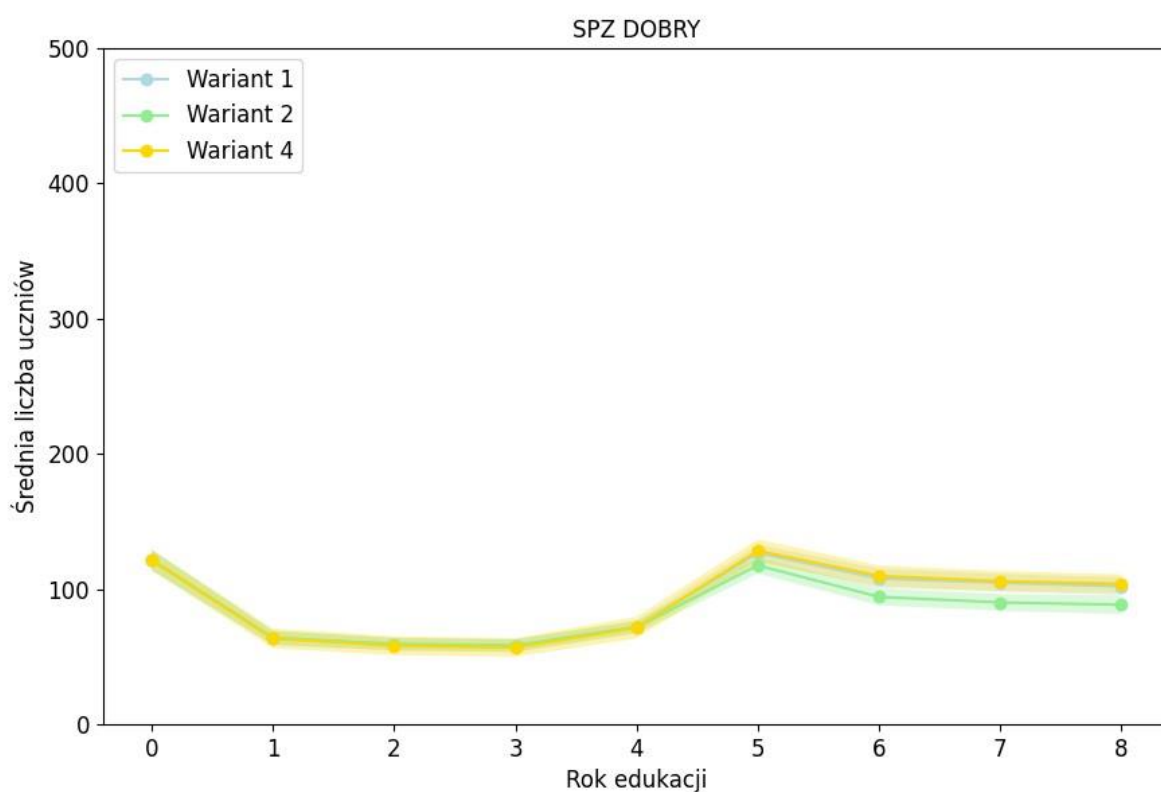
Struktura PPPZ przyjęta w scenariuszu IV zakładała realizację takich świadczeń, jak: przegląd, lakowanie szóstek oraz lakowanie siódemek. W ramach tego scenariusza przeanalizowano wyniki dla trzech wariantów: 1, 2 oraz 4 (*patrz Tabela 18*). W wariantach 1 i 4 osiągnięto zdecydowanie lepsze wyniki zdrowotne dla badanej grupy uczniów niż w wariantcie 2 (Tabela 47). W wariantcie 2 szkołę podstawową kończyło średnio 18% uczniów z SPZ dobrym, średnio 34% uczniów z SPZ umiarkowanym i średnio 49% uczniów z SPZ złym. W wariantcie 1 było to kolejno, średnio 20%, 48% i 32% uczniów z SPZ dobrym, umiarkowanym i złym. W wariantcie 4 wyniki zdrowotne były nieznacznie gorsze niż w wariantcie 1. Kolejno, średnio 21%, 50% i 30% uczniów kończyło szkołę z SPZ dobrym, umiarkowanym i złym.

Tabela 47: Wyniki trzech wariantów przeprowadzonych w ramach scenariusza IV. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym, umiarkowanym i złym na zakończenie edukacji, określona na podstawie 10 powtórzeń oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. Wartość procentowa informuje o tym, ile spośród 500 uczniów osiągnęło określony stan na zakończenie edukacji w szkole podstawowej.

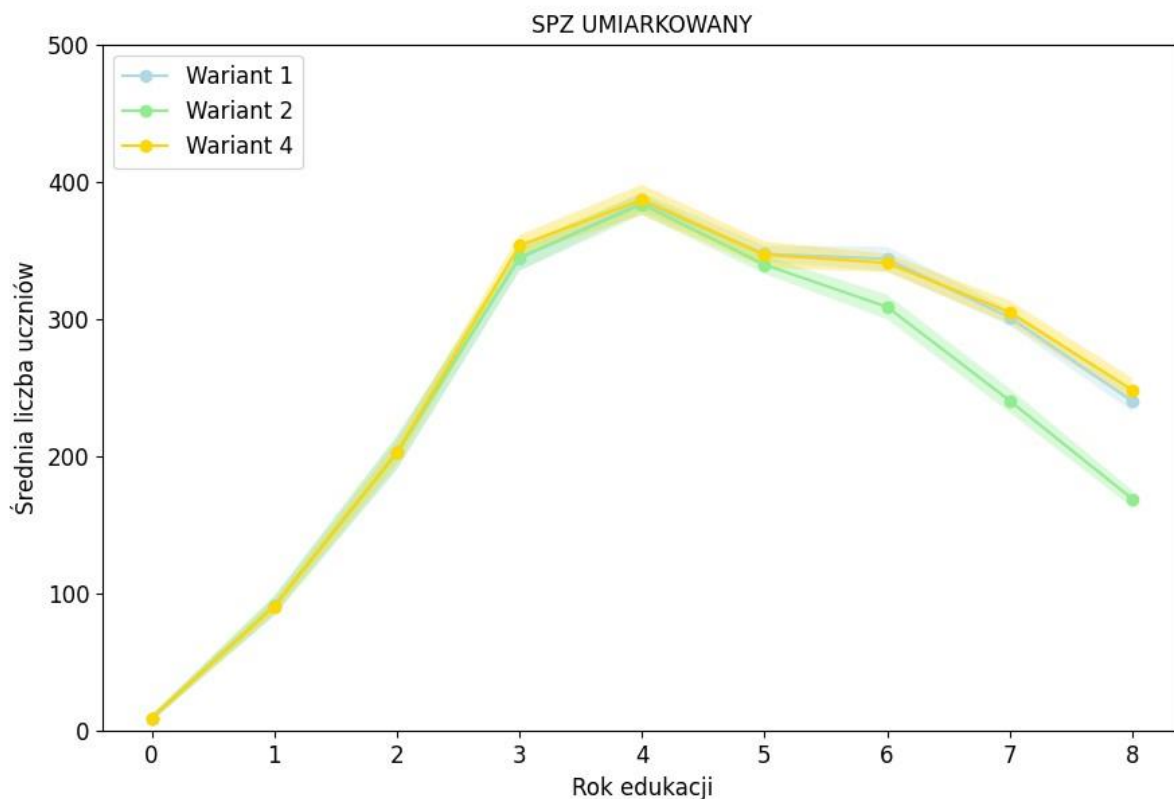
Wariant	Charakterystyka	SPZ dobry	SPZ umiarkowany	SPZ zły
1	bazowa skuteczność	101,9 (±6,57) 20,38%	240,2 (±7,52) 48,04%	157,9 (±7,14) 31,58%
2	zmodyfikowana skuteczność	88,3 (±6,93) 17,66%	169,1 (±6,17) 33,82%	242,6 (±7,28) 48,52%
4	dodatkowe indywidualne pogadanki	103,8 (±7,03) 20,76%	248,4 (±8,68) 49,68%	147,8 (±7,62) 29,56%

Można zauważyć, że średnia liczba uczniów z SPZ dobrym mocno spada w pierwszym roku edukacji, następnie utrzymuje się na podobnym poziomie do trzeciego roku edukacji, od którego zaczyna rosnąć (Rysunek 38). W piątym roku edukacji uczniów można zaobserwować największą średnią liczbę uczniów z SPZ dobrym, która w następnych latach maleje i znów utrzymuje się na zbliżonym poziomie, jednak jest większa niż od pierwszego do trzeciego roku edukacji. Na wykresach przedstawiających średnią liczbę uczniów z SPZ umiarkowanym (Rysunek 39) i średnią liczbę uczniów z SPZ złym (Rysunek 40) można zauważyć odwrotne trendy.

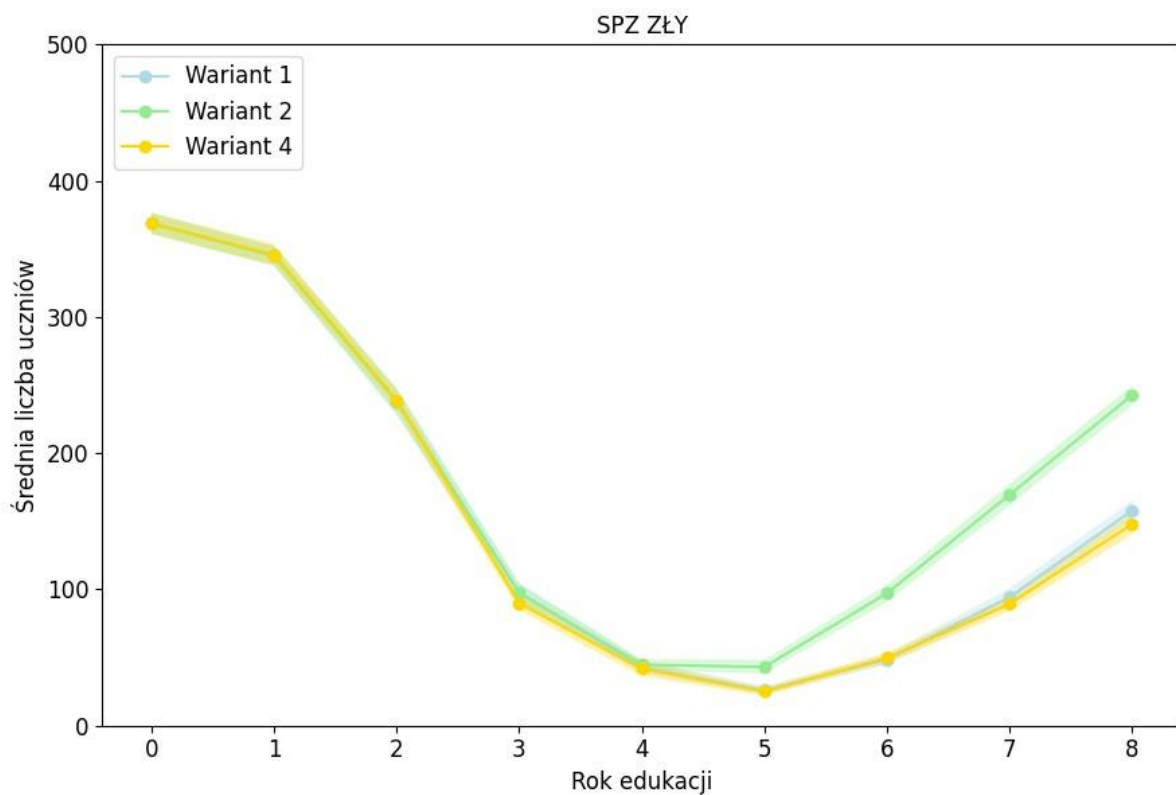
W celu sprawdzenia czy różnice występujące pomiędzy średnimi liczbami uczniów kończącymi szkołę podstawową z danymi stanami SPZ są istotne statystycznie przeprowadzono testy t-Studenta (Tabele 48-50).



Rysunek 38: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza IV. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.



Rysunek 39: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza IV. Średnia liczba uczniów z SPZ umiarkowanym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.



Rysunek 40: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza IV. Średnia liczba uczniów z SPZ złym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.



Tabela 48: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ dobrym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu IV za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję, a  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

SPZ DOBRY					
porównanie wariantów 1 i 2			porównanie wariantów 1 i 4		
	wariant 1	wariant 2		wariant 1	wariant 4
$x$	101,9	88,3	$x$	101,9	103,8
$s^2$	84,32	93,79	$s^2$	84,32	96,62
	$t_{(18)} = 3,22$ ( $p < 0,05$ )			$t_{(18)} = -0,45$ ( $p = 0,66$ )	
	<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b>nie istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami	

Tabela 49: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ umiarkowanym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu IV za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję, a  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

SPZ UMIARKOWANY					
porównanie wariantów 1 i 2			porównanie wariantów 1 i 4		
	wariant 1	wariant 2		wariant 1	wariant 4
$x$	240,2	169,1	$x$	240,2	248,4
$s^2$	110,62	74,32	$s^2$	110,62	147,16
	$t_{(18)} = 16,53$ ( $p < 0,05$ )			$t_{(18)} = -1,62$ ( $p = 0,12$ )	
	<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b>nie istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami	

## Podsumowanie

W kontekście programu PPPZ obejmującego przeglądy, lakowanie szóstek i siódemek, wyniki w wariacie 2, który zakładał zmodyfikowaną skuteczność świadczeń, były wyraźnie gorsze. Skuteczność lakowania zmniejszała się z upływem czasu, co mogło wynikać np. z wykruszania się laku. To przekładało się na sytuację, w której prawie połowa badanych uczniów kończyła szkołę z SPZ złym w wariacie 2. Dodatkowe indywidualne pogadanki edukacyjne nie miały istotnego wpływu na średnią liczbę uczniów kończących szkołę z SPZ

dobrym. Jednak w przypadku średniej liczby uczniów kończących szkołę z SPZ złym, dodatkowe indywidualne pogadanki pozwalały na zmniejszenie tej liczby o około dziesięciu uczniów. W tej sytuacji decydenci powinni rozważyć, czy korzyść związane z mniejszą liczbą uczniów kończących szkołę z SPZ złym rekompensują zwiększony czas pracy personelu lekarskiego wynikający z tych dodatkowych indywidualnych pogadań.

Tabela 50: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ złym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu IV za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję, a  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

<b>SPZ ZŁY</b>				
porównanie wariantów 1 i 2			porównanie wariantów 1 i 4	
	wariant 1	wariant 2		wariant 4
$x$	157,9	242,6	$x$	147,8
$s^2$	99,66	103,6	$s^2$	113,51
	$t_{(18)} = -18,79$ ( $p < 0,05$ )			$t_{(18)} = 2,19$ ( $p < 0,05$ )
	<b><u>istnieje</u></b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b><u>istnieje</u></b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami

#### 4.7. Porównanie wariantów w scenariuszu V

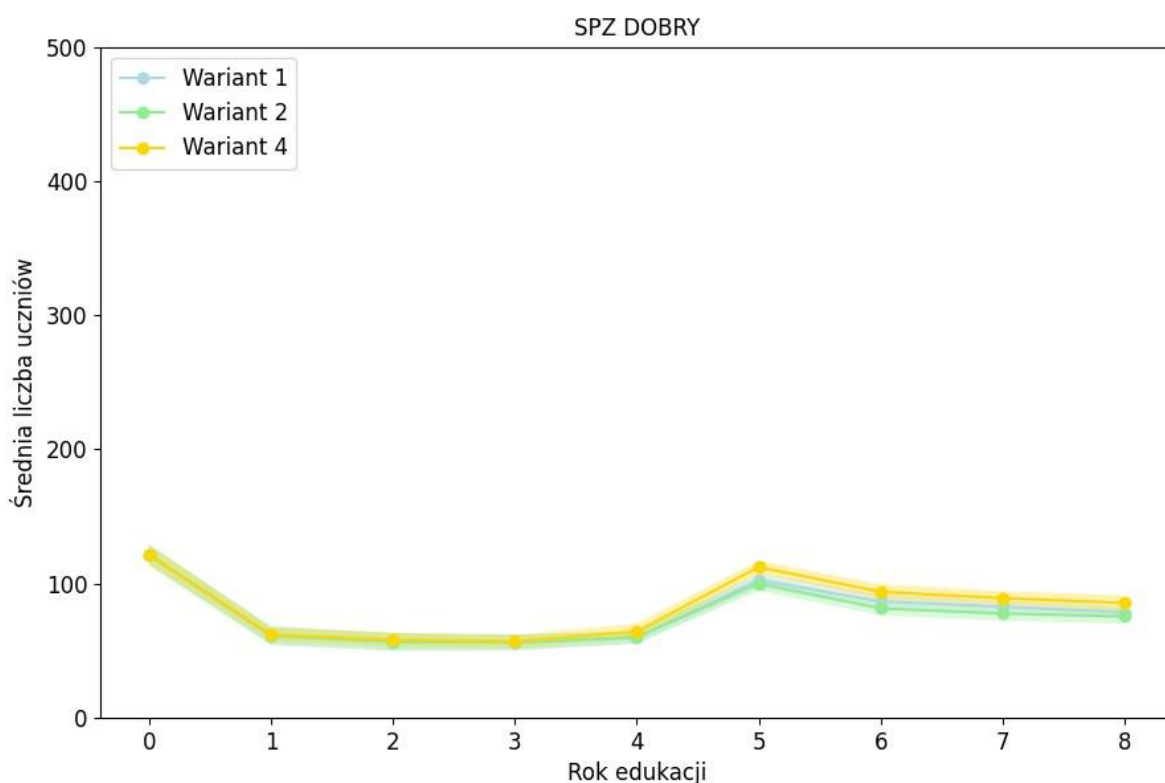
##### Stan Próchnicy Zębów

W ramach scenariusza V przyjęto, że PPPZ obejmuje przegląd oraz lakowanie szóstek. PPPZ o takiej strukturze został przeanalizowany z uwzględnieniem trzech wariantów: 1, 2 oraz 4 (patrz Tabela 18). W wariacie 1 z SPZ dobrym ukończyło szkołę podstawową średnio 16% uczniów, z SPZ umiarkowanym – średnio 22% uczniów, a z SPZ złym – średnio 63% uczniów (Tabela 51). W wariacie 2, było to kolejno średnio 15% z SPZ dobrym oraz średnio 18% i średnio 67% z SPZ umiarkowanym i SPZ złym. Dodatkowe indywidualne pogadanki dla uczniów z SPZ złym w wariacie 4 umożliwiły ukończenie szkoły średnio 17% uczniom z SPZ dobrym, średnio 23% uczniom z SPZ umiarkowanym i średnio 60% uczniów z SPZ złym.

Na Rysunkach 41-43 przedstawiono wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza V.

Tabela 51: Wyniki trzech wariantów przeprowadzonych w ramach scenariusza V. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym, umiarkowanym i złym na zakończenie edukacji określona na podstawie 10 powtórzeń oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. Wartość procentowa informuje o tym, ile spośród 500 uczniów osiągnęło określony stan na zakończenie edukacji w szkole podstawowej.

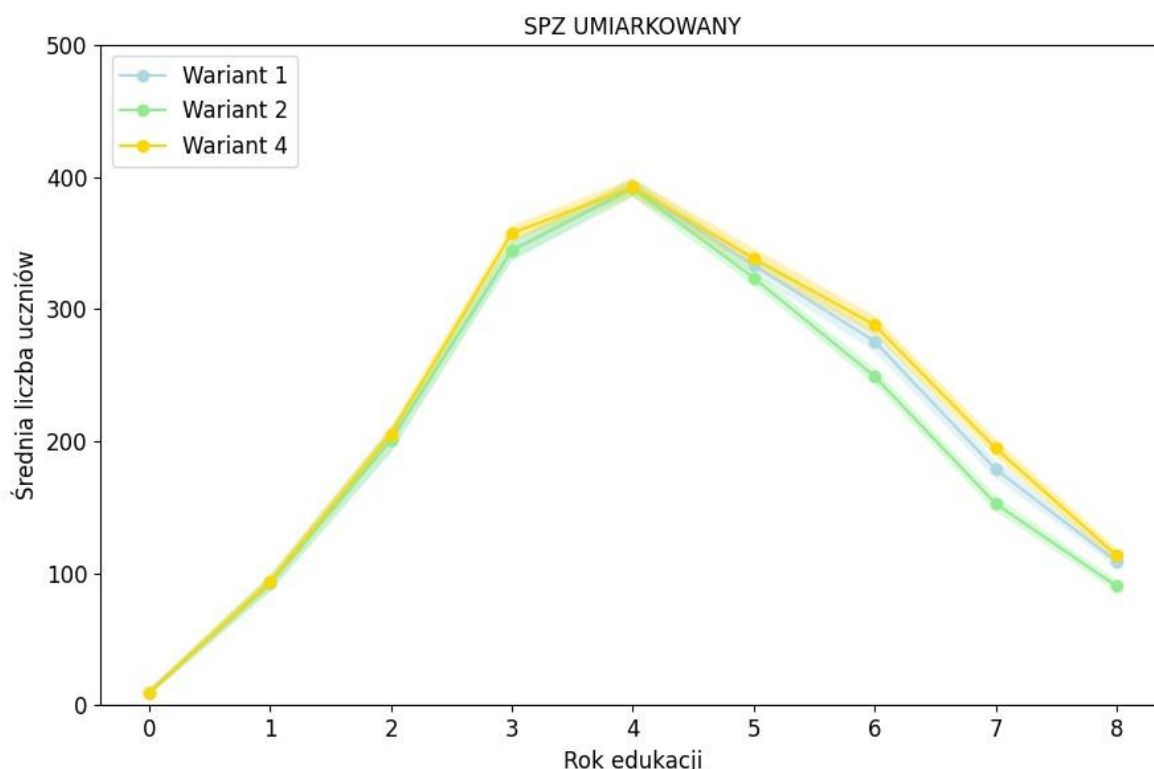
Wariant	Charakterystyka	SPZ dobry		SPZ umiarkowany		SPZ zły	
1	bazowa skuteczność	78,5 (±4,88)	15,7%	108,8 (±4,32)	21,76%	312,7 (±7,25)	62,54%
2	zmodyfikowana skuteczność	75,6 (±5,44)	15,12%	90,3 (±4,25)	18,06%	334,1 (±8,65)	66,82%
4	dodatkowe indywidualne pogadanki	85,6 (±5,66)	17,12%	113,6 (±5,06)	22,72%	300,8 (±5,04)	60,16%



Rysunek 41: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza V. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.

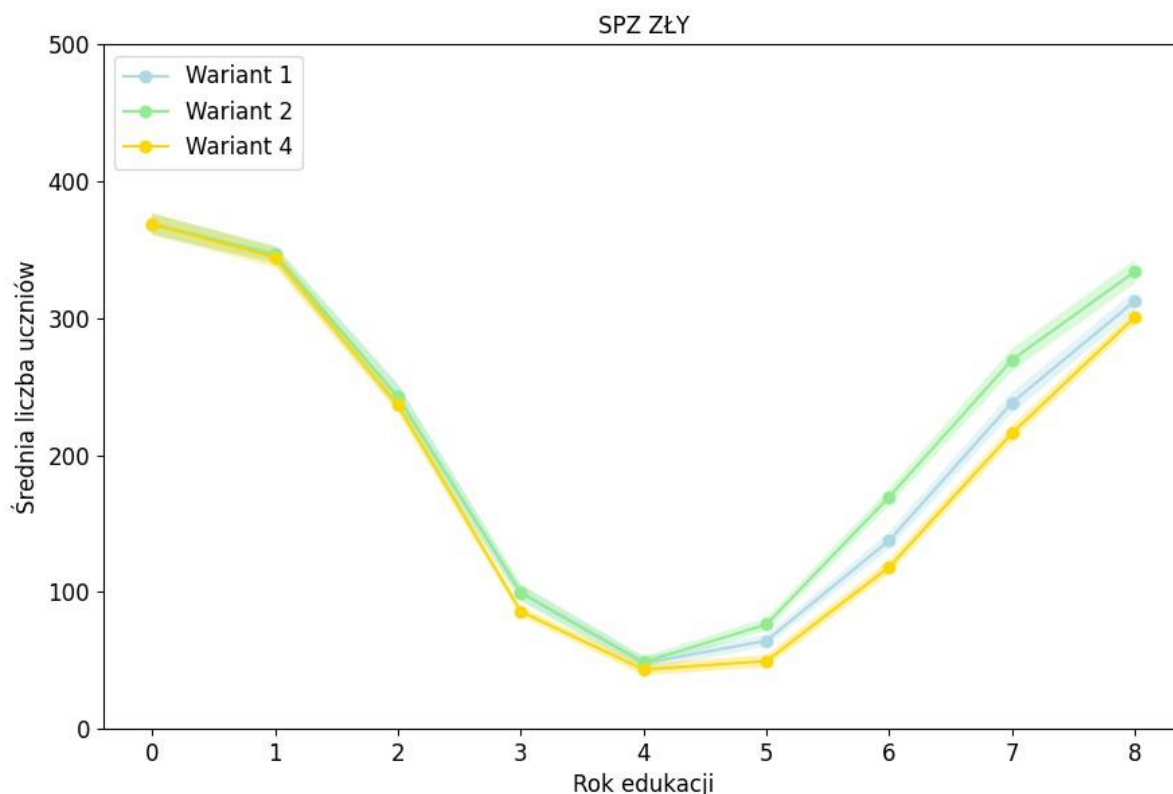
Różnice w średnich liczbach uczniów z SPZ dobrym podczas całego okresu edukacji nie różnią się pomiędzy wariantami (Rysunek 41). Można zaobserwować spadek średniej liczby uczniów z tym stanem w pierwszym roku edukacji, następnie utrzymanie zbliżonego poziomu do czwartego roku edukacji, znaczący wzrost w piątym roku i spadek w kolejnych latach. Tendencje te zachowane są dla wszystkich trzech badanych wariantów. Również dla wszystkich badanych wariantów zachowane są tendencje średnich liczb uczniów z SPZ umiarkowanym (Rysunek 42). Do czwartego roku edukacji średnia liczba uczniów z SPZ umiarkowanym wzrasta, a następnie bardzo mocno maleje, przy czym dla wariantu 2 średnia liczba uczniów z tym stanem jest niższa niż dla pozostałych dwóch wariantów. Zupełnie

odwrotne trendy w porównaniu z trendami dla średniej liczby uczniów z SPZ umiarkowanym, zaobserwowano dla średniej liczby uczniów z SPZ złym (Rysunek 43). Do czwartego roku edukacji średnie liczby uczniów z tym stanem w każdym wariantcie maleją. Od czwartego roku zaczynają rosnąć z tym, że największy wzrost można zauważyć w wariantcie 2, następnie w wariantcie 1 i na końcu w wariantcie 4. Zatem dodatkowe indywidualne pogadanki, które są zapewniane uczniom w wariantcie 4, obniżają średnią liczbę uczniów z SPZ złym na przestrzeni lat edukacji podstawowej badanej grupy uczniów.



Rysunek 42: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza V. Średnia liczba uczniów z SPZ umiarkowanym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.

Dla uzyskanych wyników przeprowadzono testy t-Studenta (Tabele 52-54). Istotną statystycznie różnicę można zaobserwować pomiędzy średnimi liczbami uczniów z SPZ dobrym na zakończenie edukacji w szkole podstawowej pomiędzy wariantem 1 i wariantem 4 (Tabela 52). Rozpatrując średnią liczbę uczniów kończących szkołę z SPZ umiarkowanym, ta istotna statystycznie różnica jest zauważalna pomiędzy wariantem 1 i wariantem 2 (Tabela 53). Natomiast jeśli chodzi o średnią liczbę uczniów kończących szkołę z SPZ złym, to w dwóch analizowanych przypadkach różnica pomiędzy średnimi liczbami uczniów z tym stanem jest istotna statystycznie (Tabela 54).



Rysunek 43: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza V. Średnia liczba uczniów z SPZ złym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów.

Tabela 52: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ dobrym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu V za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję, a  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

SPZ DOBRY				
	porównanie wariantów 1 i 2		porównanie wariantów 1 i 4	
	wariant 1	wariant 2	wariant 1	wariant 4
$x$	78,5	75,6	$x$	85,6
$s^2$	46,5	57,82	$s^2$	62,71
	$t_{(18)} = 0,9$ ( $p = 0,38$ )		$t_{(18)} = -2,15$ ( $p < 0,05$ )	
	<b>nie istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami		<b>istnieje</b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami	

Tabela 53: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ umiarkowanym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu V za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję, a  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

SPZ UMIARKOWANY					
porównanie wariantów 1 i 2			porównanie wariantów 1 i 4		
	wariant 1	wariant 2		wariant 1	wariant 4
$x$	108,8	90,3	$x$	108,8	113,6
$s^2$	36,4	35,34	$s^2$	36,4	50,04
$t_{(18)} = 6,91$ ( $p < 0,05$ )			$t_{(18)} = -1,63$ ( $p = 0,12$ )		
<b><u>istnieje</u></b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b><u>nie istnieje</u></b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami		

Tabela 54: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ złym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu V za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie  $x$  oznacza średnią,  $s^2$  wariancję, a  $t_{(18)}$  oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.

SPZ ZŁY					
porównanie wariantów 1 i 2			porównanie wariantów 1 i 4		
	wariant 1	wariant 2		wariant 1	wariant 4
$x$	312,7	334,1	$x$	312,7	300,8
$s^2$	102,68	146,1	$s^2$	102,68	49,73
$t_{(18)} = -4,29$ ( $p < 0,05$ )			$t_{(18)} = 3,05$ ( $p < 0,05$ )		
<b><u>istnieje</u></b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami			<b><u>istnieje</u></b> istotna statystycznie różnica między badanymi wariantami		

## Podsumowanie

Podsumowując, PPPZ, który zakłada realizację świadczeń przez personel lekarski, takich jak przegląd i lakowanie szóstek, można zauważyć, że dodatkowe indywidualne pogadanki edukacyjne mogą mieć pozytywny wpływ na stan zdrowia jamy ustnej uczniów w szkołach podstawowych. Obserwuje się wzrost średniej liczby uczniów kończących szkołę z SPZ dobrym dzięki tym pogadankom. Decydenci stają przed wyborem, czy korzyść z około

7 dodatkowych uczniów bez próchnicy zębów na zakończenie przez nich edukacji rekompensuje dodatkowy czas pracy personelu lekarskiego. W wariancie 2, gdzie analizowano obniżenie skuteczności lakowania po dziesiątym roku życia, wyniki były mniej satysfakcjonujące. To może sugerować potrzebę poszukiwania alternatywnych metod profilaktycznych, które byłyby skuteczne w dłuższym okresie i zapobiegały próchnicy po zmniejszeniu skuteczności lakowania. Choć powtórne lakowanie zębów nie jest praktykowane, rozważenie alternatywnych metod profilaktycznych może być kluczowe w utrzymaniu skuteczności profilaktyki w dłuższej perspektywie czasowej.

## **5. Dyskusja nad osiągniętymi wynikami**

Za pomocą metody symulacyjnej, oprócz efektów zdrowotnych możliwych do osiągnięcia dzięki wdrożeniu PPPZ o danej strukturze, można przeanalizować jakie zapotrzebowanie na personel medyczny wynika z wdrożenia danego programu. W niniejszym rozdziale zostaną przedyskutowane wybrane wyniki. Z każdego scenariusza zostanie pokazany wariant 1 oraz jeden z pozostałych wariantów, który umożliwił osiągnięcie najmniejszej średniej liczby uczniów kończących szkołę podstawową z SPZ złym. Wybrano ten wskaźnik, ponieważ w jego przypadku zauważalna jest największa różnica w średnich liczbach uczniów kończących szkołę z danym SPZ.

W Tabeli 55 pokazano czy istnieje statystycznie istotna różnica pomiędzy uzyskanymi wynikami dla średniej liczby uczniów kończących szkołę z SPZ złym w danym scenariuszu (szczegóły przeprowadzonych testów znajdują się w części IV, punktach 4.3-4.7).

W Tabeli 55 można zaobserwować, że zdecydowanie najlepsze wyniki zdrowotne są osiągnięte, gdy struktura PPPZ jest najbardziej kompleksowa. W scenariuszu I nie wykazano istotnej statystycznie różnicy pomiędzy średnią liczbą uczniów kończących szkołę z SPZ złym w wariantach 1 i 4. Zatem jeżeli planowany jest PPPZ o strukturze zakładającej fluoryzację, grupową edukację, przeglądy, lakowanie szóstek i siódemek, wprowadzenie dodatkowych indywidualnych pogadań zajmie lekarzom czas, a nie przełoży się w istotny sposób na zmniejszenie średniej liczby uczniów z SPZ złym, w porównaniu do braku zapewniania takich pogadań. Z kolei za zasadne można uznać wprowadzenie takich pogadań w przypadku, gdy struktura PPPZ ograniczona jest do samych przeglądów, lakowania szóstek i siódemek (scenariusz IV) oraz przeglądu i lakowania szóstek (scenariusz V). Wówczas różnica w średniej liczbie uczniów kończących szkołę z SPZ złym jest istotna statystycznie. Zatem, jeżeli nie ma możliwości wdrożenia PPPZ o kompleksowej strukturze, można rozważyć wprowadzenie

dodatkowych indywidualnych pogadarek prowadzonych przez lekarza stomatologa. Jednak będzie to wiązało się ze zwiększeniem jego czasu pracy. W scenariuszu I i scenariuszu IV personel lekarski średnio na rok edukacji badanej grupy uczniów musi przeznaczyć 275,06 godzin w wariancie 1 i 284, 36 godzin w wariancie 4 (*patrz Tabela 30*).

Tabela 55: Porównanie procentowych udziałów średnich liczb uczniów z SPZ złym na zakończenie edukacji w szkole podstawowej, spośród badanej grupy 500 uczniów, w wybranych wariantach w scenariuszach od I do V.

Scenariusz	Porównywane Warianty	Średnia liczba uczniów z SPZ złym na zakończenie edukacji w szkole podstawowej	Czy na poziomie istotności równym 0.05 istnieje różnica pomiędzy porównywanymi średnimi?
I	1	4,14 %	nie istnieje
	4	4,68 %	
II	1	13,56%	nie istnieje
	2	13,02 %	
III	1	35,96 %	istnieje
	2	23,06 %	
IV	1	31,58%	istnieje
	4	29,56 %	
V	1	62,54 %	istnieje
	4	60,16 %	

W scenariuszu III rozważano strukturę PPPZ obejmującą świadczenia zapewniane tylko przez personel pielęgniarski: fluoryzację oraz grupową edukację. W celu zapewnienia tych świadczeń, w wariancie 1 i wariancie 2, badanej grupie uczniów personel pielęgniarki musi przeznaczyć średnio 79,67 godzin na rok edukacji badanej grupy uczniów (*patrz Tabela 34*). Wówczas statystycznie lepsze wyniki zostały osiągnięte w wariancie 2, w porównaniu do wariantu 1 w ramach scenariusza III. Co prawda, największa średnia liczba uczniów kończących szkołę z SPZ złym była w tym wariancie największa spośród wszystkich przedstawionych w Tabeli 55. Jednak jeżeli nie ma możliwości zaangażowania lekarza do zapewniania PPPZ, bardzo ważna może być skuteczność działań podejmowanych przez personel pielęgniarski. W wariancie 2 zakładano większą skuteczność świadczeń takich jak fluoryzacja i grupowa edukacja. Na skuteczność tych świadczeń może wpływać wiele



czynników, które mogą tą skuteczność zwiększać lub zmniejszać. Jednym z przykładów może być stan higieny jamy ustnej u uczniów podczas fluoryzacji. Jeżeli uczniowie mają w tym czasie brudne zęby, wówczas skuteczność fluoryzacji może być mniejsza. Skuteczność grupowej edukacji może natomiast zależeć od przygotowanych materiałów, sposobów prowadzenia pogadanki, zaangażowania prelegenta, zaangażowania uczniów i wielu innych losowych czynników. Zatem jeżeli w ramach struktury PPPZ można zapewnić jedynie fluoryzację i grupową edukację, bardzo ważne jest poczynienie wszystkich możliwych starań, żeby skuteczność tych świadczeń była możliwie jak największa.

Podsumowując, wyniki osiągnięte w ramach zaproponowanych scenariuszy symulacyjnych mogą wspierać procesy podejmowania decyzji dotyczących struktury PPPZ, czyli rodzaju świadczeń i wielkości zaangażowania personelu medycznego, niezbędnych do realizacji PPPZ dla uczniów tak, żeby osiągnąć założone efekty zdrowotne.

## **6. Wnioski z badań symulacyjnych**

W toku badań symulacyjnych zbadano możliwości zaproponowanego modelu do wspomagania planowania PPPZ dedykowanych uczniom w szkołach podstawowych. Został osiągnięty cel główny oraz cele szczegółowe badań symulacyjnych. Za pomocą zaproponowanego modelu można obserwować proces postępowania choroby próchnicy zębów u uczniów w szkole podstawowej w zależności od upływającego czasu i zapewnianego PPPZ.

Realizacja pierwszego szczegółowego celu umożliwiła wyłonienie takiej struktury PPPZ, która może prowadzić do osiągnięcia najkorzystniejszych wyników zdrowotnych. Spośród analizowanych struktur PPPZ i różnych założeń dotyczących realizacji świadczeń profilaktycznych, najlepsze wyniki zdrowotne zostały osiągnięte w efekcie wdrożenia PPPZ składającego się ze wszystkich rozpatrywanych świadczeń, czyli fluoryzacji, grupowej edukacji, przeglądów oraz lakowania szóstek i siódemek. W rezultacie wdrożenia tego PPPZ, średnio 26% uczniów kończyło szkołę z SPZ dobrym, 69% z umiarkowanym SPZ, a tylko 4% zakończyło edukację z SPZ złym. Do wdrożenia PPPZ o tej strukturze dla grupy 500 uczniów niezbędne jest zaangażowanie personelu zarówno lekarskiego, jak i pielęgniarskiego. W pierwszym roku edukacji badanej grupy uczniów, personel lekarski poświęcił średnio 826,82 godzin na zapewnienie świadczeń profilaktycznych. W drugim roku wymagany czas pracy zmniejszył się do średnio 206,07 godzin, a od trzeciego do ósmego roku utrzymywał się na poziomie około 195 godzin rocznie. Natomiast średni roczny czas pracy personelu pielęgniarskiego w ciągu pierwszych sześciu lat edukacji uczniów wynosił około 75 godzin.

Natomiast w siódmym roku średni czas pracy wzrósł do 94 godzin, a w ósmym roku do 93,51 godzin. Zwiększenie średniego czasu pracy personelu pielęgniarskiego w ostatnich dwóch latach edukacji wynikało z przeprowadzania dłuższych pogadań edukacyjnych skierowanych do starszych uczniów.

W ramach wariantu 2 każdego scenariusza badano wpływ zmodyfikowanej skuteczności świadczeń profilaktycznych na wyniki zdrowotne uczniów kończących szkołę podstawową, co przyczyniło się do realizacji kolejnego celu szczegółowego badań. W scenariuszu I zmiana skuteczności świadczeń spowodowała wzrost średniej liczby uczniów kończących z SPZ złym do 8%, w porównaniu do 4% w wariacie 1, co stanowi różnicę statystycznie istotną. W scenariuszu II różnica ta była marginalna i nie miała znaczenia statystycznego. W scenariuszu III różnica była największa i statystycznie istotna: przy zmodyfikowanej skuteczności 23% uczniów kończyło z SPZ złym, w porównaniu do 36% w wariacie 1. W scenariuszu IV wyniki to odpowiednio 49% i 32%, a w scenariuszu V – 67% i 63% dla wariantu 2 i wariantu 1. Lepsze rezultaty dla zmodyfikowanej skuteczności osiągnięto w scenariuszu III, natomiast gorsze w scenariuszach IV i V. To było głównie związane ze strukturą świadczeń w danym scenariuszu, gdzie w porównaniu do bazowej skuteczności przyjętej w wariacie 1, skuteczność fluoryzacji i grupowej edukacji rosła, podczas gdy skuteczność lakowania malała.

Osiągnięto również następny cel szczegółowy badań, odnoszący się do możliwości zbadania wpływu zmniejszonej liczby grupowych pogadań edukacyjnych prowadzonych przez pielęgniarkę na wyniki zdrowotne uczniów oraz na zapotrzebowanie na czas pracy personelu pielęgniarskiego. W zależności od struktury PPPZ, efekt ograniczenia liczby pogadań był różny. Liczba pogadań wahała się od średnio najmniej 34,2 ( $\pm 2,71$ ) do najwięcej 37,8 ( $\pm 3,05$ ) pogadań rocznie dla grupy 500 uczniów. Gdy wszystkie pogadanki były realizowane zgodnie z planem, pielęgniarka prowadziła 50 pogadań rocznie. W scenariuszu I, przy mniejszej liczbie pogadań edukacyjnych, średnia liczba uczniów kończących szkołę z SPZ złym wzrosła z 4% (przy pełnej liczbie pogadań rocznie) do 9% (przy zmniejszonej liczbie). W scenariuszu II, średnia liczba uczniów kończących z SPZ złym wzrosła od 14% do 22%, a w scenariuszu III z 36% do 47%. Zmniejszenie liczby pogadań spowodowało obniżenie zapotrzebowania na czas pracy personelu pielęgniarskiego o około 10 godzin rocznie. Natomiast w scenariuszach IV i V nie uwzględniano świadczeń zapewnianych przez personel pielęgniarski, więc grupowe pogadanki edukacyjne nie odbywały się w ogóle w ramach PPPZ uwzględnianych w tych scenariuszach.

W ramach realizacji ostatniego celu szczegółowego przeprowadzono analizę wpływu dodatkowych indywidualnych pogadank edukacyjnych, prowadzonych przez personel lekarski, dla dzieci z czterema i więcej zębami dotkniętymi próchnicą. W scenariuszach I i II, wpływ tych pogadank na średnią liczbę uczniów kończących szkołę z SPZ złym był minimalny. W scenariuszu I, bez dodatkowych pogadank, 4% uczniów kończyło z SPZ złym w wariancie 1, a z pogadankami – 5% w wariancie 4. W scenariuszu II, odpowiednie wartości wynosiły 14% i 13%. W scenariuszu IV, wprowadzenie dodatkowych pogadank obniżyło średnią liczbę uczniów kończących szkołę z SPZ złym z 32% w wariancie 1 do 30% w wariancie 4. W scenariuszu V, było to 60% w wariancie 4 w porównaniu do 63% w wariancie 1. W każdym scenariuszu średnia liczba dodatkowych pogadank była podobna. Skupiały się one na uczniach z SPZ złym, stąd najwięcej pogadank odbyło się w pierwszym roku edukacji – średnio 412 ( $\pm 6,79$ ). W piątym roku nie przeprowadzono żadnej pogadanki, choć uczniowie z SPZ złym nadal byli obecni. W pierwszym roku edukacji, lekarz poświęcił na zapewnienie PPPZ uczniom średnio 860,9 ( $\pm 5,69$ ) godzin z dodatkowymi pogadankami, w porównaniu do 826,82 ( $\pm 5,83$ ) godzin bez nich.

Podsumowując, **osiągnięto cele badań symulacyjnych**. W zależności od założonych celów dotyczących stanu zdrowia jamy ustnej u uczniów kończących szkołę podstawową, symulacja może wspomóc zidentyfikowanie struktur PPPZ, które mogą przyczynić się do osiągnięcia tych celów. Przez podejście symulacyjne można ocenić, jakie konkretne zasoby personelu medycznego będą potrzebne do osiągnięcia założonego celu zdrowotnego w badanej grupie uczniów, do których kierowany jest program.

### **Główne ograniczenia badań symulacyjnych**

W badaniach zidentyfikowano główne ograniczenia, w tym utrudniony dostęp do danych medycznych oraz ograniczone możliwości zgromadzenia takich danych. W celu zamodelowania procesu zapewniania uczniom PPPZ podczas ich ośmioletniej edukacji w szkole podstawowej idealną sytuacją byłoby przeprowadzenie badań klinicznych, które koncentrują się dokładnie na tych aspektach, które są potrzebne w badaniach. Jednak w praktyce jest to bardzo trudne i należy szukać innych rozwiązań. Jednym z nich może być nawiązanie współpracy z ośrodkami medycznymi w celu prowadzenia wspólnych badań lub wykorzystanie opublikowanych wyników badań w pożądanym obszarze tak, jak zrobiono w niniejszej pracy. Skutkiem takiego ograniczenia było przyjęcie pewnych uogólnień, których należy być świadomym podczas analizy i interpretacji uzyskanych wyników.

Kolejnym ograniczeniem jest brak jednoznacznego wskazania co do skuteczności świadczeń profilaktycznych. Oczywiście jest to przedmiot wielu rzetelnych badań medycznych, jednak wskazanie jednoznacznych parametrów skuteczności może stanowić pewną trudność. Biorąc pod uwagę, że celem przeprowadzonych badań nie było prognozowanie zmian w zakresie próchnicy zębów u uczniów, lecz demonstracja możliwości wykorzystania takiego modelu do analizy różnorodnych zależności istotnych w procesie planowania, decyzja o przyjęciu ogólnej skuteczności na podstawie dostępnej literatury wydaje się być właściwym podejściem. W ramach celów określonych dla różnych badań prowadzonych z wykorzystaniem proponowanego modelu, możliwe jest modyfikowanie skuteczności świadczeń, dostosowując ją do bieżącej wiedzy i założeń danego badania.

Jako ostatnie ograniczenie zaproponowanego modelu symulacyjnego można wskazać przyjęcie pewnego uproszczenia w modelowaniu postępowania choroby próchnicy zębów u uczniów. Na etapie konceptualizacji opisano różne istotne kwestie jakie mogą na proces postępowania próchnicy zębów u uczniów wpływać. W modelowanym procesie uwzględniono, że rozwój próchnicy u uczniów jest wynikiem upływającego czasu oraz zapewnianych świadczeń profilaktycznych. W istocie może na niego wpływać szereg różnych innych czynników, od indywidualnych predyspozycji uczniów, poprzez ich nawyki zdrowotne i higieniczne, środowisko w którym żyją, sposób prowadzenia pogadank edukacyjnych, odwiedzanie gabinetu stomatologicznego na własną rękę, czas reakcji na pojawiające się w jamie ustnej zmiany, podejmowanie leczenia w razie konieczności. Lista jest długa i jak to bywa w przypadku chorób, nie jest ona skończona, ponieważ każdy człowiek jest indywidualną jednostką. Dlatego też wyznaczono kierunek prowadzenia przyszłych badań mających na celu wspomaganie zarządzania w obszarze planowania PPPZ kierowanych do uczniów.

## Kierunek przyszłych badań

---

Można wskazać dwa główne wątki kierunku przyszłych badań. Jeden dotyczy gromadzenia danych i wraz z ich pozyskiwaniem rozbudowywanie istniejącego modelu symulacji dyskretnej o kolejne aspekty. Natomiast drugi wątek związany jest z rozbudowaniem modelu o elementy związane ze środowiskiem, w którym żyją uczniowie. Zostanie wykorzystane podejście ABS w celu odpowiedzi na pytanie czy uwzględnienie społecznych zachowań jest istotnym aspektem, który należałoby wziąć pod uwagę podczas planowania PPPZ kierowanych do uczniów w szkołach podstawowych. Połączenie metody DES z metodą ABS, w ramach podejścia hybrydowego może zapewnić osobom decyzyjnym jeszcze lepiej dopasowane narzędzie do analizy procesu zapewniania PPPZ uczniom.

Modele hybrydowe z reguły powstają przy wykorzystaniu różnych podejść. Metody symulacyjne mogą wspierać siebie nawzajem, ale również korzystać z metod analitycznych. Oznacza to, że dwie lub więcej metod jest łączonych w ramach jednego ujęcia danego problemu. Modele oparte na dwóch lub więcej podejściach symulacyjnych takich jak DES, ABS czy SD nazywane są symulacją hybrydową (Powell i Mustafee 2015). Zastosowanie podejścia hybrydowego w opiece zdrowotnej może zapewnić decydom szersze i lepsze zrozumienie danego problemu niż jest to możliwe przy zastosowaniu tylko jednej metody (Zulkepli i Eldabi 2015). Dzięki podejściu hybrydowemu można wykorzystać zalety konkretnych metod wraz z minimalizowaniem wpływu ich ograniczeń (Abdelghany i Eltawil 2014). np. w przypadku wykorzystania metody symulacji hybrydowej łączącej DES i ABS, metoda DES obejmuje szczegółowe modelowanie systemu, w tym przepływy i kolejki, ale pomija możliwość modelowania interakcji między jednostkami. Ta cecha jest z kolei zaletą stosowania ABS, ale wadą tej metody jest brak koncepcji kolejek i przepływów.

Zatem wykorzystanie podejścia hybrydowego DES-ABS może być korzystne z punktu widzenia decydentów odpowiedzialnych za planowanie PPPZ. Prace nad koncepcją hybrydową zostały już rozpoczęte. Efektem tych prac są trzy publikacje pokonferencyjne (Hajłasz i Mielczarek 2022b, 2023a, 2023b).

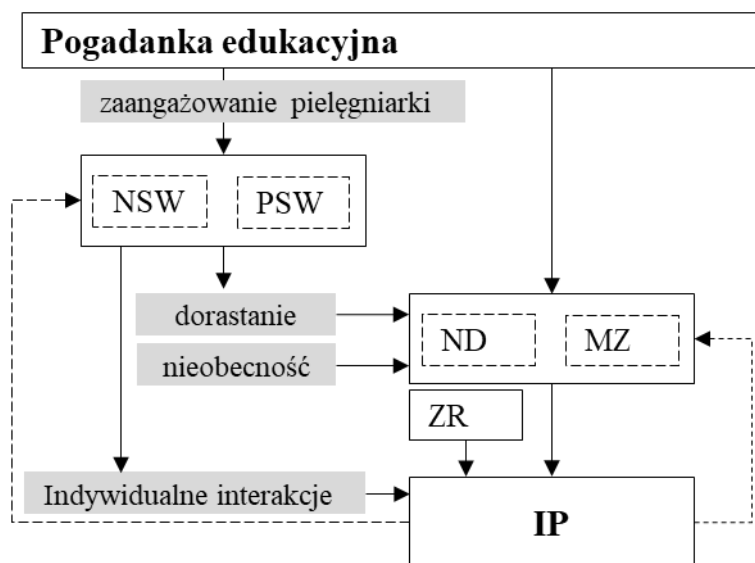
Koncepcja hybrydowa DES-ABS w stosunku do istniejącej koncepcji, zostanie rozbudowana o interakcje zachodzące pomiędzy uczniami, które mogą potencjalnie wpływać na skuteczność PPPZ. Interakcje między uczniami mogą być modelowane za pomocą dwuwymiarowej tablicy (Rysunek 44).

		9							
	6							11	2
1		20							
13					14				
		15			5		10		
			17						
								18	19
		8				12			
								3	4
					16			7	

Rysunek 44: Przykładowa tablica z przykładowym rozmieszczeniem uczniów. Każda kolorowa komórka z numerem reprezentuje ucznia z kolejnym numerem porządkowym z tej samej klasy.

Analizowane będą interakcje zachodzące pomiędzy uczniami w jednej klasie. Każdy uczeń może wymieniać poglądy dotyczące zdrowia i higieny jamy ustnej z innymi kolegami z klasy. Każdy z uczniów ma przypisaną indywidualną postawę (IP) wobec zdrowia i higieny jamy ustnej. Taka postawa może być negatywna lub pozytywna. Na jednym ze wstępnych etapów badań rozważano również postawę neutralną, jednak uznano, że bardziej zasadne jest założenie postawy pozytywnej i negatywnej. Na skutek interakcji z uczniami z najbliższego otoczenia, dany uczeń może zmieniać swoją IP. Najbliższe otoczenie jest rozumiane jako uczniowie zajmujący komórki bezpośrednio sąsiadujące z komórką danego ucznia w siatce. IP uczniów mogą wpływać na skuteczność zapewnianego im PPPZ. Ponadto będzie badany wpływ różnych czynników na kształtowanie IP u uczniów (Rysunek 45). W Hajłasz i Mielczarek (2023b) wskazano, że do tych czynników mogą należeć nieobecności podczas pogadanek edukacyjnych, zaangażowanie pielęgniarki w prowadzenie pogadanek edukacyjnych, dorastanie uczniów, indywidualne interakcje pomiędzy uczniami, jakość nawyków dietetycznych u uczniów (ND), zaangażowanie rodziców (ZR) w edukację i pomoc dzieciom w dbaniu o zdrowie i higienę jamy ustnej, częstość i dokładność mycia zębów przez uczniów

(MZ) oraz siła przekonywania uczniów do zmiany nawyków: siła wpływu negatywna (NSW) i pozytywna (PSW).



Rysunek 45: Parametry wpływające na kształtowanie IP u uczniów.  
Źródło: Hajłasz i Mielczarek (2023b).

Pielęgniarka może prowadzić pogadanki edukacyjne z różnym zaangażowaniem: niskim, wysokim i zróżnicowanym. To zaangażowanie jest rozumiane jako sposób przekazywania wiedzy uczniom: poziom motywacji pielęgniarki, sposób dostosowania pogadanki do odbiorców, umiejętność zainteresowania uczniów. Każda pogadanka edukacyjna, w zależności od zaangażowania pielęgniarki wpływa na kształtowanie sił wpływu u każdego ucznia. Siła wpływu to miara z jaką dany uczeń będzie przekonywał uczniów o antagonistycznej IP do zmiany ich IP. Jeżeli uczeń przekonujący ma IP pozytywne, wówczas będzie działała PSW, jeżeli IP u ucznia jest negatywne, to NSW.

Po każdej rozmowie edukacyjnej wskaźniki ND, MZ, PSW i NSW są aktualizowane. Założono, że każda rozmowa może wpływać na ND i MZ z różną siłą. Jeśli dziecko ma pozytywne IP, zarówno wartość MZ, jak i ND będzie mogła znacząco wzrosnąć w efekcie pogadanki. Jeśli natomiast dziecko ma IP negatywne, wówczas MZ i ND wzrosną lub nie zmienią się w ogóle na skutek pogadanki. Wskaźnik ZR nie zmienia się w czasie. Jego wkład w kształtowanie IP u uczniów zmniejsza się wraz z wiekiem dzieci. Również nieobecności podczas pogadank oraz wiek uczniów mogą mieć znaczenie w kształtowanie nawyków zdrowotnych oraz podejścia do mycia zębów.

Uczniowie mogą przekonywać innych uczniów do zmiany ich IP na podstawie sumarycznej siły wpływu uczniów z najbliższego otoczenia. Jeżeli uczeń X ma IP pozytywne oraz w swoim

najbliższym otoczeniu ma dwóch uczniów z IP pozytywnym i dwóch z IP negatywnym, wówczas uczniowie z IP negatywnym mogą przekonać ucznia X do zmiany jego postawy. Jeżeli sumaryczna NSW uczniów z IP negatywnym będzie większa niż PSW ucznia X, wówczas z przyjętym prawdopodobieństwem uczeń X może zmienić swoją IP.

W trzech przytoczonych pracach (Hajłasz i Mielczarek 2022b, 2023a, 2023b) opisano wstępne etapy badań nad koncepcją hybrydową DES-ABS do wspomaganie planowania PPPZ. Nie wszystkie opracowane do tej pory założenia okazały się być zasadne, jak na przykład zakładanie neutralnej IP u uczniów. Ponadto, zaproponowana koncepcja DES-ABS została dopiero wstępnie zweryfikowana i konieczne są dalsze testy oraz walidacja. Niemniej jednak, dotychczasowe badania oraz wstępna weryfikacja modelu pozwalają potwierdzić, że kierunek przyszłych badań wydaje się być ciekawy i obiecujący.



Do wspomagania planowania PPPZ wykorzystywane są różne metody wśród, których można wskazać zarówno metody analityczne jak i symulacyjne. Metoda drzewa decyzyjnego, model Markowa oraz symulacja MC są wykorzystywane przede wszystkim w badaniach dotyczących finansowania programów profilaktycznych. Metoda ABS może być przydatna podczas prowadzenia badań w zakresie doboru świadczeń profilaktycznych, metoda SD może być wykorzystywana zarówno w badaniach dotyczących finansowania programów profilaktycznych, w zakresie doboru świadczeń oraz planowania zasobów w ramach PPPZ. Metoda DES znajduje w literaturze zastosowanie do wspomagania planowania zasobów. Mimo rosnącego zainteresowania wykorzystaniem symulacji w literaturze naukowej jako metody do wspomagania zarządzania PPPZ, badania w tym obszarze wciąż pozostają stosunkowo ograniczone. Przeprowadzona analiza literaturowa uwypukliła brak wytycznych dotyczących konceptualizacji ram symulacyjnych do budowy modelu umożliwiającego obserwowanie wpływu różnych PPPZ na rozwój próchnicy zębów u dzieci uczęszczających do szkół podstawowych.

Jako odpowiedź na zidentyfikowany problem badawczy, sformułowano główny cel rozprawy, którym było: *opracowanie metodyki budowy modelu symulacyjnego do wspomagania planowania PPPZ kierowanego do uczniów szkół podstawowych*. **Cel pracy został osiągnięty.** Zrealizowanie celu pracy umożliwiło udzielenie odpowiedzi na postawione w pracy pytania badawcze.

Pierwsze pytanie badawcze (**P1**) skupiało się na identyfikacji kategorii założeń jakie należałoby uwzględnić podczas budowy modelu symulacyjnego do wspomagania planowania PPPZ dedykowanych uczniom w szkołach podstawowych w Polsce. W szczególności planowania zasobów personelu medycznego i rodzaju świadczeń. Opracowano model konceptualny, w którym określono niezbędne wymiary, które powinny zostać uwzględnione w procesie budowy takiego modelu, żeby z jednej strony uniknąć nadmiernej szczegółowości, a z drugiej żeby nie był on zbyt ogólny. Wskazano następujące wymiary:

- źródła danych i ich struktura,
- struktura programu profilaktycznego,
- przebieg roku szkolnego i nabór do klas pierwszych,
- cechy uczniów,
- mierniki wyjściowe symulacji,
- przebieg próchnicy zębów,
- parametry symulacji.

W celu uzyskania odpowiedzi na pozostałe postawione w pracy pytania badawcze, przeprowadzono badania symulacyjne. Drugie pytanie badawcze (**P2**) dotyczyło procesu weryfikacji i walidacji modelu symulacyjnego do wspomaganie planowania PPPZ dedykowanych uczniom w szkołach podstawowych w Polsce. Przeprowadzono procedurę weryfikacji i walidacji zbudowanego modelu i na tej podstawie wskazano testy weryfikacyjne, które są kluczowe i wymagają szczególnej uwagi w tej fazie badań symulacyjnych. Ponadto określono sposób podejścia do walidacji. Podczas etapu walidacji takiego modelu bardzo ważne są konsultacje z ekspertami dotyczące zarówno założeń do modelu jak i uzyskanych wyników. Jeżeli dane źródłowe są przedstawione w formie zagregowanej wówczas należy sprawdzić czy średnie uzyskane w modelu symulacyjnym dla badanych parametrów mieszczą się w zakresie wyznaczonym przez średnie rzeczywiste i odchylenia od tych średnich. Natomiast proces weryfikacji modelu obejmował serię szczegółowych testów, do których można zaliczyć:

- Weryfikacja czy przepływ uczniów w modelu jest poprawny.
- Weryfikacja czy odbywają się wszystkie świadczenia, które powinny się odbyć zgodnie z założeniami (fluoryzacja, przegląd i edukacja).
- Weryfikacja czy uczniowie są w poprawny sposób kierowani na lakowanie zębów
- Weryfikacja za pomocą animacji modelu.
- Weryfikacja czy specjaliści pracują zgodnie z harmonogramem.
- Weryfikacja czy świadczenia nie są zapewniane podczas dni wolnych od pracy.

Pytanie badawcze (**P3**) odnosiło się do wskazania szczegółowych celów związanych z wynikami osiągniętymi w ramach realizacji programu profilaktycznego, które można przyjąć na etapie planowania badań symulacyjnych na modelu służącym do wspomaganie planowania

programów profilaktycznych próchnicy zębów kierowanych do uczniów w szkołach podstawowych. Określono następujące cele szczegółowe:

- Zbadanie, która spośród badanych struktur PPPZ umożliwi hipotetyczne największe ograniczenie występowania próchnicy zębów u uczniów kończących szkołę podstawową, przy założeniu bazowej skuteczności świadczeń profilaktycznych.
- Sprawdzenie czy i w jakim stopniu zmodyfikowanie skuteczności świadczeń profilaktycznych może wpływać na ograniczenie występowania próchnicy zębów u uczniów kończących szkołę podstawową.
- Zweryfikowanie czy i w jakim stopniu mniejsza liczba pogadek edukacyjnych, realizowanych przez pielęgniarkę, może wpływać na zapotrzebowanie na godziny pracy personelu medycznego oraz na średnią liczbę uczniów kończących szkołę podstawową z czterema lub więcej zębami z próchnicą.
- Sprawdzenie czy i w jakim stopniu dodatkowa indywidualna pogadanka edukacyjna, prowadzona przez lekarza, dla dzieci posiadających 4 i więcej zębów z próchnicą, może wpływać na zapotrzebowanie na godziny pracy personelu medycznego oraz na ograniczenie występowania próchnicy zębów u uczniów kończących szkołę podstawową.

Ostatnie postawione w pracy pytanie badawcze (**P4**) odnosiło się do sposobu zaplanowania aktualizacji wskaźników zdrowia jamy ustnej uczniów w trakcie symulacji, biorąc pod uwagę rodzaj i stopień szczegółowości dostępnych danych źródłowych, aby zapewnić precyzyjne i wiarygodne śledzenie postępowania próchnicy zębów u uczniów w szkołach podstawowych. W wyniku przeprowadzonych badań określono, że aktualizacja wskaźników zdrowotnych powinna następować raz w roku. To założenie bazowało na dostępnych danych rzeczywistych, które były zbyt ogólne, aby umożliwić inną wiarygodną metodę aktualizacji tych wskaźników. Jednym z rozwiązań, do których można byłoby dążyć jest aktualizowanie wskaźników po każdej wizycie u specjalisty, podczas której uczniom zapewniane są świadczenia profilaktyczne. Jednakże rodzi to pytania o możliwość wiernego odzwierciedlenia rzeczywistości i realność takiego podejścia do aktualizacji wskaźników. W związku z tym, pełne zrozumienie tej kwestii wymaga rozwinięcia modelu i pozyskania bardziej szczegółowych danych. Możliwa rozbudowa modelu mogłaby zakładać włączenie aspektów metody ABS do istniejącego modelu DES. Autorka już rozpoczęła badania w tym kierunku i uzyskała wstępne wyniki.

Podsumowując, niniejsza praca doktorska przyczyniła się do rozwiązania istotnego problemu badawczego dotyczącego konceptualizacji modeli symulacyjnych, które mogłyby być stosowane w procesie planowania struktury programów profilaktycznych próchnicy zębów, kierowanych do uczniów w szkołach podstawowych. Opracowanie wymiarów konceptualnych do konstruowania tego typu modeli stanowi oryginalny i nowatorski wkład w obszarze nauk o zarządzaniu i jakości. Badania przeprowadzone przez autorkę przyczyniają się do rozszerzenia istniejącej wiedzy, oferując nowe perspektywy oraz korzyści wynikające z zastosowania zbudowanego modelu symulacyjnego do wspomagania planowania PPPZ. Mimo teoretycznego charakteru niniejszych badań, istnieje realna możliwość, że modele symulacyjne przyczynią się do ulepszenia procesów planowania PPPZ. Dążenie do zredukowania przypadków próchnicy zębów wśród dzieci w Polsce jest ważnym celem zdrowotnym. Według autorki, badania zaprezentowane w niniejszej rozprawie mają potencjał stać się cennym wkładem w osiągnięciu tego zamierzenia.

1. Abdelghany, M., i Eltawil, A. B. (2014). Individual versus integrated simulation techniques in healthcare applications. *2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2015-January*, 1214–1218. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2014.7058831>.
2. Adams, E. J., LaMontagne, D. S., Johnston, A. R., Pimenta, J. M., Fenton, K. A., i Edmunds, W. J. (2004). Modelling the healthcare costs of an opportunistic chlamydia screening programme. *Sexually transmitted infections*, 80(5), 363–370. <https://doi.org/10.1136/STI.2004.009654>.
3. Ahovuo-Saloranta, A., Forss, H., Walsh, T., Hiiri, A., Nordblad, A., Mäkelä, M., i Worthington, H. V. (2013). Sealants for preventing dental decay in the permanent teeth. *The Cochrane database of systematic reviews*, 2013(3). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001830.PUB4>.
4. Ahovuo-Saloranta, A., Forss, H., Walsh, T., Nordblad, A., Mäkelä, M., i Worthington, H. v. (2017). Pit and fissure sealants for preventing dental decay in permanent teeth. *The Cochrane database of systematic reviews*, 7(7). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001830.PUB5>.
5. Almagooshi, S. (2015). Simulation Modelling in Healthcare: Challenges and Trends. *Procedia Manufacturing*, 3, 301–307. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2015.07.155>.
6. APHA. (1987). Criteria for the Development of Health Promotion and Education Programs, *American Journal of Public Health*, 77, 1: pp. 89-92. <https://doi.org/10.2105/AJPH.77.1.89>
7. Banks, J., Carson II John S., Nelson Barry L., i Nicol David M. (2010). *Discrete-event system simulation. Fifth edition*. Pearson Education.
8. Barton, P., Bryan, S., i Robinson, S. (2004). Modelling in the economic evaluation of health care: selecting the appropriate approach. *Journal of health services research & policy*, 9(2), 110–118. <https://doi.org/10.1258/135581904322987535>.
9. Bayer, S., Eom, K., Sivapragasam, N., Silva, D. A. D., Choon, G., Koh, H., Tan, K. B., Ansah, J. P., i Matchar, D. B. (2021). Estimating costs and benefits of stroke management: A population-based simulation model. *Journal of the Operational Research Society*, 72(9), 2122–2134. <https://doi.org/10.1080/01605682.2020.1772018>.
10. Beaglehole, R., Bonita, R., i Kjellström, T. (2002). *Podstawy epidemiologii*. Łódź: Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera. Oficyna Wydawnicza.
11. Beaulieu, E., Rajabali, F., Zheng, A., i Pike, I. (2019). The lifetime costs of pediatric abusive head trauma and a cost-effectiveness analysis of the Period of Purple crying program in British Columbia, Canada. *Child Abuse & Neglect*, 79: 104133. <https://doi.org/10.1016/j.chiabu.2019.104133>.
12. Beck, J. R., i Pauker, S. G. (1983). The Markov process in medical prognosis. *Medical decision making: an international journal of the Society for Medical Decision Making*, 3(4), 419–458. <https://doi.org/10.1177/0272989X8300300403>.
13. Boachie, M.K., Molete, M., Hofman, K., i Thsehla, E. (2023). *Cost-effectiveness of dental caries prevention strategies in South African schools*. *BMC Oral Health* 23, 814. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03474-1>.
14. Borgonovo, E. (2017). *Sensitivity Analysis*. Springer Link. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52259-3>.
15. Borshchev, A., i Grigoryev, I. (2013). *The Big Book of Simulation Modeling*. Pobrano z <https://www.anylogic.com/resources/books/big-book-of-simulation-modeling/> (01.11.2023).
16. Borysewicz-Lewicka, M., i Opydo-Szymaczek, J. (2016). Fluoride in Polish Drinking Water and the Possible Risk of Dental Fluorosis. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(1), 9–15. <https://doi.org/10.15244/PJOES/60352>.

17. Brailsford, S. C., Eldabi, T., Kunc, M., Mustafee, N., i Osorio, A. F. (2019). Hybrid simulation modelling in operational research: A state-of-the-art review. *European Journal of Operational Research*, 278(3), 721–737. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.10.025>.
18. Brailsford, S. C., Harper, P. R., i Pitt, M. (2009). An analysis of the academic literature on simulation and modelling in health care. *Journal of Simulation*, 3:3, 130-140. <https://doi.org/10.1057/JOS.2009.10>.
19. Brailsford, S. C., Harper, P. R., i Sykes, J. (2012). Incorporating human behaviour in simulation models of screening for breast cancer. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 491–507. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2011.10.041>.
20. Brennan, A., Chick, S. E., i Davies, R. (2006). A taxonomy of model structures for economic evaluation of health technologies. *Health economics*, 15(12), 1295–1310. <https://doi.org/10.1002/HEC.1148>.
21. Caro, J. J., i Möller, J. (2014). Decision-analytic models: current methodological challenges. *Pharmacoeconomics*, 32(10), 943–950. <https://doi.org/10.1007/S40273-014-0183-5>.
22. Carrico, J., La, E. M., Talbird, S. E., Chen, Y. T., Nyaku, M. K., Carias, C., Mellott, C. E., Marshall, G. S., i Roberts, C. S. (2022). Value of the Immunization Program for Children in the 2017 US Birth Cohort. *Pediatrics*, 150(3). <https://doi.org/10.1542/PEDS.2021-056007>.
23. Chang, J., Medina, M., Shin, D. Y., i Kim, S. J. (2023). Racial disparity and regional variance in healthcare utilization among patients with lung cancer in US hospitals during 2016–2019. *Archives of Public Health*, 81(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13690-023-01166-4>.
24. Cho, H., Ren, Z., Divaris, K., Roach, J., Lin, B. M., Liu, C., Azcarate-Peril, M. A., Simancas-Pallares, M. A., Shrestha, P., Orlenko, A., Ginnis, J., North, K. E., Zandona, A. G. F., Ribeiro, A. A., Wu, D., i Koo, H. (2023). *Selenomonas sputigena* acts as a pathobiont mediating spatial structure and biofilm virulence in early childhood caries. *Nature Communications* 2023 14:1, 14(1), 1–19. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38346-3>.
25. Cooper, N. J., Sutton, A. J., Abrams, K. R., Turner, D., i Wailoo, A. (2004). Comprehensive decision analytical modelling in economic evaluation: a Bayesian approach. *Health economics*, 13(3), 203–226. <https://doi.org/10.1002/HEC.804>.
26. Crossan, C., Lord, J., Ryan, R., Nherera, L., i Marshall, T. (2017). Cost effectiveness of case-finding strategies for primary prevention of cardiovascular disease: a modelling study. *British Journal of General Practice*, 67(654), e67–e77. <https://doi.org/10.3399/BJGP16X687973>.
27. Cyfert, S., Dyduch, W., Latusek - Jurczak, D., Niemczyk, J., i Sopińska, A. (2014). Subdyscypliny w naukach o zarządzaniu-logika wyodrębnienia, identyfikacja modelu. *Organizacja i kierowanie*, 1 (161), 49–62.
28. Das, U., i Kar, N. (2023). Prevalence and risk factor of diabetes among the elderly people in West Bengal: evidence-based LASI 1st wave. *BMC endocrine disorders*, 23(1), 170. <https://doi.org/10.1186/S12902-023-01421-3>.
29. Davahli, M. R., Karwowski, W., i Taiar, R. (2020). A System Dynamics Simulation Applied to Healthcare: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 1–27. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17165741>.
30. Davies, R., Crabbe, D., Roderick, P., Goddard, J. R., Raftery, J., i Patel, P. (2002). A simulation to evaluate screening for *Helicobacter pylori* infection in the prevention of peptic ulcers and gastric cancers. *Health care management science*, 5(4), 249–258. <https://doi.org/10.1023/A:1020326005465>.
31. Departament Zdrowia (2019). Informacja o wynikach kontroli. Raport: system ochrony zdrowia w Polsce – stan obecny i pożądane kierunki zmian. Pobrane z <https://www.nik.gov.pl/plik/id,20223,vp,22913.pdf> (01.08.2023).
32. Diallo, S. Y., Lynch, C. J., Padilla, J. J., i Gore, R. (2016). The impact of modeling paradigms on the outcome of simulation studies: An experimental case study. W *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*, 1451-1462. <https://doi.org/10.1109/WSC.2016.7822197>.
33. Doubilet, P., Begg, C. B., Weinstein, M. C., Braun, P., i Mcneil, B. J. (1985). Probabilistic sensitivity analysis using Monte Carlo simulation. A practical approach. *Medical decision making: an international journal of the Society for Medical Decision Making*, 5(2), 157–177. <https://doi.org/10.1177/0272989X8500500205>.
34. Dudzińska-Baryła, R. (2017). Analiza drzew decyzyjnych na gruncie teorii perspektywy. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie*, 113, 67–82.
35. Eddy, D. M., Hollingworth, W., Caro, J. J., Tsevat, J., McDonald, K. M., i Wong, J. B. (2012). Model transparency and validation: a report of the ISPOR-SMDM Modeling Good Research Practices Task Force-7. *Medical decision making: an international journal of the Society for Medical Decision Making*, 32(5), 733–743. <https://doi.org/10.1177/0272989X12454579>.

36. Edelstein, B. L., Gary, H., Frosh, M., i Jayanth, K. (2015). Reducing early childhood caries in a Medicaid population: A systems model analysis. *Journal of the American Dental Association*, 146(4), 224–232. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2014.12.024>.
37. Egil, E., i Yaylali, E. (2022). Cost-effectiveness analysis of fissure sealants for caries prevention in children. *Journal of Public Health Dentistry*, 83(1), 43-50. <https://doi.org/10.1111/jphd.12549>.
38. Espinoza-Espinoza, G., Corsini, G., Rojas, R., Mariño, R., i Zaror, C. (2019). The cost-utility of school-based first permanent molar sealants programs: a Markov model. *BMC Oral Health* 19, 293. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0990-3>.
39. Featherstone, J. D. B. (1996). Modeling the caries-inhibitory effects of dental materials. *Dental Materials*, 12(3), 194–197. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(96\)80021-2](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(96)80021-2).
40. Featherstone, J. D. B. (1999). Prevention and reversal of dental caries: role of low level fluoride. *Community dentistry and oral epidemiology*, 27(1), 31–40. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0528.1999.TB01989.X>.
41. Fishman, G. S. (1981). *Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne.
42. Fone, D., Hollinghurst, S., Temple, M., Round, A., Lester, N., Weightman, A., Roberts, K., Coyle, E., Bevan, G., i Palmer, S. (2003). Systematic review of the use and value of computer simulation modelling in population health and health care delivery. *Journal of Public Health Medicine*, 25(4), 325–335. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdg075>.
43. Gajda, J. B. (2001). *Prognozowanie i symulacja a decyzje gospodarcze*. Warszawa: Wydawnictwo C.H. BECK.
44. Gilbert, G. Nigel., i Troitzsch, K. G. (2005). *Simulation for the social scientist. Second Edition*. New York: Open University Press.
45. Gordon, G. (1974). *Symulacja systemów*. Warszawa: Wydawnictwo naukowo-techniczne.
46. Graves, J., Garbett, S., Zhou, Z., Schildcrout, J. S., i Peterson, J. (2021). Comparison of Decision Modeling Approaches for Health Technology and Policy Evaluation. *Medical decision making: an international journal of the Society for Medical Decision Making*, 41(4), 453. <https://doi.org/10.1177/0272989X21995805>.
47. Griffin Ricky W. (1999). *Podstawy zarządzania organizacjami. Wydanie drugie, zmienione*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
48. Gromulska, L., Wysocki, M.J., i Goryński, P. (2008). Lata przeżyte w zdrowiu (Healthy Life Years, HLY) – zalecany przez unię europejską syntetyczny wskaźnik sytuacji zdrowotnej ludności. *Przegląd Epidemiologiczny*, 62: 811 – 820.
49. Gualano, M. R., Thomas, R., Gili, R., Scaioli, G., Voglino, G., i Zotti, C. (2018). Cost-effectiveness estimates of vaccination against rotavirus in Piedmont, Italy. *Journal of infection and public health*, 11(6), 867–872. <https://doi.org/10.1016/J.JIPH.2018.07.008>.
50. Grzesiak, I., i Kaczmarek, U. (2006). Pierwsza wizyta dziecka w gabinecie stomatologicznym. *Prace poglądowe. Dental and Medical Problems*, 43, 3, 433-437.
51. GUS. (2022). Bank Danych Lokalnych. Pobrano z <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/start> (02.10.2023).
52. Hajłasz, M., i Mielczarek, B. (2022a). Reflections on Assumptions for a Simulation Model of Dental Caries Prevention Planning in a Primary School. *W ECMS 2022 Proceedings Edited By: Ibrahim A. Hameed, Agus Hasan, Saleh Abdel-Afou Alaliyat, European Council for Modeling and Simulation*, 45–50. <https://doi.org/10.7148/2022-0045>.
53. Hajłasz, M., i Mielczarek, B. (2022b). Modelling of the Influence of the Peer Environment on the Prevention of Caries Development in Schoolchildren using a Hybrid Simulation Approach. *W Proceedings of the 12th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications SIMULTECH - Volume 1*, 340-347. <https://doi.org/10.5220/0011317500003274>.
54. Hajłasz, M., i Mielczarek, B. (2022c). Simulation model for planning dental caries Prevention at the regional level. *W Proceedings of the 2022 Winter Simulation Conference.*, 1045-1056. <https://doi.org/10.1109/WSC57314.2022.10015522>.
55. Hajłasz, M. (2023). Supporting the planning of selected aspects of a dental caries prevention program using simulation modeling. *RepOD*. <https://doi.org/10.18150/FJ6RSN>.
56. Hajłasz, M., i Mielczarek, B. (2023a). Agent-Based Simulation Framework to Plan Dental Caries Prevention: Awareness Aspect. *W Wagner, G., Werner, F., De Rango, F. (eds) Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications. SIMULTECH 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 780. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-43824-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-43824-0_2).

57. Hajłasz, M., i Mielczarek, B. (2023b). Hybrid simulation model to support the oral health education planning. W *ECMS 2023, Proceedings Edited by: Enrico Vicario, Romeo Bandinelli, Virginia Fani, Michele Mastroianni, European Council for Modelling and Simulation*, 64–67. <https://doi.org/10.7148/2023-0064>.
58. Hajłasz, M., i Mielczarek, B. (2024a). A Simulation-based Framework for planning Dental Caries Prevention Programmes. *Journal of Simulation (przyjęty do recenzji)*.
59. Hajłasz M. (2024b). *Dyskretny model symulacyjny do wspomaganie planowania programów profilaktyki próchnicy zębów*. <https://doi.org/10.18150/5HXVGT>.
60. Heaton, B., Cherng, S. T., Sohn, W., Garcia, R. I., i Galea, S. (2020). Complex Systems Model of Dynamic Mechanisms of Early Childhood Caries Development. *Journal of Dental Research*, 99(5), 537–543. <https://doi.org/10.1177/0022034520909841>.
61. Herc. (2023). Cost-Effectiveness Analysis. Pobrano z <https://www.herc.research.va.gov/include/page.asp?id=cost-effectiveness-analysis> (27.12.2022).
62. Hirsch, G. B., Edelstein, B. L., Frosh, M., i Anselmo, T. (2012). A simulation model for designing effective interventions in early childhood caries. *Preventing Chronic Disease*, 9(3). <https://doi.org/10.5888/pcd9.110219>.
63. Hirsch, G., Homer, J., Evans, E., i Zielinski, A. (2010). A system dynamics model for planning cardiovascular disease interventions. *American Journal of Public Health*, 100(4), 616–622. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2009.159434>.
64. Homer, J. B., i Hirsch, G. B. (2006). System dynamics modeling for public health: background and opportunities. *American journal of public health*, 96(3), 452–458. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2005.062059>.
65. Hu, W., Xu, W., Si, L., Wang, C., Jiang, Q., Wang, L., Cutler, H. (2020). Cost-effectiveness of the Da Qing diabetes prevention program: A modelling study. *PLoS One*, 15(12):e0242962. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242962>.
66. Jain, M., Shah, M., Sadh, N., Marfatia, N., i Khandelwal, N. (2018). Applications of Operations Research Techniques in Healthcare. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9(1).
67. Kaasalainen, K., Kalmari, J., i Ruohonen, T. (2020). Developing and testing a discrete event simulation model to evaluate budget impacts of diabetes prevention programs. *Journal of Biomedical Informatics*, 111, 103577. <https://doi.org/10.1016/J.JBI.2020.103577>.
68. Kaczor, P. (2012). Zasady tworzenia programów profilaktycznych. *Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu*, 18(1), 55–58.
69. Karimi, E., Schmitt, K., i Akgunduz, A. (2015). Effect of individual protective behaviors on influenza transmission: an agent-based model. *Health care management science*, 18(3), 318–333. <https://doi.org/10.1007/S10729-014-9310-2>.
70. Katsaliaki, K., i Mustafee, N. (2011). Applications of simulation within the healthcare context. *The Journal of the Operational Research Society*, 62(8), 1431–1451. <https://doi.org/10.1057/JORS.2010.20>.
71. Kelton, W.D., Sadowski, R.P., i Zupick, N.B. (2015). *Simulation with Arena. Sixth edition*. New York: McGraw-Hill, Inc.
72. Khouja, T., i Smith, K. J. (2018). Cost-effectiveness analysis of two caries prevention methods in the first permanent molar in children. *Journal of public health dentistry*, 78(2), 118–126. <https://doi.org/10.1111/JPHD.12246>.
73. Kisliakovskii, I., Balakhontceva, M., Kovalchuk, S., Zvartau, N., i Konradi, A. (2017). Towards a simulation-based framework for decision support in healthcare quality assessment. *Procedia Computer Science*, 119(2017), 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.178>.
74. Kowada, A. (2022). A Population-Based Helicobacter pylori Eradication Strategy Is More Cost-Effective than Endoscopic Screening. *Digestive Diseases and Sciences*, 68(5), 1735–1746. <https://doi.org/10.1007/s10620-022-07795-z>.
75. Law, A. M., i Kelton, W. D. (1991). *Simulation modelling and analysis. Second Edition*. New York: McGraw-Hill, Inc.
76. Lee, B. Y., Popovich, M. J., Tian, Y., Bailey, R. R., Ufberg, P. J., Wiringa, A. E., i Muder, R. R. (2010). The potential value of Clostridium difficile vaccine: an economic computer simulation model. *Vaccine*, 28(32), 5245–5253. <https://doi.org/10.1016/J.VACCINE.2010.05.062>.
77. Lee, Y. (2013). Diagnosis and Prevention Strategies for Dental Caries. *Journal of Lifestyle Medicine*, 3(2), 107.
78. Lich, K. H., Tian, Y., Beadles, C. A., Williams, L. S., Bravata, D. M., Cheng, E. M., Bosworth, H. B., Homer, J. B., i Matchar, D. B. (2014). Strategic planning to reduce the burden of stroke among veterans: using



- simulation modeling to inform decision making. *Stroke*, 45(7), 2078–2084. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.114.004694>.
79. Li, Y., Kong, N., Lawley, M., i Pagan, J. A. (2015). Assessing lifestyle interventions to improve cardiovascular health using an agent-based model. W *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, 1221–1232. <https://doi.org/10.1109/WSC.2014.7019979>.
  80. Looss, B., i Saltelli, A. (2017). Introduction to sensitivity analysis. W: Ghanem, R., Higdon, D., Owhadi, H. (eds) *Handbook of Uncertainty Quantification*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-12385-1\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-319-12385-1_31).
  81. Łatuszyńska, M. (2011). *Metody symulacji komputerowej – próba klasyfikacji logicznej*. *Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, 41, 163–176.
  82. Macal, C., & North, M. (2015). Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation. W *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, 6–20. <https://doi.org/10.1109/WSC.2014.7019874>.
  83. MacHiulskiene, V., Campus, G., Carvalho, J. C., Dige, I., Ekstrand, K. R., Jablonski-Momeni, A., Maltz, M., Manton, D. J., Martignon, S., Martinez-Mier, E. A., Pitts, N. B., Schulte, A. G., Splieth, C. H., Tenuta, L. M. A., Ferreira Zandona, A., i Nyvad, B. (2020). Terminology of Dental Caries and Dental Caries Management: Consensus Report of a Workshop Organized by ORCA and Cariology Research Group of IADR. *Caries research*, 54(1), 7–14. <https://doi.org/10.1159/000503309>.
  84. Marinho, V. C. C., Worthington, H. V., Walsh, T., i Chong, L. Y. (2015). Fluoride gels for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2015(6). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002280.pub2>.
  85. Marthaler, T. M. (2004). Changes in dental caries 1953–2003. *Caries research*, 38(3), 173–181. <https://doi.org/10.1159/000077752>.
  86. Mathur, V. P., i Dhillon, J. K. (2018). Dental Caries: A Disease Which Needs Attention. *Indian journal of pediatrics*, 85(3), 202–206. <https://doi.org/10.1007/S12098-017-2381-6>.
  87. Mielczarek, B. (2009). *Modelowanie symulacyjne w zarządzaniu: symulacja dyskretna*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
  88. Mielczarek, B. (2014). *Symulacja w zarządzaniu systemami ochrony zdrowia*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
  89. Mielczarek, B. (2016). Review of modelling approaches for healthcare simulation. *Operations Research and Decisions*, 26(1). <https://doi.org/10.5277/ord160104>.
  90. Miller, R. L., Levine, R. L., McNall, M. A., Khamarko, K., i Valenti, M. T. (2011). A Dynamic Model of Client Recruitment and Retention in Community-Based HIV Prevention Programs. *Health Promotion Practice*, 12(1), 135–146. <https://doi.org/10.1177/1524839909332137>.
  91. Ministerstwo Zdrowia. (2021a). *Zdrowa Przyszłość. Ramy strategiczne rozwoju systemu ochrony zdrowia na lata 2021–2027, z perspektywą do 2030 r.* Pobrane z: <https://www.gov.pl/web/zdrowie/zdrowa-przyszlosc-ramy-strategiczne-rozwoju-systemu-ochrony-zdrowia-na-lata-2021-2027-z-perspektywa-do-2030> (20.12.2023).
  92. Ministerstwo Zdrowia. (2021b). *NPZ 2021-2025*. Pobrane z: <https://www.gov.pl/web/zdrowie/npz-2021-2025> (20.12.2023).
  93. Ministerstwo Zdrowia. (2023). *Narodowy Program Zdrowia*. Pobrane z: <https://www.gov.pl/web/zdrowie/narodowy-program-zdrowia1> (20.12.2023).
  94. Monks, T., Currie, C. S. M., Onggo, B. S., Robinson, S., Kunc, M., i Taylor, S. J. E. (2019). Strengthening the reporting of empirical simulation studies: Introducing the STRESS guidelines. *Journal of Simulation*, 13(1), 55–67. <https://doi.org/10.1080/17477778.2018.1442155>.
  95. Mustafee, N., Katsaliaki, K., i Taylor, S. J. E. (2010). Profiling literature in healthcare simulation. *Simulation*, 86(8–9), 543–558. <https://doi.org/10.1177/0037549709359090>.
  96. Naglie, G., Krahn, M. D., Naimark, D., Redelmeier, D. A., i Detsky, A. S. (1997). Primer on medical decision analysis: Part 3--Estimating probabilities and utilities. *Medical decision making: an international journal of the Society for Medical Decision Making*, 17(2), 136–141. <https://doi.org/10.1177/0272989X9701700203>.
  97. Nassar, Y., i Brizuela, M. (2023). *The Role of Fluoride on Caries Prevention*. Pobrane z <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK587342/> (01.03.2023).
  98. Nawrołska, I. (2013). *Finansowanie profilaktycznych programów zdrowotnych*. Warszawa: Difin.
  99. Naylor, T. (1975). *Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
  100. Neumann, A., Lindholm, L., Norberg, M., Schoffer, O., Klug, S. J., i Norström, F. (2017). The cost-effectiveness of interventions targeting lifestyle change for the prevention of diabetes in a Swedish primary

- care and community based prevention program. *European Journal of Health Economics*, 18(7), 905–919. <https://doi.org/10.1007/s10198-016-0851-9>.
101. Neumann, A., Schwarz, P., i Lindholm, L. (2011). Estimating the cost-effectiveness of lifestyle intervention programmes to prevent diabetes based on an example from Germany: Markov modelling. *Cost Effectiveness and Resource Allocation*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/1478-7547-9-17>.
  102. Nguyen, T. P. L., Wright, E. P., Nguyen, T. T., Schuiling-Veninga, C. C. M., Bijlsma, M. J., Nguyen, T. B. Y., i Postma, M. J. (2016). Cost-Effectiveness Analysis of Screening for and Managing Identified Hypertension for Cardiovascular Disease Prevention in Vietnam. *PLOS ONE*, 11(5), e0155699. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0155699>.
  103. Nguyen, T.M., Hsueh, Y-S, Morgan, M.V., Mariño, R.J., Koshy, S. (2017) Economic Evaluation of a Pilot School-Based Dental Checkup Program. *JDR Clinical & Translational Research*, 2(3):214-222. <https://doi.org/10.1177/2380084417708549>.
  104. Nguyen, T. M., Tonmukayakul, U., Warren, E., Cartwright, S. and Liew, D. (2020). A Markov cost-effective analysis of biannual fluoride varnish for preventing dental caries in permanent teeth over a 70-year time horizon. *Health Promotion Journal of Australia*, 31, 177–183. <https://doi.org/10.1002/hpja.283>.
  105. Norrie, O., i Pharand, L. (2020). Cost effectiveness of a fluoride varnish daycare program versus usual care in central Winnipeg, Canada. *Canadian journal of dental hygiene*, 54(2), 68-74.
  106. Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 12 października 2021 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie świadczeń gwarantowanych z zakresu leczenia stomatologicznego. Dz.U. 2021 poz. 2148.
  107. O'Connell, J.M., Brunson, D., Anselmo, T., Sullivan, P.W. (2005). Costs and savings associated with community water fluoridation programs in Colorado. *Prevention Chronic Disease*, 2(Spec No): A06.
  108. OECD Stat (2023). Health expenditure and financing. Pobrano z <https://stats.oecd.org/index.aspx?DataSetCode=SHA> (27.12.2022).
  109. Olchanski, N., van Klaveren, D., Cohen, J. T., Wong, J. B., Ruthazer, R., i Kent, D. M. (2021). Targeting of the diabetes prevention program leads to substantial benefits when capacity is constrained. *Acta diabetologica*, 58(6), 707–722. <https://doi.org/10.1007/S00592-021-01672-3>.
  110. Olczak-Kowalczyk, D., Mielczarek, A., Kaczmarek, U., Turska-Szybka, A., Rusyan, E., i Adamczyk K. (2021a). *Monitorowanie stanu zdrowia jamy ustnej populacji polskiej w latach 2016-2020 : choroba próchnicowa i stan tkanek przyzębia populacji polskiej: podsumowanie wyników badań z lat 2016-2019*. Warszawa: Dział Redakcji i Wydawnictw Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego.
  111. Olczak-Kowalczyk, D., Turska-Szybka, A., Woynarowska-Sołdan, M., Kobylńska, A., Lipiec, M., Shamsa, S., i Sobiech, P. (2021b). *Monitorowanie stanu zdrowia jamy ustnej populacji polskiej w latach 2016-2020 : wiedza i zachowania zdrowotne a próchnica zębów u dzieci i młodzieży w Polsce w latach 2016-2019: edukacja prozdrowotna*. Warszawa: Dział Redakcji i Wydawnictw Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego.
  112. Opydo-Szymaczek, J., Ogińska-oka, M., i Wyrwas, B. (2021). Fluoride exposure and factors affecting dental caries in preschool children living in two areas with different natural levels of fluorides. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 65, 126726. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2021.126726>.
  113. Ostrenga, W., Oblacińska, A., i Korzycka, M. (red.) (2020). *Podręcznik dla pielęgniarek i higienistek szkolnych pod redakcją standardy postępowania i metodyka pracy pielęgniarki szkolnej. Podręcznik dla pielęgniarek i higienistek szkolnych. Wydanie ii poprawione i rozszerzone*. Warszawa: Instytut Matki i Dziecka
  114. Palacio, R., Shen, J., Vale, L., i Vernazza, C. R. (2019). Assessing the cost-effectiveness of a fluoride varnish programme in Chile: The use of a decision analytic model in dentistry. *Community dentistry and oral epidemiology*, 47(3), 217–224. <https://doi.org/10.1111/CDOE.12447>.
  115. Paulauskiene, J., Stelemekas, M., Ivanauskiene, R., i Petkeviciene, J. (2019). The Cost-Effectiveness Analysis of Cervical Cancer Screening Using a Systematic Invitation System in Lithuania. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(24). <https://doi.org/10.3390/IJERPH16245035>.
  116. Pitts, N. B., Zero, D. T., Marsh, P. D., Ekstrand, K., Weintraub, J. A., Ramos-Gomez, F., Tagami, J., Twetman, S., Tsakos, G., i Ismail, A. (2017). Dental caries. *Nature reviews. Disease primers*, 3. <https://doi.org/10.1038/NRDP.2017.30>.
  117. Porta, M. (2008). *A Dictionary of Epidemiology*. Oxford University Press.
  118. Powell, J., i Mustafee, N. (2015). Soft or approaches in problem formulation stage of a hybrid M&S study. *W Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, 1664-1675. <https://doi.org/10.1109/WSC.2014.7020017>.

119. Praditsitthikorn, N., Teerawattananon, Y., Tantivess, S., Limwattananon, S., Riewpaiboon, A., Chichareon, S., Ieumwananonthachai, N., i Tangcharoensathien, V. (2011). Economic evaluation of policy options for prevention and control of cervical cancer in Thailand. *Pharmacoeconomics*, 29(9), 781–806. <https://doi.org/10.2165/11586560-000000000-00000>.
120. Pro EBP (2023). Incremental cost-effectiveness ratio (ICER) – inkrementalny współczynnik efektywności kosztów (ICER). Pobrano z <https://pro-ebp.awf-bp.edu.pl/glosariusz/incremental-cost-effectiveness-ratio-icer-inkrementalny-wspolczynnik-efektywnosci-kosztow-icer/> (27.12.2022).
121. Pukallus, M., Plonka, K., Kularatna, S., Gordon, L., Barnett, A.G., Walsh, L., i Seow, W.K. (2013). Cost-effectiveness of a telephone-delivered education programme to prevent early childhood caries in a disadvantaged area: a cohort study. *BMJ Open*, 3:e002579. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2013-002579>.
122. Quiñonez, R. B., Stearns, S. C., Talekar, B. S., Rozier, R. G., i Downs, S. M. (2006). Simulating cost-effectiveness of fluoride varnish during well-child visits for Medicaid-enrolled children. *Archives of pediatrics & adolescent medicine*, 160(2), 164–170. <https://doi.org/10.1001/ARCHPEDI.160.2.164>.
123. Ramirez-Nafarrate, A., i Gutierrez-Garcia, J. O. (2013). An agent-based simulation framework to analyze the prevalence of child obesity. W *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, 2330–2339. <https://doi.org/10.1109/WSC.2013.6721608>.
124. Raphael, D. (2000). The question of evidence in health promotion. *Health Promotion International*, 15(4), 355–367. <https://doi.org/10.1093/HEAPRO/15.4.355>.
125. Rauner, M. S., Brailsford, S. C., i Flessa, S. (2005). Use of discrete-event simulation to evaluate strategies for the prevention of mother-to-child transmission of HIV in developing countries. *Journal of the Operational Research Society*, 56(2), 222–233. <https://doi.org/10.1057/PALGRAVE.JORS.2601884>.
126. Render, B., Ralph, M., Stair, Jr., Michael, E. H., i Trevor, S. H. (2018). *Quantitative Analysis for Management. Thirteenth edition*. Pearson Education.
127. Robinson, S. (2004). *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
128. Rodriguez, G.A., Cabello, R.A., Borroni, C.P., i Palacio, R.A. (2022). Cost-effectiveness of probiotics and fluoride varnish in caries prevention in preschool children. *Journal of Public Health Dentistry*, 82(2), 280–288. <https://doi.org/10.1111/jphd.12526>.
129. Rolińska, D., Krajewska, A., i Jarosz, M. J. (2017). *Rola programów zdrowotnych w profilaktyce próchnicy zębów u dzieci i młodzieży. Aspekty zdrowia i choroby, tom 2*. Lublin: Wydawnictwo Naukowe Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji w Lublinie.
130. Rong, W. S., Bian, J. Y., Wang, W. J., i de Wang, J. (2003). Effectiveness of an oral health education and caries prevention program in kindergartens in China. *Community dentistry and oral epidemiology*, 31(6), 412–416. <https://doi.org/10.1046/J.1600-0528.2003.00040.X>.
131. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 6 listopada 2013 r. w sprawie świadczeń gwarantowanych z zakresu programów zdrowotnych. Dz. U. z 2013 r. poz. 1505.
132. Rutter, C. M., Knudsen, A. B., Marsh, T. L., Doria-Rose, V. P., Johnson, E., Pabiniak, C., Kuntz, K. M., Van Ballegooijen, M., Zauber, A. G., i Lansdorp-Vogelaar, I. (2016). Validation of Models Used to Inform Colorectal Cancer Screening Guidelines: Accuracy and Implications. *Medical Decision Making*, 36(5), 604–614. <https://doi.org/10.1177/0272989X15622642>.
133. Ruff, R.R., Saxena, D., i Niederman, R. (2020). School-based caries prevention and longitudinal trends in untreated decay: an updated analysis with Markov chains. *BMC Res Notes* 13, 25. <https://doi.org/10.1186/s13104-020-4886-8>.
134. Rutter, C. M., Zaslavsky, A. M., i Feuer, E. J. (2011). Dynamic Microsimulation Models for Health Outcomes: A Review. *Medical Decision Making*, 31(1), 10. <https://doi.org/10.1177/0272989X10369005>.
135. Sargent, R. G. (2010). Verification and validation of simulation models. W *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, 166–183. <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679166>.
136. Sargent, R. G. (2011). Verification and validation of simulation models. W *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, 183–198. <https://doi.org/10.1109/WSC.2011.6147750>.
137. Sargent, R. G. (2013). An introduction to verification and validation of simulation models W *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, 321–327. <https://doi.org/10.1109/WSC.2013.6721430>.
138. Sargent, R. G. (2015a). An interval statistical procedure for use in validation of simulation models. *Journal of Simulation*, 9(3), 232–237. <https://doi.org/10.1057/JOS.2014.30>.
139. Sargent, R. G. (2015b). Verifying and validating simulation models. W *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, 118–131. <https://doi.org/10.1109/WSC.2014.7019883>.

140. Sargent, R. G. (2016). An introductory tutorial on verification and validation of simulation models. *W Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*, 1729–1740. <https://doi.org/10.1109/WSC.2015.7408291>.
141. Sargent, R. G. (2020). Verification and Validation of Simulation Models: An Advanced Tutorial. *W Proceedings of the 2020 Winter Simulation Conference*, 16–29. <https://doi.org/10.1109/WSC48552.2020.9384052>.
142. Scherrer, C. R., Griffin, P. M., i Swann, J. L. (2007). Public health sealant delivery programs: Optimal delivery and the cost of practice acts. *Medical Decision Making*, 27(6), 762–771. <https://doi.org/10.1177/0272989X07302134>.
143. Scherrer, C. R., i Naavaal, S. (2019). Cost-Savings of Fluoride Varnish Application in Primary Care for Medicaid-Enrolled Children in Virginia. *Journal of Pediatrics*, 212, 201-207.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2019.05.026>.
144. Schlesinger, S., El Segundo Boulevard El Segundo, E., Crosbie, R. E., Gagn, R. E., Innis, G. S., Lalwani, C., Loch, J., Patterson Air Force Base, W., Sylvester ASD, R. J., Wright Patterson Air Force Base, E., Wright, R. D., McNair, F., Kheir, N., i Bartos, D. (1979). Terminology for model credibility. *Simulation*, 32(3), 103–104.
145. Sen, A., i Srivastava, M. (1990). *Regression Analysis*. New York: Springer.
146. Schwendicke, F., i Bombeck, L. (2023). Cost-effectiveness of school-based caries screening using transillumination. *Journal of Dentistry*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104635>.
147. Sicca, C., Bobbio, E., Quartuccio, N., Nicolò, G., i Cistaro, A. (2016). Prevention of dental caries: A review of effective treatments. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 8(5), e604. <https://doi.org/10.4317/JCED.52890>.
148. Skóbel, B., i Rudka, R. (2016). *Programy polityki zdrowotnej bez tajemnic*. Warszawa: Związek Powiatów Polskich.
149. Słowik-Gabryelska, A., i Stepien-Słodkowska, M. (2010). Częstość występowania próchnicy u dzieci. *Zeszyty Naukowe. Prace Instytutu Kultury Fizycznej. Uniwersytet Szczeciński*, 27.
150. Sonnenberg, F. A., i Beck, J. R. (1993). Markov models in medical decision making: a practical guide. *Medical decision making: an international journal of the Society for Medical Decision Making*, 13(4), 322–338. <https://doi.org/10.1177/0272989X9301300409>.
151. Sosa Torices, S., Álvarez-Vaz, R., Massa, F., López Jordi, M. del C., Liberman, J., Sosa Torices, S., Álvarez-Vaz, R., Massa, F., López Jordi, M. del C., i Liberman, J. (2021). Impact of the number of periodic dental checkups on oral health at a university pediatric dentistry clinic. *Odontostomatología*, 23(38).
152. Sovi, N., Pajk, A., Jankowski, P., Duenas, A., Kawecka-Jaszcz, K., Wolfshaut-Wolak, R., Stepianiak, U., i Kawalec, P. (2013). Cost-effectiveness of a cardiovascular disease primary prevention programme in a primary health care setting. Results of the Polish part of the EUROACTION project. *Kardiologia Polska*, 71(7), 702–711. <https://doi.org/10.5603/KP.2013.0157>.
153. Splieth, C. H., i Fleßa, S. (2008). Modelling lifelong costs of caries with and without fluoride use. *European Journal of Oral Science*, 116(2):164-9. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2008.00524.x>.
154. Stańczyk-Hugiet, E. (2016). *Metody eksperymentu i symulacji w naukach o zarządzaniu*. W: Czakon, W. (red.), *Podstawy metodologii badań w naukach o zarządzaniu* (s.211-242). Wydawnictwo Nieoczywiste.
155. Stein, C., Santos, N. M. L., Hilgert, J. B., i Hugo, F. N. (2018). Effectiveness of oral health education on oral hygiene and dental caries in schoolchildren: Systematic review and meta-analysis. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 46(1), 30–37. <https://doi.org/10.1111/CDOE.12325>.
156. Serman, J.D. (2001). System Dynamics Modeling: Tools for Learning in a Complex World. *California Management Review*, 43, 25–28. <https://doi.org/10.2307/41166098>.
157. Stodolak, A., i Fuglewicz, A. (2014). Zapobieganie próchnicy zębów u dzieci i młodzieży oraz promocja zdrowia jamy ustnej - rola pracowników służby zdrowia. *Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu*, 20(49)(1), 76–81.
158. Tapia, P. J., Quispe, H. J., Salmon-Mulanovich, G., i Perez-Buitrago, S. (2021). Modeling of Cervical Cancer Prevention Program in a Region of the Peruvian Amazonia. *W 2021 Global Medical Engineering Physics Exchanges/Pan American Health Care Exchanges (GMEPE/PAHCE)*, 1-4, <https://doi.org/10.1109/GMEPE/PAHCE50215.2021.9434837>.
159. Tian, D. S., Liu, C. C., Wang, C. L., Qin, C., Wang, M. H., Liu, W. H., Liu, J., Zhang, H. W., Zhang, R. G., Wang, S. K., Zhang, X. X., Wang, L., Pan, D. J., Hu, J. P., Luo, X., Xu, S. B., i Wang, W. (2023). Prevalence and risk factors of stroke in China: a national serial cross-sectional study from 2003 to 2018. *Stroke and vascular neurology*, 8(3). <https://doi.org/10.1136/SVN-2022-001598>.

160. Turkowiak (2023). Sigmoidoskopia – wskazania, przeciwwskazania, przygotowanie, przebieg. Pobrano z <https://wylecz.to/badania-diagnostyczne/sigmoidoskopia/> (25.01.2023).
161. Umeda, J. E., Chichakly, K., Passos, G. F., Terada, R. S. S., Pascotto, R. C., i Fujimaki, M. (2020). System dynamics modeling for tooth decay treatment in Brazilian children. *Brazilian Oral Research*, 34. <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2020.VOL34.0017>.
162. Urwannachotima, N., Hanvoravongchai, P., i Ansah, J. P. (2019). Sugar-sweetened Beverage Tax and Potential Impact on Dental Caries in Thai Adults: An Evaluation Using the Group Model Building Approach. *Systems Research and Behavioral Science*, 36(1), 87–99. <https://doi.org/10.1002/sres.2546>.
163. Urwannachotima, N., Hanvoravongchai, P., Ansah, J. P., Prasertsom, P., i Koh, V. R. Y. (2020). Impact of sugar-sweetened beverage tax on dental caries: A simulation analysis. *BMC Oral Health*, 20(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-1061-5>.
164. Ustawa (2004) z dnia 27 sierpnia 2004 r. o świadczeniach opieki zdrowotnej finansowanych ze środków publicznych. Dz.U. 2004 nr 210 poz. 2135, 2004.
165. Ustawa (2014) z dnia z dnia 22 lipca 2014 r. o zmianie ustawy o świadczeniach opieki zdrowotnej finansowanych ze środków publicznych oraz niektórych innych ustaw. Dz.U. 2014 poz. 1138.
166. Ustawa (2015) z dnia 11 września 2015 r. o zdrowiu publicznym. Dz. U. z 2015 r. poz. 1916.
167. Ustawa (2019) z dnia 12 kwietnia 2019 r. o opiece zdrowotnej nad uczniami. Dz. U. 2019 poz. 1078.
168. Warren, E., Pollicino, C., Curtis, B., Evans, W., Sbaraini, A., i Schwarz, E. (2010). Modeling the Long-Term Cost-Effectiveness of the Caries Management System in an Australian Population. *Value in Health*, 13, 750–760. <https://doi.org/10.1111/j.1524-4733.2010.00759.x>.
169. WHO (1986). First International Conference on Health Promotion, Ottawa, 21 November 1986. Pobrano z <https://www.who.int/teams/health-promotion/enhanced-wellbeing/first-global-conference> (14.11.2023).
170. WHO (2000). The world health report 2000 - Health systems: improving performance. Pobrane z <https://www.who.int/publications/i/item/924156198X> (01.09.2023).
171. WHO (2017). Sugars and dental caries Pobrane z <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sugars-and-dental-caries> (27.12.2022).
172. WHO (2022). Global oral health status report: towards universal health coverage for oral health by 2030. Pobrane z <https://www.who.int/publications/i/item/9789240061484> (01.06.2023).
173. WHO (2023). Oral health. Pobrano z <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/oral-health> (26.06.2023).
174. Wichmann, A. B., Adang, E. M. M., Stalmeier, P. F. M., Kristanti, S., van den Block, L., Vernooij-Dassen, M. J. F. J., i Engels, Y. (2017). The use of Quality-Adjusted Life Years in cost-effectiveness analyses in palliative care: Mapping the debate through an integrative review. *Palliative medicine*, 31(4), 306–322. <https://doi.org/10.1177/0269216316689652>.
175. Wright, J. T., Tampi, M. P., Graham, L., Estrich, C., Crall, J. J., Fontana, M., Gillette, E. J., Novy, B. B., Dhar, V., Donly, K., Hewlett, E. R., Quinonez, R. B., Chaffin, J., Crespino, M., Iafolla, T., Siegal, M. D., i Carrasco-Labra, A. (2016). Sealants for preventing and arresting pit-and-fissure occlusal caries in primary and permanent molars. A systematic review of randomized controlled trials-a report of the American Dental Association and the American Academy of Pediatric Dentistry. *Journal of The American Dental Association*, 147(8), 631-645. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2016.06.003>.
176. Yhec (2016). Micro-Simulation. Pobrane z <https://yhec.co.uk/glossary/micro-simulation/> (01.06.2023).
177. White, K.P., i Ingalls, R. G. (2020). The Basics of Simulation. W *Proceedings of the 2020 Winter Simulation Conference*, 1087-1101. <https://doi.org/10.1109/WSC48552.2020.9384079>.
178. Wojtyniak, B., i Goryński, P. (red.) (2022). *Sytuacja zdrowotna ludności Polski i jej uwarunkowania, 2022*. Warszawa: Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH – Państwowy Instytut Badawczy.
179. Zaror, C., Muñoz-Millán, P., Espinoza-Espinoza, G., Vergara-González, C., i Martínez-Zapata, M.J. (2020). Cost-effectiveness of adding fluoride varnish to a preventive protocol for early childhood caries in rural children with no access to fluoridated drinking water. *Journal of Dentistry*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103374>.
180. Zhang, X. (2018). Application of discrete event simulation in health care: A systematic review. *BMC Health Services Research*, 18(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12913-018-3456-4>.
181. Zhou, L., Liu, B., Li, Y., Wang, M., Sun, C., Zhang, X., Liu, G., i Siuzanna, N. (2023). Cost-Effectiveness of Pit and Fissure Sealing at Schools for Caries Prevention in China: A Markov Modeling Analysis. *Caries Res.*, 57(4):516-523. <https://doi.org/10.1159/000530377>.
182. Zou, Z., Fairley, C. K., Ong, J. J., Hocking, J., Canfell, K., Ma, X., Chow, E. P. F., Xu, X., Zhang, L., i Zhuang, G. (2020). Domestic HPV vaccine price and economic returns for cervical cancer prevention in

- China: a cost-effectiveness analysis. *The Lancet. Global health*, 8(10), e1335–e1344. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30277-1](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30277-1).
183. Zulkepli, J., i Eldabi, T. (2015). Towards a framework for conceptual model hybridization in healthcare. W *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, 1597–1608. <https://doi.org/10.1109/WSC.2015.7408280>.
184. Żółtaszek, A. (2013). *Modele mikrosymulacyjne. Teoria i zastosowania ekonomiczno-społeczne*. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.

## Spis rysunków

---

Rysunek 1: Odsetek dzieci z zalakowanym co najmniej jednym zębem trzonowym stałym w grupie sześć-, siedmio-, dziesięcio- i dwunastolatków w latach 2016–2019 w całej Polsce. Źródło: Olczak-Kowalczyk i inni (2021a). .....	15
Rysunek 2: Wydatki na prewencję per capita w wybranych krajach OECD (na wykresie nie pokazano krajów, dla których brakowało danych w latach 2015-2020, czyli: Izrael, Chile, Kolumbia, Japonia i Australia). Źródło: OECD Stat (2023). .....	30
Rysunek 3: Poziom abstrakcji metod DES, ABS i SD. Źródło: Na podstawie (Borshchev i Grigoryev 2013). ...	42
Rysunek 4: Stosunek liczby badanych dzieci z co najmniej jednym zębem z próchnicą do liczby wszystkich przebadanych dzieci w danej grupie wiekowej w Polsce. Źródło: Na podstawie Olczak-Kowalczyk i inni (2021a). .....	53
Rysunek 6: System rzeczywisty zapewniania programu profilaktycznego próchnicy zębów uczniom podczas edukacji w szkole podstawowej w Polsce. ....	70
Rysunek 6: Wymiary konceptualne modelu symulacyjnego do badania wpływu struktury PPPZ na rozwój próchnicy zębów u dzieci w szkole podstawowej. ....	72
Rysunek 7: Odpowiedzi ankietowanych dotyczące czasu trwania lakowania jednego zęba oraz przeglądu zębów u dziecka powyżej 6 roku życia. ....	80
Rysunek 8: Odpowiedzi ankietowanych dotyczące czasu trwania lakowania jednego zęba oraz przeglądu zębów u dziecka powyżej 6 roku życia. ....	81
Rysunek 9: Uproszczony schemat modelu logicznego opisującego zapewnianie PPPZ uczniom w szkole podstawowej podczas ich procesu edukacji. ....	87
Rysunek 10: Fragment uproszczonego modelu logicznego opisujący przypisanie atrybutów uczniom. ....	89
Rysunek 11: Fragment uproszczonego modelu logicznego opisujący zapewnianie PPPZ uczniom. ....	90
Rysunek 12: Fragment uproszczonego modelu logicznego opisujący aktualizację wskaźników opisujących zdrowie jamy ustnej u uczniów. ....	93
Rysunek 13: Walidacja średnich uzyskanych dla zębów mlecznych w modelu dla siedmio- i dziesięciolatków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa dolnośląskiego. ....	97
Rysunek 14: Walidacja średnich uzyskanych dla zębów stałych w modelu dla siedmio-, dziesięcio-, dwunasto- i piętnastolatków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa dolnośląskiego. .	97
Rysunek 15: Walidacja średnich uzyskanych dla wskaźników puwz w modelu dla siedmio- i dziesięciolatków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa dolnośląskiego. ....	97
Rysunek 16: Walidacja średnich uzyskanych dla wskaźników PUWZ w modelu dla siedmio-, dziesięcio-, dwunasto- i piętnastolatków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa dolnośląskiego. ....	98
Rysunek 17: Porównanie odsetka uczniów z próchnicą wśród dzieci w wieku 7, 10, 12 i 15 lat: średnia rzeczywista i średnia w modelu z 10 powtórzeń dla województwa dolnośląskiego. ....	98
Rysunek 18: Proces weryfikacji poprawności świadczenia lakowania zębów u uczniów. ....	103
Rysunek 19: Elementy wizualnej weryfikacji poprawności działania modelu. ....	103
Rysunek 20: Walidacja średnich uzyskanych dla zębów mlecznych w modelu dla siedmio- i dziesięciolatków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa mazowieckiego. ....	105
Rysunek 21: Walidacja średnich uzyskanych dla wskaźników puwz w modelu dla siedmio- i dziesięciolatków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa mazowieckiego. ....	105

Rysunek 22: Walidacja średnich uzyskanych dla zębów stałych w modelu dla siedmio-, dziesięcio-, dwunasto- i piętnastolatków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa mazowieckiego. ....	106
Rysunek 23: Walidacja średnich uzyskanych dla wskaźników PUWZ w modelu dla siedmio-, dziesięcio-, dwunasto- i piętnastolatków (grupa 500 uczniów, średnia z 10 powtórzeń), dla województwa mazowieckiego. ....	106
Rysunek 24: Porównanie odsetka uczniów z próchnicą wśród dzieci w wieku 7, 10, 12 i 15 lat: średnia rzeczywista i średnia w modelu z 10 powtórzeń dla województwa mazowieckiego. ....	107
Rysunek 25: Wyniki scenariusza bazowego: procent uczniów z SPZ złym, umiarkowanym i dobrym w każdym roku edukacji w szkole podstawowej, od momentu rozpoczęcia (oznaczonego jako "0") do ósmego roku edukacji. Wyniki przedstawiają średnią z 10 powtórzeń symulacyjnych dla tej samej grupy 500 uczniów. ....	116
Rysunek 26: Wyniki uzyskane we wszystkich przeprowadzonych scenariuszach symulacyjnych. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	118
Rysunek 27: Wyniki uzyskane we wszystkich przeprowadzonych scenariuszach symulacyjnych. Średnia liczba uczniów z SPZ umiarkowanym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	119
Rysunek 28: Wyniki uzyskane we wszystkich przeprowadzonych scenariuszach symulacyjnych. Średnia liczba uczniów z SPZ złym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	119
Rysunek 29: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza I. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	122
Rysunek 30: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza I. Średnia liczba uczniów z SPZ umiarkowanym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	123
Rysunek 31: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza I. Średnia liczba uczniów z SPZ złym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	123
Rysunek 32: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza II. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	131
Rysunek 33: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza II. Średnia liczba uczniów z SPZ umiarkowanym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	131
Rysunek 34: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza II. Średnia liczba uczniów z SPZ złym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	132
Rysunek 35: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza III. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	138
Rysunek 36: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza III. Średnia liczba uczniów z SPZ umiarkowanym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	139
Rysunek 37: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza III. Średnia liczba uczniów z SPZ złym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	139
Rysunek 38: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza IV. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	143
Rysunek 39: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza IV. Średnia liczba uczniów z SPZ umiarkowanym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	144
Rysunek 40: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza IV. Średnia liczba uczniów z SPZ złym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	144
Rysunek 41: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza V. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	147



Rysunek 42: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza V. Średnia liczba uczniów z SPZ umiarkowanym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	148
Rysunek 43: Wyniki uzyskane w wariantach przeprowadzonych w ramach scenariusza V. Średnia liczba uczniów z SPZ złym podczas całego okresu edukacji oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. ....	149
Rysunek 44: Przykładowa tablica z przykładowym rozmieszczeniem uczniów. Każda kolorowa komórka z numerem reprezentuje ucznia z kolejnym numerem porządkowym z tej samej klasy. ....	158
Rysunek 45: Parametry wpływające na kształtowanie IP u uczniów. Źródło: Hajłasz i Mielczarek (2023b). ...	159

Tabela 1: Przykładowe decyzje podejmowane w ramach zarządzania profilaktycznymi programami zdrowotnymi. ....	31
Tabela 2: Wykorzystanie wybranych metod analitycznych i symulacyjnych w obszarach zarządzania programami profilaktyki próchnicy zębów. ....	57
Tabela 3: Liczba szkół podstawowych dla dzieci i młodzieży bez szkół specjalnych oraz liczba uczniów w 2021 roku w Polsce – z podziałem na szesnaście województw. ....	67
Tabela 4: Odsetek dzieci posiadających co najmniej jeden ząb mleczny i/lub stały z próchnicą w wybranych grupach wiekowych. ....	68
Tabela 5: Liczba lekarzy pracujących w 2021 roku. ....	69
Tabela 6: Główne aspekty rozważane w ramach każdego ze zidentyfikowanych wymiarów konceptualnych modelu symulacyjnego. ....	71
Tabela 7: Źródła każdego z czterech rodzajów danych wykorzystanych do budowy modelu. ....	76
Tabela 8: Rzeczywiste dane epidemiologiczne dla miast i wsi na Dolnym Śląsku w latach 2016-2019: liczba badanych w konkretnych grupach wiekowych, procent dzieci z zalakowanym chociaż jednym zębem, procent dzieci z przynajmniej jednym zębem z próchnicą (puwz/PUWZ>0) oraz średnia i odchylenie od średniej dla zębów mlecznych, zębów stałych, puwz i PUWZ. ....	78
Tabela 9: Kluczowe atrybuty przypisane każdemu uczniowi w modelu symulacyjnym. ....	83
Tabela 10: Stan próchnicy zębów (SPZ) zależny od sumy wartości wskaźników informujących o liczbie zębów mlecznych z próchnicą, usuniętych oraz wypełnionych (puwz) oraz stałych (PUWZ). ....	85
Tabela 11: Parametry rozkładów losowych użytych do wygenerowania skuteczności fluoryzacji nadzorowanej grupowo i rozmów edukacyjnych dla zębów mlecznych i stałych na koniec każdego roku szkolnego, indywidualnie dla każdego ucznia. ....	85
Tabela 12: Wyniki analizy przedziałów ufności (alfa 0.05) przeprowadzone dla średnich z 10 powtórzeń uzyskanych dla parametrów: zęby mleczne, puwz, zęby stałe i PUWZ dla grup wiekowych siedmio-, dziesięcio-, dwunasto- i piętnastolatków. ....	86
Tabela 13: Charakterystyka świadczeń profilaktycznych uwzględnionych w ramach PPPZ w modelu symulacyjnym. ....	92
Tabela 14: Podsumowanie przeprowadzonych kluczowych testów weryfikacyjnych wraz ze statusem informującym o powodzeniu testu od razu (status I) po wprowadzeniu poprawek (status II). ....	99
Tabela 15: Analiza odbytych fluoryzacji podczas pierwszego powtórzenia. ....	101
Tabela 16: Analiza liczby odbytych sumarycznych fluoryzacji i pogadań edukacyjnych podczas kolejnych lat obserwacji w pierwszym powtórzeniu (po wprowadzeniu korekty). ....	102
Tabela 17: Plan scenariuszy symulacyjnych: świadczenia profilaktyczne uwzględnione w ramach PPPZ w scenariuszu bazowym (B) oraz od I do V ( ✓ - zawiera dane świadczenie; ✗ - nie zawiera danego świadczenia). ....	110
Tabela 18: Charakterystyka wariantów przeprowadzonych w ramach scenariuszy symulacyjnych. ....	110
Tabela 19: Wskazanie, które warianty są analizowane w ramach których scenariuszy ( ✓ - dany wariant jest analizowany w ramach danego scenariusza; ✗ - nie jest analizowany). ....	111
Tabela 20: Parametry rozkładów losowych użytych do wygenerowania zwiększonej, w stosunku do bazowej, skuteczności fluoryzacji i pogadań dla zębów mlecznych i stałych na koniec każdego roku szkolnego, indywidualnie dla każdego ucznia. ....	112

Tabela 21: Przelicznik skuteczności grupowej fluoryzacji nadzorowanej i pogadań edukacyjnych w zależności od liczby pogadań zrealizowanych w danym roku. ....	112
Tabela 22: Wyszczególnienie wariantów i scenariuszy, dla których przedstawiono analizę czasu pracy personelu lekarskiego i pielęgniarskiego (oznaczenie „L” - analiza czasu pracy personelu lekarskiego, oznaczenie „P” - analiza czasu pracy personelu pielęgniarskiego). ....	115
Tabela 23: Wyniki scenariusza B i scenariuszy od I do V. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym, umiarkowanym i złym na zakończenie edukacji określona na podstawie 10 powtórzeń dla grupy 500 uczniów. Wartość procentowa informuje o tym, ile spośród 500 uczniów osiągnęło określony stan na zakończenie edukacji w szkole podstawowej. ....	117
Tabela 24: Czas pracy personelu lekarskiego jaki musi zostać przeznaczony na zapewnienie grupie 500 uczniów PPPZ założonego w scenariuszu I (IV) i scenariuszu II (V) średnia $\pm 95\%$ przedział ufności. ....	120
Tabela 25: Czas pracy personelu pielęgniarskiego jaki musi zostać przeznaczony na zapewnienie grupie 500 uczniów PPPZ założonego w scenariuszu I (II i III): średnia $\pm 95\%$ przedział ufności. ....	120
Tabela 26: Wyniki czterech wariantów przeprowadzonych w ramach scenariusza I. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym, umiarkowanym i złym na zakończenie edukacji określona na podstawie 10 powtórzeń oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. Wartość procentowa informuje o tym, ile spośród 500 uczniów osiągnęło określony stan na zakończenie edukacji w szkole podstawowej. ....	122
Tabela 27: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ dobrym na zakończenie edukacji w wariantach 2,3 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu I za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, a $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody. ....	124
Tabela 28: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ umiarkowanym na zakończenie edukacji w wariantach 2,3 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu I za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, a $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody. ....	125
Tabela 29: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ złym na zakończenie edukacji w wariantach 2,3 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu I za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, a $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody. ....	125
Tabela 30: Czas pracy personelu lekarskiego jaki musi zostać przeznaczony na zapewnienie grupie 500 uczniów PPPZ założonego w wariantach 1 i 4 w scenariuszu I: średnia $\pm 95\%$ przedział ufności. ....	126
Tabela 31: Średnia liczba zrealizowanych przez personel lekarski dodatkowych indywidualnych pogadań edukacyjnych dla wybranych uczniów spośród badanej grupy 500 uczniów, w każdym roku ich edukacji w szkole podstawowej (wariant 4, scenariusz I). ....	127
Tabela 32: Porównanie średnich czasów pracy personelu lekarskiego w kolejnych latach edukacji, badanej grupy 500 uczniów, w szkole podstawowej w wariantach 1 i 4 w scenariuszu I za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody. ....	127
Tabela 33: Średnia liczba zrealizowanych przez personel pielęgniarski grupowych pogadań w wariantach 3 dla badanej grupy 500 uczniów, podczas każdego roku ich edukacji w szkole podstawowej. ....	128
Tabela 34: Czas pracy personelu pielęgniarskiego jaki musi zostać przeznaczony na zapewnienie grupie 500 uczniów PPPZ założonego w wariantach 1 i 3 w scenariuszu I: średnia $\pm 95\%$ przedział ufności. ....	128
Tabela 35: Porównanie średnich czasów pracy personelu pielęgniarskiego w kolejnych latach edukacji badanej grupy 500 uczniów w wariantach 1 i 3 w scenariuszu I za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, $t_{(9)}$ oznacza wynik testu dla dziewięciu stopni swobody, natomiast $t_{(10)}$ oznacza wynik testu dla dziesięciu stopni swobody. ....	129
Tabela 36: Wyniki czterech wariantów przeprowadzonych w ramach scenariusza II. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym, umiarkowanym i złym na zakończenie edukacji określona na podstawie 10 powtórzeń oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. Wartość procentowa informuje o tym, ile spośród 500 uczniów osiągnęło określony stan na zakończenie edukacji w szkole podstawowej. ....	130
Tabela 37: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ dobrym na zakończenie edukacji w wariantach 2,3 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu II za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, a $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody. ....	133
Tabela 38: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ umiarkowanym na zakończenie edukacji w wariantach 2,3 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu II za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, a $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody. ....	133

Tabela 39: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ złym na zakończenie edukacji w wariantach 2,3 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu II za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, a $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.	134
Tabela 40: Czas pracy personelu lekarskiego jaki musi zostać przeznaczony na zapewnienie grupie 500 uczniów PPPZ założonego w wariantach 1 i 4 w scenariuszu II: średnia $\pm 95\%$ przedział ufności. ....	135
Tabela 41: Średnia liczba zrealizowanych przez personel lekarski dodatkowych indywidualnych pogadek edukacyjnych dla wybranych uczniów, spośród badanej grupy 500 uczniów, podczas każdego roku ich edukacji w szkole podstawowej (wariant 4, scenariusz II). ....	135
Tabela 42: Porównanie średnich czasów pracy personelu lekarskiego w kolejnych latach edukacji, badanej grupy 500 uczniów w wariantach 1 i 4 w scenariuszu II za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody. ....	136
Tabela 43: Wyniki trzech wariantów przeprowadzonych w ramach scenariusza III. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym, umiarkowanym i złym na zakończenie edukacji określona na podstawie 10 powtórzeń oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. Wartość procentowa informuje o tym, ile spośród 500 uczniów osiągnęło określony stan na zakończenie edukacji w szkole podstawowej. ....	137
Tabela 44: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ dobrym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 3 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu III za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, a $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.	140
Tabela 45: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ umiarkowanym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 3 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu III za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, a $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody. ....	140
Tabela 46: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ złym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 3 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu III za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, a $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody. ....	141
Tabela 47: Wyniki trzech wariantów przeprowadzonych w ramach scenariusza IV. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym, umiarkowanym i złym na zakończenie edukacji, określona na podstawie 10 powtórzeń oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. Wartość procentowa informuje o tym, ile spośród 500 uczniów osiągnęło określony stan na zakończenie edukacji w szkole podstawowej. ....	142
Tabela 48: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ dobrym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu IV za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, a $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.	145
Tabela 49: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ umiarkowanym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu IV za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, a $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody. ....	145
Tabela 50: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ złym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu IV za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, a $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody. ....	146
Tabela 51: Wyniki trzech wariantów przeprowadzonych w ramach scenariusza V. Średnia liczba uczniów z SPZ dobrym, umiarkowanym i złym na zakończenie edukacji określona na podstawie 10 powtórzeń oraz 95% przedział ufności dla grupy 500 uczniów. Wartość procentowa informuje o tym, ile spośród 500 uczniów osiągnęło określony stan na zakończenie edukacji w szkole podstawowej. ....	147
Tabela 52: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ dobrym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu V za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, a $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody.	149
Tabela 53: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ umiarkowanym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu V za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, a $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody. ....	150
Tabela 54: Porównanie średniej liczby uczniów z SPZ złym na zakończenie edukacji w wariantach 2 i 4 w stosunku do wariantu 1 w scenariuszu V za pomocą dwustronnego testu t-Studenta dla 10 obserwacji, gdzie $x$ oznacza średnią, $s^2$ wariancję, a $t_{(18)}$ oznacza wynik testu dla osiemnastu stopni swobody. ....	150

Tabela 55: Porównanie procentowych udziałów średnich liczb uczniów z SPZ złym na zakończenie edukacji w szkole podstawowej, spośród badanej grupy 500 uczniów, w wybranych wariantach w scenariuszach od I do V.....	152
--	-----

# Załącznik 1

## Kwestionariusz ankietowy

---

Szanowni Państwo,

Nazywam się Maria Hajłasz i jestem doktorantką na Politechnice Wrocławskiej. W ramach mojej pracy naukowej zajmuje się szeroko pojętym zarządzaniem w kontekście próchnicy zębów u dzieci w wieku szkolnym. Niniejsza ankieta posłuży mi do realizacji założeń badawczych.

Celem niniejszej ankiety jest zbadanie opinii lekarzy stomatologów w zakresie profilaktyki i występowania próchnicy zębów u dzieci.

Ankieta jest w pełni anonimowa i jej wypełnienie nie powinno zająć więcej niż 5 minut.

Dziękuję!

---

### Metryczka

Wiek: \_\_\_\_\_

Lata praktyki: \_\_\_\_\_

Płeć: K  M

Specjalizacja: \_\_\_\_\_

### Aktualne miejsce pracy:

Własna praktyka

Prywatna opieka

Publiczna opieka

---

### Nastawienie lekarzy do leczenia dzieci i problemu choroby próchnicy

W skali od 1 do 5 (1-zdecydowanie nie, 5-zdecydowanie tak) odpowiedz na poniższe pytania.

	zdecydowanie nie	nie	nie wiem	tak	zdecydowanie tak
1. Czy lubisz przyjmować dzieci?	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>
2. Czy uważasz, że dziecko jest trudnym pacjentem?	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>
3. Czy uważasz, że próchnica wśród dzieci w wieku szkolnym stanowi poważny problem zdrowotny?	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>

4. Czy uważasz, że świadomość rodziców w kwestiach dotyczących próchnicy jest wystarczająca? 1  2  3  4  5

5. Czy uważasz, że higienistki stomatologiczne powinny być bardziej niż obecnie zaangażowane w działania profilaktyczne próchnicy zębów? 1  2  3  4  5

---

### **Profilaktyka próchnicy zębów w szkołach**

*Odpowiedz na poniższe pytania.*

Jak często powinny odbywać się przeglądy zębów u dziecka w szkole podstawowej?

.....

Jaki średni czas należy poświęcić na przegląd zębów u dziecka powyżej 6 roku życia?

.....

Ile średnio trwa lakowanie jednego zęba?

.....

Ile średnio trwa lapisowanie jednego zęba?

.....

Ile średnio trwa „pogadanka edukacyjna” z dzieckiem?

.....

Czy uważasz, że profilaktyka we wrocławskich szkołach podstawowych jest prowadzona w wystarczający sposób?

- tak
- nie mam zdania
- nie

Uzasadnij dlaczego tak uważasz (jeżeli w pytaniu 12 odpowiedź tak/nie):

.....

Problem choroby próchnicy wśród dzieci we wrocławskich szkołach podstawowych...

- nie zmienia się na przestrzeni lat
- uległ nasileniu w przeciągu ostatnich 10 lat
- uległ osłabieniu w przeciągu ostatnich 10 lat

### Najlepsze sposoby zapobiegania próchnicy

W skali od 1 do 5 (1-zdecydowanie nie przyczynia się, 5-zdecydowanie przyczynia się) zaznacz w jakim stopniu według Ciebie dany czynnik przyczynia się do zapobiegania próchnicy u dzieci

	zdecydowanie nie	nie	nie wiem	tak	zdecydowanie tak
A. Właściwa dieta w ciąży	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>
B. Używanie odrębnych sztućców z dzieckiem	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>
C. Systematyczne i dokładne mycie zębów	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>
D. Zbilansowana dieta	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>
E. Świadomi rodzice	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>
F. Profilaktyka prowadzona na własną rękę (rodzice zabierają dziecko do stomatologa)	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>
G. Profilaktyka prowadzona w szkole	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>

### Które z powyższych czynników w najwyższym stopniu zapobiegają próchnicy?

Wybierz max trzy odpowiedzi

- |                          |   |                          |   |
|--------------------------|---|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | A | <input type="checkbox"/> | E |
| <input type="checkbox"/> | B | <input type="checkbox"/> | F |
| <input type="checkbox"/> | C | <input type="checkbox"/> | G |
| <input type="checkbox"/> | D |                          |   |



## Załącznik 2

### Analiza przedziałów ufności

Tabela 1: Wyniki analizy przedziałów ufności (alfa 0.05) przeprowadzone dla średnich uzyskanych w każdym powtórzeniu dla parametrów: zęby mleczne, puwz<sup>66</sup>, zęby stałe i PUWZ dla grupy siedmiolatków.

Nr powtórzenia	zęby mleczne		puwz		zęby stałe		PUWZ	
	średnia	ufność	średnia	ufność	średnia	ufność	średnia	ufność
1	14,95	0,11	4,10	0,23	8,80	0,11	0,60	0,05
2	14,84	0,10	4,18	0,22	8,83	0,10	0,61	0,05
3	14,81	0,11	4,09	0,22	8,98	0,11	0,62	0,05
4	14,80	0,10	4,25	0,23	8,87	0,11	0,63	0,05
5	14,80	0,11	4,10	0,22	8,87	0,11	0,61	0,05
6	14,85	0,11	4,04	0,24	8,92	0,10	0,58	0,05
7	14,90	0,11	4,07	0,23	8,92	0,10	0,59	0,05
8	14,87	0,11	4,06	0,23	8,87	0,11	0,59	0,05
9	14,87	0,10	3,88	0,24	8,91	0,10	0,58	0,05
10	14,84	0,11	4,16	0,23	8,87	0,10	0,65	0,05

Tabela 2: Wyniki analizy przedziałów ufności (alfa 0.05) przeprowadzone dla średnich uzyskanych w każdym powtórzeniu dla parametrów: zęby mleczne, puwz, zęby stałe i PUWZ dla grupy dziesięciolatków.

Nr powtórzenia	zęby mleczne		puwz		zęby stałe		PUWZ	
	średnia	ufność	średnia	ufność	średnia	ufność	średnia	ufność
1	3,91	0,13	1,63	0,09	19,59	0,15	1,26	0,08
2	3,79	0,14	1,65	0,09	19,69	0,15	1,23	0,08
3	3,86	0,14	1,68	0,09	19,69	0,15	1,27	0,08
4	3,88	0,14	1,70	0,09	19,60	0,15	1,29	0,08
5	3,81	0,13	1,62	0,09	19,54	0,14	1,31	0,08
6	3,87	0,14	1,63	0,09	19,77	0,14	1,18	0,09
7	3,92	0,14	1,67	0,09	19,75	0,14	1,21	0,08
8	3,95	0,14	1,74	0,09	19,58	0,14	1,21	0,08
9	3,93	0,14	1,62	0,09	19,75	0,15	1,25	0,08
10	3,82	0,14	1,69	0,09	19,52	0,14	1,29	0,08

<sup>66</sup> puwz/PUWZ – wskaźniki informujące o liczbie zębów z próchnicą, usuniętych i wypełnionych z powodu próchnicy (puwz pisany małymi literami odnosi się zębów mlecznych, PUWZ pisany wielkimi literami do zębów stałych).

Tabela 3: Wyniki analizy przedziałów ufności (alfa 0.05) przeprowadzone dla średnich uzyskanych w każdym powtórzeniu dla parametrów: zęby mleczne, puwz, zęby stałe i PUWZ dla grupy dwunastolatków.

Nr powtórzenia	zęby mleczne		puwz		zęby stałe		PUWZ	
	średnia	ufność	średnia	ufność	średnia	ufność	średnia	ufność
1	-	-	-	-	25,51	0,11	3,06	0,15
2	-	-	-	-	25,60	0,11	3,01	0,15
3	-	-	-	-	25,61	0,11	3,13	0,15
4	-	-	-	-	25,62	0,11	3,27	0,14
5	-	-	-	-	25,52	0,10	3,13	0,14
6	-	-	-	-	25,68	0,11	2,85	0,16
7	-	-	-	-	25,64	0,11	3,07	0,15
8	-	-	-	-	25,56	0,11	3,04	0,15
9	-	-	-	-	25,60	0,11	2,96	0,15
10	-	-	-	-	25,60	0,11	3,11	0,15

Tabela 4: Wyniki analizy przedziałów ufności (alfa 0.05) przeprowadzone dla średnich uzyskanych w każdym powtórzeniu dla parametrów: zęby mleczne, puwz, zęby stałe i PUWZ dla grupy piętnastolatków.

Nr powtórzenia	zęby mleczne		puwz		zęby stałe		PUWZ	
	średnia	ufność	średnia	ufność	średnia	ufność	średnia	ufność
1	-	-	-	-	27,82	0,03	4,59	0,19
2	-	-	-	-	27,86	0,03	4,60	0,19
3	-	-	-	-	27,86	0,03	4,64	0,19
4	-	-	-	-	27,82	0,03	4,84	0,19
5	-	-	-	-	27,85	0,03	4,69	0,00
6	-	-	-	-	27,85	0,03	4,41	0,21
7	-	-	-	-	27,82	0,03	4,61	0,19
8	-	-	-	-	27,84	0,03	4,59	0,19
9	-	-	-	-	27,85	0,03	4,52	0,21
10	-	-	-	-	27,83	0,03	4,57	0,19

## Załącznik 3

# Dokumentacja STRESS-DES<sup>1</sup>

Tabela 1: Lista kontrolna STRESS<sup>2</sup>, sekcja wraz ze szczegółowymi elementami.

Cele <sup>3</sup>	
Cel modelu <sup>4</sup>	Cel modelu został opisany w części IV, pkt. 1.
Wskaźniki wyjściowe <sup>5</sup>	Wyjścia modelu opisano w części III, pkt. 3.6.
Cele eksperymentów <sup>6</sup>	Cele zostały opisane w części IV, pkt. 1.
Model konceptualny <sup>7</sup>	
Diagram modelu bazowego <sup>8</sup>	Uproszczony bazowy diagram modelu przedstawiono w części III, pkt. 4. na rysunku 9.
Model logiczny <sup>9</sup>	Model logiczny został opisany w części III, pkt. 4.
Koncepcja scenariuszy <sup>10</sup>	Koncepcja scenariuszy została opisana w części IV, pkt. 2.
Algorytmy <sup>11</sup>	Algorytmy wykorzystane w modelu opisano w części III, pkt. 4.
Komponenty <sup>12</sup>	<p><b>Obiekty dynamiczne<sup>13</sup></b> – w modelu występują dwa typy obiektów: dzień oraz uczeń. Dzień jest obiektem wygenerowanym raz po uruchomieniu symulacji. Jego funkcją jest kontrolowanie upływu symulowanego czasu. W ramach drugiego typu obiektów wskazano ucznia. Na początku każdego roku szkolnego generowane są obiekty dynamiczne reprezentujące uczniów, którzy przebywają w modelu tyle, ile trwa ich edukacja w szkole podstawowej.</p>

<sup>1</sup> Dokumentację sporządzono na podstawie: Monks, T., Currie, C. S. M., Onggo, B. S., Robinson, S., Kunc, M., i Taylor, S. J. E. (2019). Strengthening the reporting of empirical simulation studies: Introducing the STRESS guidelines. *Journal of Simulation*, 13(1), 55–67. <https://doi.org/10.1080/17477778.2018.1442155>.

<sup>2</sup> Ang. Strengthening the reporting of empirical simulation studies.

<sup>3</sup> Ang. Objectives.

<sup>4</sup> Ang. Purpose of the model.

<sup>5</sup> Ang. model outputs.

<sup>6</sup> Ang. Experimentation aims.

<sup>7</sup> Ang. Logic.

<sup>8</sup> Ang. Base model overview diagram.

<sup>9</sup> Ang. Base model logic.

<sup>10</sup> Ang. Scenario logic.

<sup>11</sup> Ang. Algorithms.

<sup>12</sup> Ang. Components.

<sup>13</sup> Ang. Entities

---

Każdy uczeń ma przypisane swoje indywidualne cechy/atrzybuty, które zostały opisane w części III, pkt. 3.5. tabela 8.

**Czynności**<sup>14</sup> – wszyscy uczniowie rozpoczynają edukację w pierwszej klasie szkoły podstawowej. Uczęszczają do szkoły przez osiem lat, każdego roku przechodząc do kolejnej klasy (od 1 do 8). Każdego roku uczniowie mają zapewniane świadczenia profilaktyczne zaplanowane w ramach programu profilaktyki próchnicy zębów. Część świadczeń uczniowie mają zapewniane indywidualnie a część grupowo (w ramach całej klasy).

**Zasoby czyli stanowiska obsługi**<sup>15</sup> – można wskazać dwa rodzaje zasobów: personel lekarski i personel pielęgniarski. Personel lekarski i personel pielęgniarski pracują według harmonogramów (personel lekarski – 6, pielęgniarski – 8 godzin dziennie w dni robocze) i zapewnia uczniom świadczenia profilaktyczne.

**Kolejki**<sup>16</sup> – Zasada wyboru zgłoszeń z kolejek opiera się na zasadzie FIFO<sup>17</sup>.

**Punkty wejścia/wyjścia**<sup>18</sup> – Co roku określona liczba uczniów napływa do modelu i rozpoczyna edukację. Po ośmiu latach kończy edukację i opuszcza model.

Dane <sup>19</sup>	
Źródła danych <sup>20</sup>	Źródła danych opisano w części III, pkt. 3.2
Parametry wejściowe <sup>21</sup>	Parametry wejściowe zostały opisane w części III, pkt. 3.2
Wstępna obróbka danych <sup>22</sup>	Dane wejściowe przedstawiały średnie i odchylenia od średnich. Dane były w modelu implementowane za pomocą rozkładów trójkątnych, które okazały się najadekwatniej dobranymi rozkładami odwzorowującymi w modelu liczbę zębów mlecznych, zębów stałych wskaźniki puwz i PUWZ <sup>23</sup> . Wartość minimalną rozkładów wyliczano na podstawie średniej rzeczywistej i odchylenia od tej średniej. Jeżeli wychodziła wartość ujemna, wówczas jako parametr minimalny rozkładu przyjmowano wartość równą 0.01. Jeżeli

---

<sup>14</sup> Ang. Activities.

<sup>15</sup> Ang. Resources.

<sup>16</sup> Ang. Queues.

<sup>17</sup> Ang. First in first out.

<sup>18</sup> Ang. Entry/Exit Points.

<sup>19</sup> Ang. Data.

<sup>20</sup> Ang. Data sources.

<sup>21</sup> Ang. Input parameters.

<sup>22</sup> Ang. Pre-processing.

<sup>23</sup> puwz/PUWZ – wskaźniki informujące o liczbie zębów z próchnicą, usuniętych i wypełnionych z powodu próchnicy (puwz pisany małymi literami odnosi się do zębów mlecznych, PUWZ pisany wielkimi literami do zębów stałych).

	natomiast wartość maksymalna – liczona jako średnia plus odchylenie – dla liczby zębów mlecznych przekraczała 28, wówczas przyjmowano 28 jako parametr maksymalny rozkładu trójkątnego. Więcej szczegółów opisano w części III, pkt. 3.2.
Założenia <sup>24</sup>	Założenia opisano w części III, pkt. 3.
Eksperymentowanie <sup>25</sup>	
Inicjalizacja <sup>26</sup>	Przeprowadzono analizę typu <i>steady state</i> , ustalono okres rozgrzewania równy ośmiu latom edukacji tak, żeby cała szkoła wypełniła się uczniami.
Długość powtórzenia <sup>27</sup>	Założenia dotyczące długości powtórzenia opisano w części III, pkt. 3.8 i części III, pkt. 4.2.
Podejście do szacowania <sup>28</sup>	Dla każdego scenariusza zastosowano 10 powtórzeń na podstawie metody analizy przedziałów ufności <sup>29</sup> . Wykorzystano estymację przedziałową, a nie punktową.
Implementacja <sup>30</sup>	
Oprogramowanie lub język programowania <sup>31</sup>	Model komputerowy został oprogramowany za pomocą narzędzia informatycznego opartego na języku SIMAN. Wykorzystano środowisko Arena by Rockwell Automation, które jest wizualno-interaktywną platformą modelowania VIS <sup>32</sup> .
Dobór losowy <sup>33</sup>	Liczby losowe są generowane z czterech ciągów liczb losowych za pomocą generatorów w Arenie.
Wykonalność modelu <sup>34</sup>	W badaniach wykorzystano symulację zdarzeń dyskretnych (DES) <sup>35</sup> do dynamicznego modelowania przepływu uczniów od rozpoczęcia do zakończenia edukacji w szkole podstawowej.
Specyfikacja systemu <sup>36</sup>	W celu uruchomienia modelu w programie Arena na komputerze muszą zostać spełnione wymagania komputera wskazane na stronie producenta oprogramowania <sup>37</sup> .

<sup>24</sup> Ang. Assumptions.

<sup>25</sup> Ang. Experimentation.

<sup>26</sup> Ang. Initialisation.

<sup>27</sup> Ang. Run length.

<sup>28</sup> Ang. Estimation approach.

<sup>29</sup> Robinson, S. (2004). *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.

<sup>30</sup> Ang. Implementation.

<sup>31</sup> Ang. Software or programming language.

<sup>32</sup> Ang. Visual interactive simulation.

<sup>33</sup> Ang. Random sampling.

<sup>34</sup> Ang. Model execution.

<sup>35</sup> Ang. Discrete event simulation.

<sup>36</sup> Ang. System specification.

<sup>37</sup> <https://www.rockwellautomation.com/en-us.html>

Dostęp do źródła<sup>38</sup>

Stanowisko w sprawie

udostępniania modelu

komputerowego<sup>39</sup>

Model został opublikowany w otwartym repozytorium danych<sup>40</sup>.

---



---

<sup>38</sup> Ang. Code access.




<sup>39</sup> Ang. Computer model sharing statement.

<sup>40</sup> Hajłasz M. (2024). *Dyskretny model symulacyjny do wspomagania planowania programów profilaktyki próchnicy zębów*. <https://doi.org/10.18150/5HXVGT>.




Tabela 1: Weryfikacja poprawności zachowywania się modelu: kierowanie uczniów na lakowanie. Przyjęte oznaczenia „Zęby st.” oznacza Zęby stałe, a „Zęby zal.” oznacza zęby zalakowane.


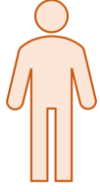
ANALIZA			WERYFIKACJA		
Charakterystyka ucznia w momencie weryfikacji	Spodziewana decyzja	Spodziewany blok weryfikacyjny	Osiągnięty blok weryfikacyjny	Parametry w bloku weryfikacyjnym	Czy model zachował się zgodnie z oczekiwaniami
19 dzień symulacji  ID ucznia:1 Rok rozp. szk.:1 Rok edukacji:1 <b>Zęby st.:4</b> <b>Zęby zal.:0</b>	Uczeń zostanie skierowany do lakowania i będzie miał zalakowane 4 zęby	Punkt kontrolny 1	Punkt kontrolny 1	<b>Zęby st.:4</b> <b>Zęby zal.:4</b>	TAK
23 dzień symulacji  ID ucznia:13 Rok rozp. szk.:1 Rok edukacji:1 <b>Zęby st.:7</b> <b>Zęby zal.:0</b>	Uczeń zostanie skierowany do lakowania i będzie miał zalakowane 4 zęby	Punkt kontrolny 1	Punkt kontrolny 1	<b>Zęby st.:7</b> <b>Zęby zal.:4</b>	TAK

**Załącznik 4**  
**Weryfikacja poprawności**  
**kierowania na lakowanie**

68 dzień symulacji		ID ucznia:2 Rok rozp. szk.:1 Rok edukacji:1 <b>Zęby st.:1</b> <b>Zęby zal.:1</b>	Uczeń ma zalakowane wszystkie zęby stałe, więc nie zostanie skierowany do lakowania.	Punkt kontrolny 2	Punkt kontrolny 2	<b>Zęby st.:1</b> <b>Zęby zal.:1</b>	TAK
380 dzień symulacji		ID ucznia:21 Rok rozp. szk.:2 Rok edukacji:1 <b>Zęby st.:7</b> <b>Zęby zal.:0</b>	Uczeń zostanie skierowany do lakowania i będzie miał zalakowane 4 zęby	Punkt kontrolny 1	Punkt kontrolny 1	<b>Zęby st.:7</b> <b>Zęby zal.:4</b>	TAK
402 dzień symulacji		ID ucznia: 1 Rok rozp. szk.:2 Rok edukacji:2 <b>Zęby st.:7</b> <b>Zęby zal.:2</b>	Uczeń ma zalakowane 2 zęby, a posiada 7 zębów stałych, więc zostanie skierowany do lakowania i będzie miał zalakowane dwa zęby.	Punkt kontrolny 1	Punkt kontrolny 1	<b>Zęby st.:7</b> <b>Zęby zal.:4</b>	TAK



743 dzień symulacji		ID ucznia:24 Rok rozp. szk.:2 Rok edukacji:2 <b>Zęby st.:8</b> <b>Zęby zal.:3</b>	Uczeń ma zalakowane 3 zęby, a posiada 8 zębów stałych, więc zostanie skierowany do lakowania i będzie miał zalakowany jeden ząb.	Punkt kontrolny 1	Punkt kontrolny 1	<b>Zęby st.:8</b> <b>Zęby zal.:4</b>	TAK
1112 dzień symulacji		ID ucznia:61 Rok rozp. szk.:4 Rok edukacji:1 <b>Zęby st.:4</b> <b>Zęby zal.:0</b>	Uczeń nie ma zalakowanych zębów, a posiada 4 zęby stałe, w związku z tym zostanie skierowany do lakowania i będzie miał zalakowane 4 zęby.	Punkt kontrolny 1	Punkt kontrolny 1	<b>Zęby st.:4</b> <b>Zęby zal.:4</b>	TAK
1479 dzień symulacji		ID ucznia:65 Rok rozp. szk.:4 Rok edukacji:2 <b>Zęby st.:8</b> <b>Zęby zal.:3</b>	Uczeń ma 8 zębów stałych i 3 zalakowane, w związku z tym zostanie skierowany do lakowania 1 zęba.	Punkt kontrolny 1	Punkt kontrolny 1	<b>Zęby st.:8</b> <b>Zęby zal.:4</b>	TAK

1543 dzień symulacji		ID ucznia:96 Rok rozp. szk.:5 Rok edukacji:1 <b>Zęby st.:3</b> <b>Zęby zal.:3</b>	Uczeń ma zalakowane wszystkie zęby stałe, więc nie zostanie skierowany do lakowania.	Punkt kontrolny 2	Punkt kontrolny 2	<b>Zęby st.:3</b> <b>Zęby zal.:3</b>	TAK
2211 dzień symulacji		ID ucznia:103 Rok rozp. szk.:6 Rok edukacji:2 <b>Zęby st.:5</b> <b>Zęby zal.:0</b>	Uczeń ma 5 zębów stałych i 0 zalakowanych, więc zostanie skierowany na lakowanie 4 zębów.	Punkt kontrolny 1	Punkt kontrolny 1	<b>Zęby st.:5</b> <b>Zęby zal.:4</b>	TAK