



Politechnika Wrocławska

DZIEDZINA: nauki inżynieryjno-techniczne

DYSCYPLINA: architektura i urbanistyka

ROZPRAWA DOKTORSKA

Symulator aktywności spacerowej (SAS) do pomiaru efektywności zdrowotnej miejskich przestrzeni rekreacyjnych

Mgr inż. arch. Mikołaj Szurlej

Promotorka:

Dr hab. inż. arch. Anna Bać, prof. PWr

Promotor pomocniczy:

dr inż. arch. Maciej Szarejko

Słowa kluczowe: symulator wieloagentowy pieszej aktywności rekreacyjnej, komputerowe wspomaganie decyzji projektowych, urbanistyczne niedobory aktywności fizycznej, wpływ środowiska zbudowanego na zachowanie użytkowników, modelowanie agentowe ruchu spacerowego

WROCŁAW 2024

Podziękowania

Autor pragnie szczególnie podziękować za szereg merytorycznych konsultacji ze specjalistami z dziedziny programowania (mgr Maciej Kamiński, mgr Patryk Siedlecki), matematyki (prof. Rafał Weron, mgr Angelika Abramiuk-Szurlej, dr Tomasz Weron), socjofizyki (prof. Katarzyna Weron), psychologii (dr Katarzyna Zahorodna), medycyny (prof. Przemysław Guzik) oraz planowania przestrzennego (dr Tymon Dmochowski). Szczególne podziękowania należą się promotorce pracy prof. Annie Bać za szerokie wsparcie zarówno merytoryczne, jak i motywacyjne, nieocenioną pomoc w urealnianiu przerastających autora zamierzeń oraz wnikliwe dopilnowanie ostatecznego kształtu pracy. Dziękuję serdecznie promotorowi pomocniczemu dr Maciejowi Szarejko za porywające wprowadzenie do tematyki badań, nieustanną wymianę myśli, otwarte dzielenie się wszystkimi pomysłami oraz 4 lata wspólnej intensywnej pracy nad niezliczoną liczbą modeli agentowych.

Streszczenie pracy w języku polskim

W pracy przedstawiono proces, który doprowadził do stworzenia symulatora aktywności spacerowej (SAS) - innowacyjnego narzędzia wspierającego architektoniczno-urbanistyczne decyzje inwestycyjno-projektowe w zakresie poprawy kondycji zdrowotnej społeczeństwa. Główną motywacją podjęcia badań była potrzeba poprawy jakości życia mieszkańców miast poprzez optymalizację rekreacyjnych przestrzeni publicznych, co stanowi istotny wkład w rozwiązanie problemu niedoboru codziennej aktywności fizycznej w nowoczesnych środowiskach zurbanizowanych.

W rozprawie wskazano na lukę badawczą w postaci braku narzędzi pozwalających na symulację aktywności spacerowej w przestrzeniach urbanistycznych. Celem pracy było stworzenie modelu SAS, umożliwiającego mierzenie wpływu różnych wariantów przestrzennych na aktywność fizyczną lokalnych mieszkańców. Praca zakładała, że na bazie wiedzy z zakresu medycyny, psychologii oraz symulacji komputerowych można stworzyć symulator, który pozwoli porównywać warianty projektów pod kątem ich oddziaływania na podejmowanie spacerów przez mieszkańców badanego obszaru.

W części teoretycznej przeprowadzono interdyscyplinarną analizę literatury, która umożliwiła opracowanie wytycznych dla algorytmu SAS. Prace praktyczne obejmowały zbudowanie symulatora oraz jego walidację w rzeczywistych lokalizacjach na przykładzie miasta Wrocław oraz wybranych miast chińskich. Symulator przeszedł pomyślną weryfikację, generując stabilne i powtarzalne wyniki w postaci map i wykresów aktywności fizycznej, co dowiodło, że opracowany model skutecznie odzwierciedla wybrane aspekty rzeczywistych zachowań spacerowiczów.

Opracowany symulator SAS ma również istotną wartość aplikacyjną. Prototypowa wersja narzędzia została wdrożona w rzeczywiste procesy decyzyjne Zarządu Zieleni Miejskiej we Wrocławiu podczas wyboru inwestycji miejskich o największym potencjale aktywizacji ruchowej mieszkańców. Narzędzie zostało także udostępnione studentom Politechniki Wrocławskiej, wspierając ich prace analityczne w ramach projektów inżynierskich i magisterskich. Tym samym praca wniosła istotny wkład w rozwój dziedziny architektury i urbanistyki, otwierając nowe możliwości badań nad oddziaływaniem przestrzeni zbudowanej na zdrowie człowieka.

Streszczenie pracy w języku angielskim

The study presents the process leading to the development of the Walking Activity Simulator (SAS)—an innovative tool designed to support architectural and urban investment and planning decisions aimed at improving public health. The primary motivation behind the research was the need to enhance the quality of urban life by optimizing recreational public spaces, which contributes significantly to addressing the shortage of daily physical activity in modern urban environments.

The dissertation identifies a research gap: the lack of tools to simulate walking activity in urban spaces. The goal was to create an SAS model capable of measuring the impact of various spatial configurations on the physical activity of local residents. The study assumed that, by integrating insights from medicine, psychology, and computer simulation, it is possible to develop a simulator that enables comparison of project variants based on their influence on residents' walking activity within the studied area.

The theoretical section includes an interdisciplinary literature review that provided guidelines for the SAS algorithm. The practical work involved constructing the simulator and validating it through real-world applications, using the city of Wrocław and selected Chinese cities as case studies. The simulator successfully underwent verification, generating stable and repeatable results in the form of physical activity maps and charts, proving that the developed model effectively reflects selected aspects of real-life walking behaviors.

The developed SAS simulator also holds substantial practical value. A prototype version of the tool has been implemented in real decision-making processes with the Municipal Greenery Board of Wrocław to support the selection of urban investments with the highest potential to encourage resident mobility. The tool was also made available to students at the Wrocław University of Science and Technology, assisting in analytical work for engineering and master's projects. This research thus makes a significant contribution to the field of architecture and urban planning, opening new avenues for exploring the impact of built environments on public health.

Spis treści

I.	Wstęp	4
I.1	Uzasadnienie wyboru tematu	7
I.2	Cele i tezy pracy	8
I.3	Obszar i metody badawcze.....	9
I.4	Struktura pracy	10
II.	Część teoretyczna.....	13
II.1	Badania literaturowe z zakresu medycyny, psychologii i symulacji komputerowych 13	
II.2	Warunki i wytyczne dla budowy symulatora spontanicznej aktywności fizycznej w środowisku miejskim	53
III.	Część praktyczna – budowa symulatora aktywności rekreacyjnej	58
III.1	Wybór zjawiska świata rzeczywistego do odwzorowania w symulatorze	58
III.2	Wybór obiektów ze świata rzeczywistego do odwzorowania w symulatorze.....	59
III.3	Stworzenie algorytmu	61
III.4	Weryfikacja symulatora z użyciem pierwszego obszaru (Nowy Dwór we Wrocławiu)	65
III.5	Walidacja symulatora (Aneks II i Aneks III)	69
III.6	Podsumowanie wyników walidacji	70
IV.	Podsumowanie	82
IV.1	Osiągnięte wyniki	82
IV.2	Dyskusja	83
IV.3	Opis dotychczasowego wykorzystania symulatora	86
IV.4	Wnioski.....	87
V.	Słownik pojęć.....	88
VI.	Spis ilustracji.....	93
VII.	Bibliografia	96

I. Wstęp

W architekturze i urbanistyce jednym z wyzwań jest obiektywne porównanie wszystkich cech zestawianych ze sobą propozycji projektowych dla wybranego obszaru opracowania. Zarówno podczas procesu twórczego, jak i w końcowej fazie postępowania konkursowego, główną metodą na wyłonienie najlepszego rozwiązania jest dyskusja profesjonalistów. Na ocenę danej propozycji projektowej wpływa wiele aspektów. Pod uwagę brane jest chociażby nasłonecznienie, nowoczesność zastosowanych rozwiązań, wyeksponowanie elementów historycznych czy możliwości retencyjne. Jednym z kluczowych elementów oceny projektów przestrzennych powinien być – zdaniem autora – ich wpływ na zachowanie użytkowników, ponieważ złe rozwiązania architektoniczno-urbanistyczne mogą wywoływać erozję lokalnej społeczności na wielu płaszczyznach, a dobre mogą powodować jej rozwój i rozkwit. Przestrzeń w której żyjemy jest jednym z kluczowych czynników kształtujących nasze codzienne zachowania, które w długim terminie kształtują nasze nawyki wpływające na jakość życia.

Obecnie, mimo nowoczesnych możliwości obliczeniowych, przewidywanie sposobu zachowania człowieka w projektowanej przestrzeni jest procesem odbywającym się najczęściej w głowie projektanta-eksperta. Dlatego autor postawił sobie zadanie stworzenia od podstaw modelu symulującego wpływ projektowanego otoczenia na zachowanie człowieka w przestrzeni. Wspomniany model mógłby stać się załącznikiem do powstawania podobnych modeli odzwierciedlających kolejne aspekty zachowania użytkowników środowiska tworzonego przez architektów i urbanistów. W pracy szczególną uwagę zwrócono na odwzorowanie aspektu dostępności terenów rekreacyjnych. Stworzenie narzędzia mogłoby znacząco usprawnić podejmowanie korzystnych decyzji projektowych i przyczynić się tym samym do stopniowego wzrostu jakości życia w nieustannie ewoluującym środowisku zbudowanym.

W jaki sposób zdefiniować jakość życia i obiektywnie ją zmierzyć? Jest na to wiele metod i sposobów. Miarą jakości życia może być ekonomiczny status materialny mierzony np. jako PKB per capita. Jednak to stan zdrowia powoduje, że niekiedy jesteśmy skazani na określone wydatki tj. leki, opieka specjalistyczna, rehabilitacja, itd., a cała egzystencja w pewnym momencie okazuje się być jedynie zabieganiem o kolejny jej dzień. Mimo nowoczesności obecnych obiektów szpitalnych i sposobów leczenia, prawie nikt z własnej woli nie chciałby być chory. Sugerując się najnowszymi badaniami, w tej pracy za najbardziej obiektywny wyznacznik jakości życia przyjęto zdrowie człowieka (Karimi i Brazier, 2016). Rysunek 1 pokazuje, że u schyłku XX wieku średnia odczuwalna jakość życia gwałtownie spada w okolicach 40 roku życia. W XIX i XX wieku największe pole do poprawy istniało w wydłużeniu średniej długości życia. Obecnie żyjemy długo, a priorytetem staje się utrzymanie dobrego stanu zdrowia jak najdłużej, co przekłada się bezpośrednio na utrzymanie pożądanej jakości życia do późnej starości (Torrance, 1987).

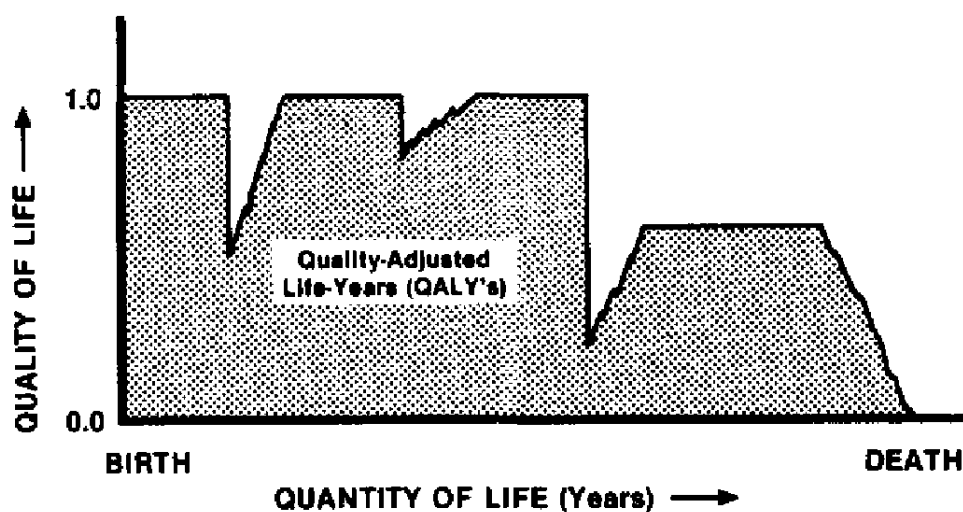


Fig. 1. Quality and quantity of life.

Rysunek 1

Wykres przedstawiający spadek jakości życia po około 40 latach życia;
źródło: Torrance, 1987, str 593.

Jednym z kluczowych czynników wpływających na zdrowie człowieka jest środowisko życia. Zanieczyszczone powietrze, hałas, brak odpowiedniego doświetlenia wydają się w sposób oczywisty niekorzystnie oddziaływać na ludzi. Jednak sam wpływ przestrzeni architektoniczno-urbanistycznych na jakość życia użytkowników zachodzi również w sposób mniej widoczny. Określona organizacja przestrzeni otaczającej człowieka, czyli tak zwanego środowiska zbudowanego, ma wpływ na jego zachowanie. Poprzez bodźce warunkowane konkretnym sposobem zaprojektowania układu funkcjonalno-przestrzennego człowiek nabywa nawyki codziennego zachowania. Nieustanna interakcja z tą samą przestrzenią życia powoduje powstawanie automatyzmów behawioralnych, które mogą negatywnie lub pozytywnie wpływać na nasze zdrowie, a co za tym idzie – jakość życia.

Jednym z najbardziej szkodliwych nawyków jest unikanie aktywności fizycznej, które wynika często z nieodpowiednio zaprojektowanego środowiska życia, które nie zachęca do spontanicznego zażywania ruchu. Przestrzenie zbudowane mogą motywować do aktywności, eksploracji, spotkań towarzyskich, ale mogą być również codzienną udręką, która zniechęca do odwiedzania pewnych miejsc przez bariery i natłok negatywnych bodźców. To przestrzeń może skutecznie powstrzymywać nas od zdrowego trybu życia, np. powodując, że decyzja o wyjściu na spacer wiąże się za każdym razem z przywoływaniem negatywnych wspomnień z poprzednich przechadzek i w efekcie do ich zaniku. Przeprowadzone w tej pracy badania pozwolą wykazać czy niesprzyjające spacerom środowisko życia w miastach jest jedną z przyczyn chronicznych niedoborów aktywności fizycznej, które odpowiadają za pandemię chorób przewlekłych w XXI wieku.

Tak jak w XIX i XX wieku, tak również obecnie, architektura i urbanistyka może spełnić kluczową rolę w prewencji współczesnych chorób cywilizacyjnych. Poprzez upowszechnienie nowych idei i norm w procesie projektowym (np. konieczność

przeprowadzenia dodatkowej analizy pod kątem wybranego zagadnienia, analogicznie do certyfikatu energetycznego, liniiki słońca, wentylacji/przewietrzania) można przyczynić się do powstania następnego systemowego podejścia projektowego, zachęcającego do uwzględnienia kolejnego aspektu oddziaływania projektowanej przestrzeni. Obecny sposób projektowania przestrzeni otwartych nie jest wspomagany odpowiednim narzędziem do analizy użytkowania rekreacyjnego ani normą bazującą na danych medyczno-behawioralnych. Jednocześnie istnieje wiele innych sposobów analiz ruchu pieszego, które aktualnie są szeroko rozwijane i wdrażane, ale skupiają się na chodzeniu w celach transportowych (z ang. „commuting”), tzn. np. na zakupy, do pracy, do szkoły. W przypadku chodzenia rekreacyjnego istnieje więcej barier powstrzymujących przed spontanicznym spacerem, niż przed obowiązkowym dotarciem do szkoły, sklepu lub miejsca pracy. Szczególnie projekty przestrzeni miejskich są nadal w zbyt małym stopniu analizowane pod kątem specyfiki rekreacyjnego ruchu pieszego przed ich realizacją, ponieważ nadal nie ma do tego celu odpowiednich metod i narzędzi symulacyjnych. Z tego powodu większość korzystnych rozwiązań w tym zakresie wynika obecnie głównie z intuicji i doświadczenia projektantów.

„Inżynier wie o czymś wszystko, architekt wie coś o wszystkim” (Matthew Frederick). To zdanie oddaje interdyscyplinarność nauk architektonicznych. Nie sposób uniknąć interdyscyplinarności w dziedzinie naukowej zajmującej się funkcjonowaniem człowieka w jego środowisku. „Podmiotem architektury jest człowiek” (Zbigniew Bać) i nie odkryto dotąd we wszechświecie istoty o bardziej złożonej gamie zachowań. Ponadto nauka rozwija się najdynamiczniej na granicach poszczególnych dyscyplin, w obrębie których dyskusja jest często ograniczona przez zbyt ścisłą przynależność tematyczną. Przykładów na to jest wiele (architektura-socjologia, socjofizyka, ekonofizyka, biologia-chemia, fizyka-matematyka, chemia-medycyna, medycyna-matematyka, itp.). Niebezpieczeństwo sztywnego ograniczania się w jednej dziedzinie może być tak samo szkodliwe jak zamykanie się w projektowaniu wyłącznie w granicach obszaru opracowania, bez osadzenia projektu w szerszym systemowym kontekście.

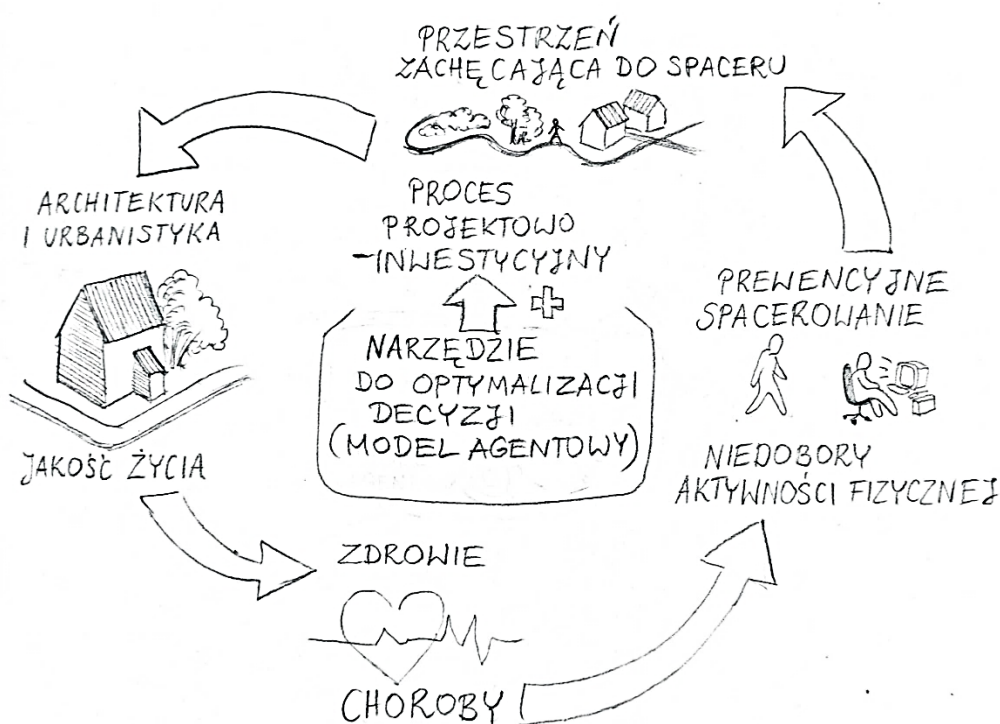
Prezentowana praca jest za mało medyczna dla medycyny, za mało w niej programowania dla informatyki, zbyt mało w niej urbanistyki dla planowania przestrzennego, ale jednocześnie znajduje się w zakresie architektury i urbanistyki, która jest najbardziej wszechstronną i humanistyczną z dziedzin inżynierii, będąc kwintesencją interdyscyplinarności i leżąc na styku dyscyplin ścisłych oraz społecznych. Architektura oddziałuje na każdy aspekt życia człowieka, stanowiąc środowisko zewnętrzne, które warunkuje określone zachowania i w konsekwencji przyczynia się do budowy korzystnych lub szkodliwych nawyków.

Nowe narzędzie do symulacji przestrzeni urbanistycznych powinno dać możliwość oceny projektów opartą o analizę wpływu poszczególnych rozwiązań na likwidowanie niedoborów aktywności fizycznej. Dzięki temu mogłoby się przyczynić do stopniowego powstawania w miastach nowego systemu infrastruktury rekreacyjnej, zapewniającej mieszkańcom codzienny dostęp do przestrzeni wspierających budowę korzystnych nawyków spacerowych.

Wiele czynników może zachęcać lub zniechęcać do spontanicznego wyjścia na spacer. Są to np.: występowanie atraktorów, dostępność ławek i toalet, zacienienie/nasłonecznienie, poczucie bezpieczeństwa, jak również czynniki społeczne i przestrzenie zielone. Jednak to

dostępność wydaje się być podstawowym warunkiem granicznym, bez spełnienia którego pozostałe wymienione wyżej czynniki, mogą nie być nawet brane pod uwagę. Jako że nie stworzono jeszcze narzędzia projektowania architektonicznego dedykowanego wprost ruchowi rekreacyjnemu, pierwszy symulator powinien być w jak największym stopniu uproszczony by ułatwić analizę wpływu poszczególnych parametrów na otrzymywane wyniki oraz sformułowanie ogólnych wniosków. Dlatego przy projektowaniu symulatora skoncentrowano się wyłącznie na dostępności terenów spacerowych, jako głównym wyznaczniku poprawnego działania systemu rekreacyjnego w przestrzeni miejskiej.

Paradoksalnie współczesne iluzyjne światy gier komputerowych mają wydajniejsze i bardziej rozbudowane algorytmy niż wiele modeli badawczych używanych do symulacji użytkowania realnej przestrzeni. Może to być spowodowane koniecznością prostoty pierwszych modeli w danej dziedzinie, by ułatwić analizę wpływu poszczególnych parametrów na otrzymywane wyniki oraz sformułowanie pewnych ogólnych wniosków, co nie jest łatwe w przypadku nadmiernej złożoności. Dodatkowo obecnie symuluje się częściej emisję CO₂, wpływ używanych materiałów na środowisko, energię rozchodzącą się w budynku czy ekstremalne przypadki ewakuacji pożarowej, niż codzienne zachowanie człowieka w projektowanej przestrzeni.



Rysunek 2
Schemat procesu myślowego, który posłużył do wyznaczenia wytycznych dla narzędzia symulacyjnego;
źródło: własne.

I.1 Uzasadnienie wyboru tematu

Rozpoczęcie pracy nad symulatorem aktywności spacerowej (SAS) motywowane jest dążeniem do poprawy jakości życia w miastach, poprzez lepsze kształtowanie publicznych przestrzeni rekreacyjnych. Zauważono lukę badawczą w postaci braku odpowiedzi na polu architektury i urbanistyki na bogaty dorobek medycyny i psychologii w zakresie wpływu

otoczenia na zdrowie i samopoczucie człowieka. Istnieje znaczący niedobór narzędzi symulujących codzienne użytkowanie oraz wpływ przestrzeni zbudowanej na zdrowie i nawyki mieszkańców, mimo że nowoczesne rozwiązania symulacyjne znajdują szerokie zastosowanie w innych dziedzinach, takich jak marketing, budownictwo, transport, biologia, medycyna czy ewakuacja pożarowa i efektywność energetyczna w architekturze. Procesy projektowo-decyzyjne w urbanistyce i architekturze nadal nie są wspierane narzędziami analitycznymi, które pozwalałyby prognozować, w jaki sposób konkretne rozwiązania przestrzenne wpływają na ruch i aktywność fizyczną użytkowników.

Kolejnym uzasadnieniem wyboru tematu jest wpływ architektury i urbanistyki na zdrowie publiczne. W kontekście współczesnych wyzwań, takich jak chroniczny niedobór ruchu, metody projektowe wydają się wciąż niedostatecznie uwzględniać kwestie wspierania aktywności fizycznej mieszkańców. Praktyki urbanistyczno-architektoniczne są często pozbawione narzędzi umożliwiających ocenę wpływu określonych rozwiązań przestrzennych na zdrowie i nawyki ruchowe ludzi. Brak dedykowanych narzędzi do mierzenia lub szacowania oddziaływania przestrzeni miejskich na zdrowie fizyczne i psychiczne mieszkańców stanowi jedną z barier dla zrównoważonego rozwoju miast.

Nie mniej istotną przyczyną podjęcia tematu są również osobiste doświadczenia autora. Wielokrotnie odczuwał wpływ uwarunkowań środowiska zbudowanego na codzienne zachowania, ponieważ przeszedł trzy przeprowadzki na przestrzeni czterech lat życia. Nerozerwalnie przypisany do adresu zamieszkania określony układ przestrzeni zaczął sprzyjać niekomfortowym sytuacjom, które deprymowały podjęcie wysiłku fizycznego i w konsekwencji przyczyniły się znacząco do zaniku nawyku biegania rekreacyjnego i spacerowania. Autor zauważył fenomen, że poprzez miejsce zamieszkania, człowiek jest niejako skazany na interakcje z niezmiennym układem przestrzeni zbudowanej. Fakt ten często nie sprzyja podejmowaniu zdrowej aktywności fizycznej i „wtłacza” człowieka w określone „koleiny” codziennych nawyków niszczących zdrowie.

I.2 Cele i tezy pracy

Celem głównym pracy jest odpowiedź na postawiony problem badawczy, jakim jest wykazanie możliwości zwiększenia efektywności rekreacyjnej rozwiązań przestrzennych w miastach, co docelowo ma poskutkować poprawą kondycji zdrowotnej społeczeństwa.

Próba spełnienia powyższego celu ma być osiągnięta poprzez stworzenie pionierskiego i praktycznego narzędzia ułatwiającego podejmowanie decyzji projektowych w zakresie środowiskowego wzmacniania zdrowych nawyków wśród mieszkańców przestrzeni zurbanizowanych. W efekcie praca wypełnia lukę w aktualnym stanie badań.

Celem pobocznym pracy jest analiza i systematyka interdyscyplinarnych zagadnień z zakresu medycyny, psychologii i komputerowych symulacji agentowych w obszarze wpływu przestrzeni zbudowanej na nawyki ruchowe człowieka oraz w konsekwencji określenie uwarunkowań i parametrów dla projektowanego narzędzia symulacyjnego.

Celem szczegółowym pracy jest wyposażenie tworzonego narzędzia w możliwość generowania map i wykresów aktywności fizycznej, umożliwiających dokładną ocenę analizowanych propozycji projektowych. Powyższa funkcjonalność może upowszechnić wykorzystanie narzędzia nie tylko przez profesjonalistów, ale także przez osoby nieobeznane z symulacjami komputerowymi, na przykład pracujące w lokalnych samorządach.

Umożliwi to ocenę skutków inwestycji w miejską infrastrukturę rekreacyjną na szeroką skalę oraz optymalizację rozwiązań projektowych.

Celem uniwersalnym pracy jest stworzenie kompendium wiedzy z pogranicza czterech dyscyplin, służącego dalszej ewolucji narzędzi do wspierania decyzji projektowych w skali urbanistycznej. Intencją autora jest opracowanie i zweryfikowanie metodologii konstruowania narzędzia symulacyjnego ruchu spacerowego. Co w efekcie zarysuje pole do dalszego rozwoju, stając się przyczynkiem do powstania kolejnych pokrewnych narzędzi symulacyjnych i studiów kolejnych przypadków przestrzennych z ich użyciem.

Teza 1: Bazując na podstawowej wiedzy z zakresu medycyny, psychologii i symulacji komputerowych możliwe jest stworzenie symulatora aktywności spacerowej (SAS) mieszkańców przestrzeni zurbanizowanych.

Teza 2: Symulator aktywności spacerowej (SAS) umożliwia jednoznaczną ocenę porównawczą badanych wariantów projektowych dzięki uzyskaniu stabilnych i powtarzalnych wyników.

I.3 Obszar i metody badawcze

Obszar badawczy niniejszej pracy obejmuje interdyscyplinarne zagadnienia z zakresu architektury i urbanistyki, medycyny, psychologii, a także programowania, w szczególności modelowania agentowego oraz niezbędnych narzędzi matematycznych, takich jak statystyka i rachunek prawdopodobieństwa.

Badania terytorialnie koncentrują się na mieście Wrocław oraz wybranych miastach chińskich, obejmując okres od 2000 do 2023 roku.

W pracy wykorzystano metody i narzędzia teoretyczne oraz praktyczne. W części teoretycznej posłużono się metodą desk-research. Na wstępie przeprowadzono badania literaturowe z zakresu medycyny, psychologii i symulacji komputerowych, które pozwoliły na określenie warunków i wytycznych dla budowy symulatora rekreacyjnej aktywności fizycznej.

Następnie przystąpiono do budowy pierwszego (pobocznego) modelu spacerowego, opierając jego działanie o zaczerpnięte z przeglądu literatury warunkowanie negatywne i dystanse społeczne Halla (Aneks I). Po otrzymaniu wstępnych wyników porzucono model i przystąpiono do prac nad SAS (III Część praktyczna), opierając go na przeciwnym zjawisku warunkowania pozytywnego i fenomenie uczenia się z własnych doświadczeń.

Po wybraniu zjawisk, a następnie związanych z nimi niezbędnych obiektów świata rzeczywistego do odwzorowania w symulatorze, rozpoczęto opracowywanie algorytmu określającego zachowania i relacje pomiędzy symulowanymi obiektami. Z użyciem narzędzi matematycznych (schemat Bernoulliego) przekształcono cechy obserwowanych zjawisk na wartości prawdopodobieństw stosowanych w autorskim programie (napisanym w GAML).

W kolejnym kroku przystąpiono do weryfikacji stworzonego narzędzia SAS poprzez przeprowadzenie pierwszych eksperymentów na przykładzie parku na Nowym Dworze we Wrocławiu, gdzie wspierano się własnymi obserwacjami w postaci wizji lokalnych (11 wizyt w przeciągu 6 miesięcy). Pozyskano dane przestrzenne z pomocą programu QGIS, które następnie opracowano w programie AutoCAD i zaimplementowano do symulatora.

Przeprowadzono łącznie 400 symulacji na 39 wariantach programu. Ostateczne wyniki w postaci map i wykresów aktywności fizycznej potwierdziły, że 39-ta wersja programu spełnia przyjęte założenia i nie zawiera błędów, tym samym przeszła pozytywnie weryfikację.

Następnie z użyciem zweryfikowanej 39-tej wersji programu przeprowadzono walidację dostarczając dowód, że symulator może być użyteczny dla różnych rodzajów badanych terenów. Wybór obszarów do walidacji opisano szczegółowo w Aneksie II, a wyniki 290 symulacji zawarto w postaci map i wykresów aktywności fizycznej w Aneksie III. Uzyskane podczas symulacji wyniki zestawiono w postaci wykresów oraz map aktywności. Najciekawsze wyniki przedstawiono w podsumowaniu i dokonano analizy porównawczej, gdzie kluczem było zestawienie przypadków otrzymywanych z użyciem tych samych parametrów dla kilku badanych geometrii. W ten sposób przetestowano, czy symulator daje stabilną hierarchię rozwiązań geometrycznych dla różnych kombinacji parametrów i różnych geometrii. Po pomyślnej walidacji nakreślono przyszłe kierunki rozwoju symulatora i sformułowano wnioski wieńczące całość pracy.

Reasumując w pracy zastosowano metody ilościowe w postaci symulacji komputerowych, eksperymentów na różnych zestawach parametrów stworzonego modelu oraz analizy statystycznej otrzymanych wyników. Wykonano 45 modeli próbnych (6 wersji pobocznego i 39 wersji głównego modelu) z użyciem których przeprowadzono łącznie około 750 symulacji (60 Park Staszica [model poboczny], 400 Nowy Dwór, 140 parki chińskie i 150 Zakrzów). Wykorzystano również metody jakościowe, takie jak szczegółowa analiza obszarów opracowania w postaci 42 wizji terenowych Wrocławiu na przestrzeni 3 lat, wizji zdalnych parków chińskich poprzez Open Street View, analiz porównawczych oraz dyskusji z ekspertami. W pracy wspomagano się narzędziami AutoCAD, QGIS, GAMA Platform (w języku GAML), GIMP, Microsoft Excel, a sam manuskrypt opracowano w programie Microsoft Word.

I.4 Struktura pracy

Praca została podzielona na cztery główne części (Rysunek 3): I. Wstęp, II. Część teoretyczną, III. Część praktyczną oraz IV. Podsumowanie. Dysertacja posiada także Słownik użytych pojęć – V oraz Spis ilustracji z podaniem ich źródeł – VI i Bibliografię VII.

I. Wstęp

Wstęp obejmuje motywację architektoniczno-urbanistyczną, która stanowi punkt wyjścia dla dalszych rozważań. Ta część pracy ma na celu wprowadzenie czytelnika w tematykę oraz uzasadnienie wyboru tematu badawczego.

II. Część Teoretyczna

W części teoretycznej przeprowadzono badania interdyscyplinarne, obejmujące trzy główne obszary badawcze: medycynę, psychologię oraz symulacje komputerowe. Każdy z nich wnosi istotny wkład w budowę symulatora, będącego centralnym obiektem badania. Rozdział obejmuje również wytyczne budowy symulatora, bazujące na zdobytej wiedzy teoretycznej.

III. Część Praktyczna

Część praktyczna składa się z trzech etapów. Pierwszy etap obejmuje stworzenie pierwszego pobocznego modelu, opartego o dystanse społeczne i reakcje stresowe, nad którym prace porzucono, co zostało szczegółowo opisane w Aneksie I. W etapie drugim (III.1 do III.4), przedstawiono opis działania głównego stworzonego narzędzia S.A.S (symulatora aktywności spacerowej), opartego o warunkowanie pozytywne i uczenie się z własnego doświadczenia, ilustrując jego funkcjonalności i zastosowanie w badaniach. Zweryfikowany w poszukiwaniu błędów symulator, został w etapie III (III.4 do III.6 oraz Aneks II i Aneks III) poddany walidacji poprzez przeprowadzenie eksperymentów na wielu różnorodnych pod względem kształtu obszarach. Wybór terenów do walidacji zawarto w Aneksie II, a szczegółowe wyniki walidacji w postaci wykresów i map aktywności fizycznej przedstawiono w Aneksie III. W Aneksie IV zawarto kod ostatecznej wersji programu użytego do symulacji.

IV. Podsumowanie

Praca jest zakończona zestawieniem osiągniętych wyników oraz dyskusją i autorefleksjami, w których wykazano ograniczenia symulatora i specyficzność badań. Przedstawiono przyszłe potencjalne kierunki jego rozwoju oraz elementy do udoskonalenia. Opisano także dotychczasowy sposób wykorzystania oraz potencjał dalszej aplikacyjności wraz z zarysem prawdopodobnych sposobów użytkowania symulatora w przyszłości. Całość kończy się wnioskami, w których streszczono cały proces przeprowadzony w pracy oraz potwierdzono zgodność z przyjętymi celami i postawionym problemem badawczym oraz udowodniono zasadność tez.

V. Słownik pojęć

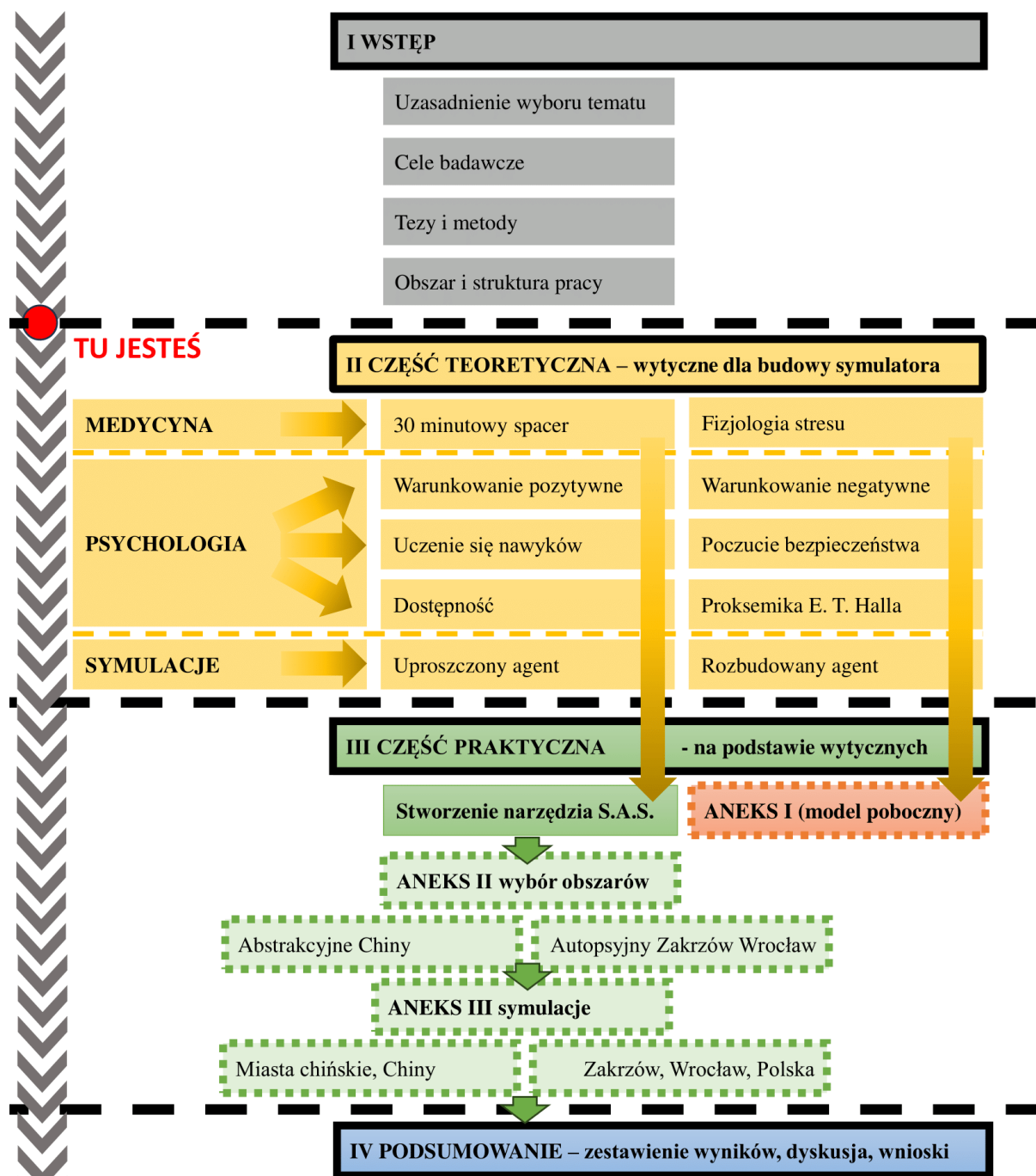
W słowniku zawarto wyjaśnienie wybranych 36 pojęć służące lepszemu zrozumieniu omawianych zagadnień z zakresu wykraczającego poza architekturę i urbanistykę.

VI. Spis ilustracji

W spisie wskazano 36 ilustracji kolejno występujących w części zasadniczej pracy oraz ich źródła.

VII. Bibliografia

Bibliografia zawiera spis 211 pozycji literaturowych, dokumentów, stron internetowych i czego jeszcze, w układzie alfabetycznym.



Rysunek 3
Schemat struktury pracy;
źródło: własne.

II. Część teoretyczna

Część teoretyczna pracy dzieli się na dwa obszary. Pierwszy zawiera badania literaturowe z wybranych zagadnień z zakresu medycyny, psychologii i symulacji komputerowych (rozdział II.1). Posłużą one do sformułowania zbioru uwarunkowań i wytycznych potrzebnych do budowy symulatora, zawartych w drugim obszarze (rozdział II.2).

II.1 Badania literaturowe z zakresu medycyny, psychologii i symulacji komputerowych

II.1.1 Medycyna: rola aktywności fizycznej w zdrowiu człowieka

II.1.1.1 Historyczne znaczenie aktywności fizycznej

Organizm człowieka współczesnego wyewoluował do życia w społecznościach zbieracko-łowieckich, gdzie oba sposoby zdobywania pożywienia łączy się ściśle z aktywnością fizyczną (Sapolsky, 2004). Przeżycie wymagało nieustannego ruchu. W tych czasach wyewoluował również mózg człowieka. Przez stulecia jedynie elity społeczne doświadczały niedoborów ruchu, ponieważ tylko najwyższa warstwa społeczna mogła sobie pozwolić na wyłącznie pracę intelektualną (Kubiczek i Jezierski, 1994). Dlatego aż do XX wieku chodzenie rekreacyjne wiązało się głównie z poprawą efektywności myślenia i stylem życia elit (Solnit, 2001). Nie bez powodu uczniów Arystotelesa nazywano perypatetykami, ponieważ dysputy filozoficzne były prowadzone podczas przechadzek w kolumnowych podcieniach chroniących przed śródziemnomorskim słońcem (Furley, 2016). Mimo historycznych radykalnych zmian kulturowych, tradycja ta trwała również w średniowieczu. Typowy klasztor, jako ówczesny ośrodek nauki, był wyposażony w wirydarze, gdzie zadane krużganki, służące do przechadzek kontemplacyjnych, chroniły spacerujących przed deszczową europejską pogodą (Olson, 2013). W renesansie elity intelektualne zaczęły przenosić się z przeludnionych miast do wiejskich willi, których nieodłącznym elementem stały się ogrody do przechadzek, w których toczyło się życie towarzyskie (Comito, 1971). Kultura przechadzek przetrwała również w baroku, czego przykładem może być zadaszony krużganek w starym kompleksie Uniwersytetu Wrocławskiego, które później w XX wieku zabudowano ze względu na niezrozumienie jego funkcji (Kulak, Pater i Wrzesiński, 2007).

W XX wieku nastąpiły kolejne gwałtowne zmiany stylu życia. Społeczeństwo rolnicze zmieniło się w społeczeństwo przemysłowe, a następnie w społeczeństwo usługowe, gdzie większość pracy wykonywana jest bez konieczności podejmowania aktywności fizycznej (Schwab, 2017). Przez szeroko rozwinięte media takie jak telewizja i Internet zmieniła się również forma wypoczynku z aktywnego – na siedzący. Spowodowało to drastyczny wzrost niedoborów aktywności fizycznej w XXI wieku. Zwykły spacer stał się koniecznością już nie tylko dla odświeżenia umysłu w trakcie pracy intelektualnej wykształconych elit, ale przede wszystkim jako środek prewencyjny przeciwko chronicznym niedoborom ruchu, które działają dewastująco na nadal zbieracko-łowiecki organizm człowieka (Sapolsky, 2004).

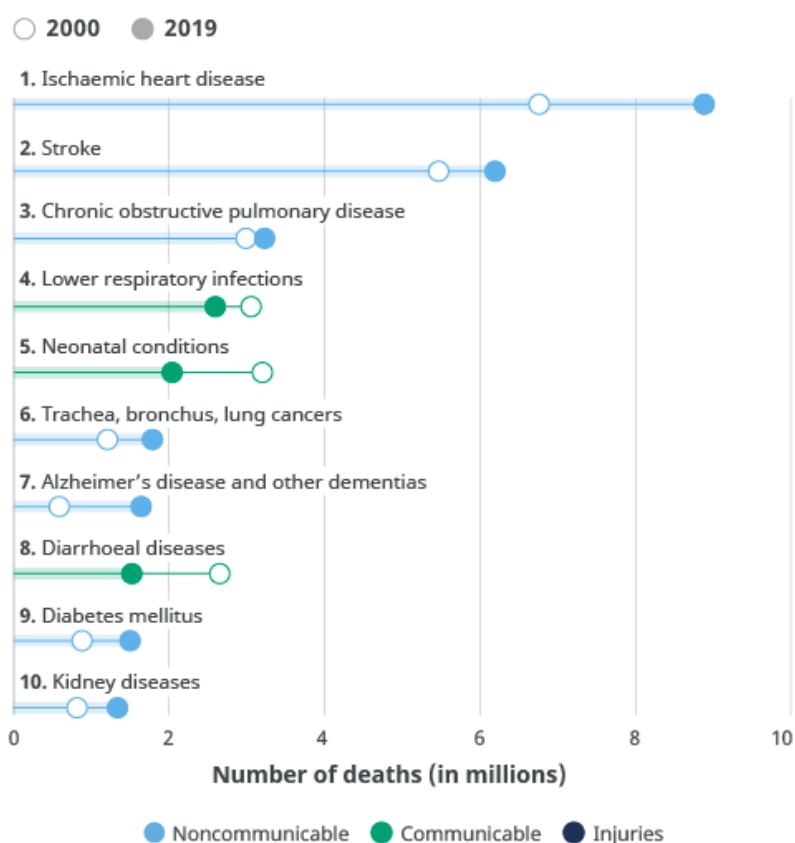
Przed rewolucją przemysłową główne choroby cywilizacyjne wynikały z niedożywienia (Ackerknecht, 1965; ó Gráda, 2010). Dopiero gwałtowny rozrost populacji i

zmiany zachodzące w XIX, czyli napływ masy ludzi ze wsi do nieprzygotowanych na to miast spowodował drastyczne pogorszenie środowiska życia w przeludnionych miastach (Barnes, 2006). Główną metodą prewencyjną, która w najwyższym stopniu przyczyniła się do zwalczania ówczesnych chorób cywilizacyjnych takich jak tyfus i cholera były systemowe działania projektantów wdrażających nowe standardy w zakresie higieny w projektowaniu miejskiego środowiska życia (Abellán, 2017). System sanitarny spowodował, że każdy dom z czasem został podłączony do wodociągów i kanalizacji. W XX wieku na choroby układu oddechowego, takie jak gruźlica (Bates, 1993; Daniel, 1994), skutecznym środkiem prewencyjnym okazało się stworzenie systemu nowych standardów do projektowania przestrzeni mieszkaniowej. Duże okna ze szpitali gruźliczych stały się inspiracją dla modernistycznych osiedli mieszkaniowych, gdzie główny nacisk został położony na odpowiednie doświetlenie i przewietrzanie (Campbell M., 2005), w opozycji do ciemnych i zawilgoconych kwartałów zabudowy XIX wiekowej. Przytoczone przykłady pokazują w jaki sposób standardy projektowania architektoniczno-urbanistycznego mogą stanowić skuteczną prewencję szkodliwych zjawisk modyfikując środowisko życia codziennego (Amistadi i inni, 2021).

Przez cały XX wiek środowisko zbudowane zostało zdominowane przez pojazdy. Mimo zatopienia modernistycznych osiedli w morzu zieleni, większość miast nie posiada przestrzeni rekreacyjnych połączonych spójnym systemem ciągów pieszych, ponieważ są one podporządkowane transportowi kołowemu i nie tworzą kompletnego systemu rekreacji (Haupt, 2014). Dlatego zieleń mimo procentowo dużego udziału w powierzchni całkowitej współczesnych miast jest niedostatecznie dostępna i przez to wykorzystywana w sposób nieefektywny, ze względu na swój wyspowy charakter.

W XXI wieku oczywistym wydaje się związek siedzącego trybu życia z otyłością, cukrzycą, chorobami układu krążenia, a nawet depresją (Park J. H., 2020), a problem narasta (Rysunek 4). Bazując na doświadczeniach historycznych, warto rozważyć rolę interwencji przestrzennych również w tym zakresie. Skoro walka z dotychczasowymi epidemiami mogła być w znaczący sposób wspierana działaniami w sferze projektowania architektoniczno-urbanistycznego, być może współczesne problemy zdrowotne również mogą być przez nie rozwiązywane. Prawdopodobnie skutecznym rozwiązaniem w przypadku chorób cywilizacyjnych XXI wieku może się okazać przeprojektowywanie istniejących XX-wiecznych miast pod kątem higieny ruchu rekreacyjnego i stopniowego tworzenia systemu zieleni miejskiej (na wzór XIX wiekowego systemu sanitarnego lub XX wiekowego systemu mieszkaniowego), który docelowo podłączyłby każdy adres zamieszkania do miejskiej sieci spacerowej. Działanie to może okazać się najskuteczniejsze dla zwiększenia motywacji do rekreacyjnej aktywności fizycznej i wyrabiania zdrowych nawyków ruchowych poprawiających obiektywną jakość życia społeczeństwa, co jest jednym z głównych celów projektowania architektoniczno-urbanistycznego (Gawlak, Matuszewska i Ptak, 2021).

Leading causes of death globally



Source: WHO Global Health Estimates.

Rysunek 4

Wiodące przyczyny śmierci, stan na rok 2000 i 2019, według WHO Global Health Estimates;
 źródło: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> (03.07.2023).

II.1.1.2 Choroby cywilizacyjne XXI wieku, a aktywność fizyczna

Jedną z najbardziej obiektywnych miar dla zdrowia społeczeństwa jest przewidywana długość życia, zagrożona w większości przez choroby. Badania dowodzą, że ograniczenie ruchu samochodowego wraz z promocją aktywnego transportu (pieszego/rowerowego) oraz zapewnienie zielonej infrastruktury doprowadziłoby do redukcji rozprzestrzeniania się obecnych chorób cywilizacyjnych i znacznych oszczędności w publicznym systemie opieki zdrowotnej (Mueller, 2017). Metaanaliza z początku XXI wieku (Keeney, 2008) wykazała związek między decyzjami osobistymi a przedwczesnymi zgonami w Stanach Zjednoczonych – ponad milion z 2,4 miliona zgonów w 2000 r. (5% zgonów w 1900 r., 20–25% zgonów w 1950 r. i 45% w 2000 r.) można było przypisać osobistym decyzjom i można ich było uniknąć, gdyby dokonano łatwo dostępnych alternatywnych wyborów. Jednym z wyborów mających najpoważniejsze skutki zdrowotne jest podejmowanie aktywności fizycznej. Rosnące od XIX wieku wyniki te są w korelacji z poziomem aktywności fizycznej w społeczeństwie, który w ciągu XX wieku drastycznie zmalał. Według powyższych badań większy wysiłek skierowany na poprawę osobistych wyborów wpływających na stan zdrowia może być skutecznym i ekonomicznie najefektywniejszym sposobem ratowania życia (Keeney, 2008). Jak wiadomo,

ogólne działania prewencyjne w zakresie wszelkiego rodzaju chorób, takie jak utrzymywanie zdrowego trybu życia, są wielokrotnie bardziej opłacalne niż leczenie skutków poprzez finansowanie wyspecjalizowanej hospitalizacji dla każdego schorzenia z osobna (Ministerstwo Zdrowia RP, 2018).

Badania z początku XX wieku pozwalają sklasyfikować poziomy aktywności fizycznej za pomocą liczby kroków podejmowanych dziennie (Tudor-Locke C. &., 2004). Można przyjąć 5000 kroków jako granicę siedzącego trybu życia, 5000-7500 kroków jako normę niskiej aktywności, 7500-10000 kroków jako normę umiarkowanej aktywności, powyżej 10000 kroków jako wyznacznik wysokiej aktywności i powyżej 12500 kroków jako wskaźnik dla osób wysoce ponadprzeciętnie aktywnych fizycznie.

Brak aktywności fizycznej został określony jako globalna pandemia, która jest przyczyną ponad 5 milionów zgonów rocznie poprzez swój wpływ na wiele chorób niezakaźnych (Sallis i inni, 2016), takich jak choroby układu krążenia, cukrzyca oraz otyłość, nowotwory, zaburzenia psychiczne i choroby układu hormonalnego, a także wiele innych (Sallis, Floyd, Rodríguez i Saelens, 2012). Około 33% dorosłych na całym świecie cierpi na dwie lub więcej z powyższych chorób przewlekłych, a obciążenie to jest większe w krajach o niskich dochodach (WorldHealthOrganization, 2018). Badania wskazujące na niedobór fizycznej jako czwartą najczęstszą przyczyną zgonów na świecie podkreślają konieczność budowania globalnego potencjału prewencyjnego w oparciu o podejście systemowe, które ujmuje całe populacje i złożone interakcje między korelatami braku aktywności fizycznej (Kohl, 2012).

Dodatkowo pandemia COVID-19 spowodowała wzmocnienie zjawiska chronicznych niedoborów aktywności fizycznej, a więc dane sprzed pandemii prawdopodobnie uległy jeszcze większemu pogorszeniu (Ali i Kunugi, 2020).

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia, zasadnym jest analiza wpływu aktywności fizycznej na wymienione choroby oraz przytoczenie poszczególnych wytycznych ruchowych dla prewencji i leczenia skutków w celu poprawy jakości i długości życia. Dlatego w kolejnych punktach opisano główne choroby powiązane z chronicznym niedoborem aktywności fizycznej, najpierw przedstawiając problem, następnie przyczyny, a na końcu rekomendacje.

II.1.1.2.1 Choroby układu krążenia

Choroby sercowo-naczyniowe (ang. *Cardiovascular diseases* – CVDs) są główną przyczyną zgonów na całym świecie (Mc Namara, Alzubaidi i Jackson, 2019). Łącznie choroba niedokrwienna serca i wszystkie formy udaru mózgu były przyczyną śmierci około 13 milionów ludzi na całym świecie w 2010 roku, czyli jednej czwartej ogółu (wzrost z jednego na pięć zgonów 20 lat wcześniej) (Lozano i inni, 2012).

Ryzyko chorób sercowo-naczyniowych wiąże się głównie z chronicznym niedoborem ruchu (Sigal i inni, 2018). Dlatego aktywność fizyczna jest bezpośrednio powiązana z ryzykiem i występowaniem chorób naczyniowo-sercowych. Rodzaj aktywności fizycznej nie ma większego znaczenia, ponieważ po odpowiednim uwzględnieniu częstotliwości i długości podjętego wysiłku zarówno chodzenie jak i energiczne ćwiczenia wiążą się z podobnym zmniejszeniem ryzyka chorób wieńcowych (Manson i inni, 2002). Badania z 2019 roku wykazały, że częstotliwość chodzenia wpływa bezpośrednio na występowanie chorób wieńcowych, nawet po uwzględnieniu cech demograficznych. Warto jednak zaznaczyć, że

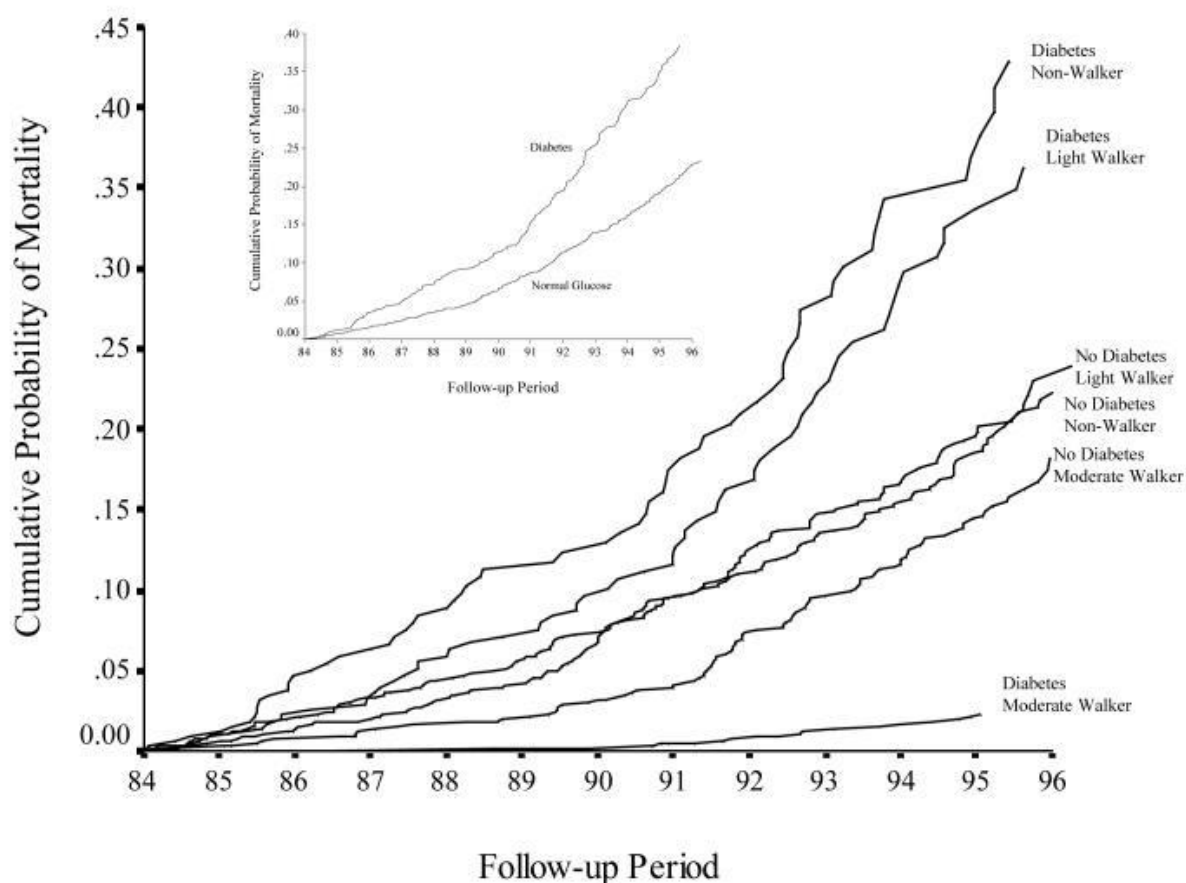
ryzyko tych chorób spadało o wiele bardziej w związku z chodzeniem rekreacyjnym, tak zwanym LTPA (z ang. *Leisure Time Physical Activity*, rekreacyjna aktywność fizyczna), gdzie brano pod uwagę konkretnie aktywność czysto rekreacyjną, np.: „Czy w ciągu ostatnich 7 dni spacerowałeś przez co najmniej 10 minut dla zabawy, relaksu, ćwiczeń lub na spacer z psem?”, niż w przypadku chodzenia w celach transportowych (do pracy, szkoły, sklepu itd.), które dawało tylko nieznaczłą poprawę wyników (Omura J. D., Ussery, Loustalot, Fulton i Carlson, 2019). Chodzenie przynosi korzyści zdrowotne związane z chorobami sercowo-naczyniowymi zarówno u młodszych, w średnim wieku, jak i starszych mężczyzn oraz kobiet, zarówno w populacjach zdrowych, jak też objętych chorobą. Natomiast udogodnienia w sąsiedztwie i miejscu pracy mogą być ważnym wsparciem dla zachowań związanych z chodzeniem (Murtagh, Murphy i Boone-Heinonen, Walking—the first steps in cardiovascular disease prevention, 2010).

Działania związane z promocją chodzenia odgrywają kluczową rolę w poprawie stanu zdrowia poprzez aktywność fizyczną. Według najnowszych badań lekarz może zalecić pacjentowi chodzenie jako element terapii lub środek prewencyjny w chorobach sercowo-naczyniowych (Murtagh i inni, 2015). Wytyczne z aktualnych badań dotyczące czasu aktywności fizycznej mówią, że osoby dorosłe z chorobami sercowo-naczyniowymi, powinny wykonywać co najmniej 150 do 300 minut aerobowej aktywności fizycznej o umiarkowanej intensywności tygodniowo lub 75 do 150 minut intensywnej aktywności lub równoważną kombinację obu (Omura J. D., Ussery, Loustalot, Fulton i Carlson, 2019). Wytyczne z badań dotyczących liczby kroków dziennie wykazały, że kobiety w średnim wieku 79 lat, które codziennie robiły od 2100 do 4500 kroków, zmniejszyły ryzyko śmierci z powodu zawału serca, niewydolności serca, udaru mózgu i innych chorób sercowo-naczyniowych nawet o 38% w porównaniu z kobietami, które robiły mniej niż 2100 kroków dziennie, a ponad 4500 kroków dziennie, zmniejszało to samo ryzyko o 48% (AmericanHeartAssociationEPI, 2020). Powyższe wytyczne pokrywają się w dużej mierze z wytycznymi ogólnej aktywności fizycznej, publikowanymi przez World Health Organization (WorldHealthOrganization, 2018), czyli 30 minut umiarkowanej aktywności fizycznej dziennie lub 150 minut tygodniowo.

II.1.1.2.2 Cukrzyca oraz otyłość

Cukrzyca typu 2 jest najczęściej ściśle powiązana z chorobami sercowo-naczyniowymi i otyłością (Sigal i inni, 2018). Jeszcze na początku XXI wieku przewidywano znaczący wzrost zachorowalności na cukrzycę do około 300 mln przypadków w 2025 roku (Hu i Manson, 2003). Jednak w rzeczywistości problem okazał się jeszcze większy. Już według raportu Global Burden of Disease (GBD) za rok 2015 występowanie cukrzycy wzrosło z około 333 mln przypadków w 2005 r. do około 435 mln przypadków w 2015 r., co stanowi wzrost o 30,6% (GBD, 2016) i znacząco przekracza wcześniejsze przewidywania. W tym samym przedziale czasowym roczna liczba zgonów z powodu cukrzycy wzrosła z 1,2 mln do 1,5 mln (GlobalBurdenofDisease, 2016). Problem jest narastający, o czym świadczy również fakt, iż około 8% dzieci i około 26% młodych dorosłych choruje na cukrzycę (Tao, Shi i Zhao, 2015). Przewiduje się, że do 2035 roku na cukrzycę umrze około 592 milionów ludzi, a obecnie średni wiek zachorowania na cukrzycę wynosi 42,5 roku i może być spowodowany spożywaniem wysokocukrowej i wysokokalorycznej diety, małą aktywnością fizyczną, podatnością genetyczną i stylem życia (Tao, Shi i Zhao, 2015).

Najbardziej bezpośrednią behawioralną przyczyną cukrzycy czy insulino-oporności jest brak aktywności fizycznej, a wiele badań wykazało jej rolę w etiologii i zapobieganiu cukrzycy (LaMonte, Blair i Church, 2005). Wynika to z ludzkiej konstrukcji genetycznej, która pozostała niezmienną przez ostatnie 50 000 lat, co spowodowało ewolucyjne niedopasowanie między tym co i w jakich ilościach jemy z tym ile aktywności fizycznej jest wymagane do codziennego życia. Dlatego różnica między stylem życia (ruchem i odżywianiem) naszych przodków łowców-zbieraczy i współczesnych społeczeństw, leży u podstaw globalnej pandemii chorób przewlekłych, takich jak cukrzyca (Eaton, Konner i Shostak, 1988). Podając za American Diabetes Association (Association, 2003): „Podczas aktywności fizycznej zużycie tlenu w całym organizmie może wzrosnąć nawet 20-krotnie, a jeszcze większe wzrosty mogą wystąpić w pracujących mięśniach ... u pacjentów z cukrzycą typu 2 aktywność fizyczna może poprawić wrażliwość na insulinę i pomóc w obniżeniu podwyższonego poziomu glukozy we krwi do normalnego zakresu.”



Rysunek 5

Prawdopodobieństwo zgonu z jakiejkolwiek przyczyny w zależności od stanu aktywności fizycznej oraz stadium cukrzycy w okresie od 1 stycznia 1984 do 31 grudnia 1996 (Smith, Wingard, Smith, Kritiz-Silverstein i Barrett-Connor, 2007);

źródło: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/instance/2542980/bin/nihms-23383-f0001.jpg> (17.08.2023).

Jedne z wytycznych dotyczących zapobiegania cukrzycy mówią głównie o ćwiczeniach aerobowych (wytrzymałościowych) i oporowych (siłowych), a najlepiej wykonywaniu obu rodzajów ćwiczeń. Zaleca się co najmniej 150 minut tygodniowo ćwiczeń aerobowych i co najmniej 2 sesje tygodniowo ćwiczeń oporowych, chociaż mniejsze ilości aktywności nadal zapewniają pewne korzyści zdrowotne (Sigal i inni, 2018). Jednak ćwiczenia tego typu są

zwykle bardzo zniechęcające dla zasiedziały osób, które dodatkowo najczęściej borykają się z otyłością. W tym przypadku metodą prewencyjną dostępną dla najszerzej rzeszy chorych może okazać się spacer. Wiele badań wykazało, że chodzenie jest odpowiednią i najbezpieczniejszą formą aktywności fizycznej, która poprawia wyniki glukozowe u osób z rozpoznaniem cukrzycy (Funk i Laurette Taylor, 2013). Rysunek 5 pokazuje, że chory na cukrzycę może mieć większe szanse na przeżycie nawet od zdrowego człowieka, jeśli tylko będzie odpowiednio dużo chodził (Smith, Wingard, Smith, Kritz-Silverstein i Barrett-Connor, 2007). Chodzenie co najmniej 1 mili (~1,6 km) dziennie może znacząco obniżyć ryzyko śmierci zarówno na skutek chorób sercowo-naczyniowych, jak i z jakiegokolwiek innej przyczyny, zarówno w przypadku chorych na cukrzycę, jak również u osób z normalną tolerancją glukozy (Smith, Wingard, Smith, Kritz-Silverstein i Barrett-Connor, 2007). Równoważne wydatki energetyczne przez umiarkowane (chodzenie) i energiczne (bieganie) ćwiczenia powodowały podobne zmniejszenie ryzyka nadciśnienia tętniczego, hipercholesterolemii, cukrzycy i chorób wieńcowych (Williams i Thompson, 2013). Według badań zwykły spacer 30 minut dziennie to jedna z najlepszych terapii cukrzycy (Hu i Manson, 2003). Według amerykańskiego stowarzyszenia cukrzycy (ang *American Diabetes Association* – ADA) „(...) wszystko się sumuje. Jeśli nie możesz chodzić przez 30 minut każdego dnia, spróbuj dwóch 15-minutowych lub trzech 10-minutowych spacerów w ciągu dnia. Spróbuj przedsięwziąć do pięciu 30-minutowych spacerów w każdym tygodniu” (ADA, 2023). Zatem zalecenia aktywności fizycznej dotyczące osób z cukrzycą i otyłością pokrywają się w dużej mierze z zaleceniami dla osób z chorobami układu krążenia.

II.1.1.2.3 Nowotwory

Szacuje się, że w 2020 roku na całym świecie odnotowano 19,3 mln nowych przypadków raka i prawie 10 mln zgonów z powodu raka, a najczęściej diagnozowanymi nowotworami były rak piersi u kobiet (2,26 mln przypadków), rak płuca (2,21 mln) i rak prostaty (1,41 mln), a najczęstszymi przyczynami zgonów były nowotwory płuc (1,79 mln zgonów), wątroby (830 000) i żołądka (769 000) (Ferlay i inni, 2021). Jeszcze w 2012 roku było to odpowiednio około 14,1 miliona nowych przypadków raka i 8,2 miliona zgonów (Torre i inni, 2015). W ostatniej dekadzie (lata 2010>) w samych Stanach Zjednoczonych odnotowano spadek liczby zgonów z powodu raka o 27% dzięki wczesnemu wykrywaniu i ulepszonym metodom leczenia, a liczba osób, które przeżyją raka ma się jeszcze podwoić do 2040 roku (Campbell i inni, 2019). Jednak stwarza to nowy, choć paradoksalny problem, polegający na tym, że osoby po skutecznej operacji są obciążone zwiększonym ryzykiem chorób sercowo-naczyniowych (Curigliano i inni, 2016). Dodatkowo osoby te bardzo często borykają się z trudnościami w powrocie do pracy i samodzielnego egzystowania w społeczności, jak też odczuwają znaczący spadek jakości życia (Bower, 2006).

Częstotliwość występowania raka rośnie ze względu na rozrost i starzenie się populacji, a także coraz częstsze występowanie czynników ryzyka, takich jak palenie tytoniu, nadwaga, brak aktywności fizycznej oraz zmieniające się wzorce rozrodcze związane z urbanizacją i rozwojem gospodarczym. Szacuje się, że znacznej części ogólnościatowego obciążenia rakiem można zapobiec poprzez szerokie zastosowanie istniejącej wiedzy na temat zwalczania nowotworów, w tym ograniczenia palenia tytoniu, rozpowszechnienia szczepień (na raka wątroby i raka szyjki macicy), metod wczesnego wykrywania oraz promowania aktywności

fizycznej i zdrowych wzorców żywieniowych (Torre i inni, 2015). W 2016 roku przeprowadzono badania, w których analiza obejmowała dane od 8 309 pacjentek z EOC (z ang. *epithelial ovarian cancer* – nabłonkowy rak jajnika) i 12 612 osób z grupy kontrolnej (Cannioto i inni, 2016). Wśród kobiet z przewlekłym brakiem rekreacyjnej aktywności fizycznej zaobserwowano zwiększone o 34% ogólne ryzyko EOC, o 35% zwiększone ryzyko nowotworów inwazyjnych i o 27% zwiększone ryzyko guzów granicznych. Aktywność fizyczna to nie tylko zmniejszenie prawdopodobieństwa zachorowalności na raka, ale także zwiększenie posiadanej energii potrzebnej do utrzymania niezależności funkcjonalnej i pełnienia ról społecznych, co jest ważnym elementem jakości życia pacjentów z chorobą nowotworową. Dlatego chodzenie jest skuteczną czynnością samoopieki, która może przeciwdziałać niektórym wyniszczającym skutkom raka, jego terapii i wymuszonego siedzącego trybu życia (Winningham, 1991).

Stosunkowo niewielkie zmiany behawioralne na poziomie populacji prawdopodobnie zmniejszyłyby obciążenie chorobami nowotworowymi i związane z nimi wydatki na zdrowie (Lynch i Leitzmann, 2017). W przeszłości medycyna doradzała pacjentom chorym na raka, aby odpoczywali i unikali aktywności fizycznej, ale wczesne badania nad ćwiczeniami fizycznymi w latach 90-tych i 2000-nych podważyły te zalecenia (Campbell i inni, 2019). W 2019 roku przeprowadzono analizę wpływu aktywności fizycznej na umieralność na raka w Australii, a badania pokazały, że spełnienie australijskich wytycznych aktywności fizycznej (tj. angażowania się w co najmniej 300 minut spaceru tygodniowo), mogłoby obniżyć występowanie nowotworów o 2-3% u mężczyzn (głównie nowotwory okrężnicy) i 1–2% u kobiet (głównie rak okrężnicy, piersi i endometrium). Mogłoby się to przełożyć na zapobiegnięcie około 200 000 nowotworów w Australii w ciągu 25 lat (Wilson i inni, 2019). Jeśli można by to w prosty sposób przeskalować poprzez stosunek do populacji świata (25mln mieszkańców Australii do 8 mld ludności świata), otrzymano by nawet 64 mln przypadków nowotworów, którym można by zapobiec. Dodatkowo przed operacją raka wysoce zalecane jest rozpoczęcie programu codziennego chodzenia co może w dużym stopniu ułatwić późniejszy powrót do zdrowia (MOFFITT Cancer Center, 2020). American College of Sports Medicine zaleca, aby osoby, które pokonały raka, odbywały tygodniowo co najmniej 150 minut ćwiczeń aerobowych o umiarkowanej intensywności, takich jak m.in. chodzenie (Campbell i inni, 2019). Zatem zalecenia aktywności fizycznej dotyczące nowotworów pokrywają się w większości z zaleceniami dla otyłych, cukrzyków i osób z chorobami układu krążenia.

II.1.1.2.4 Depresja

Depresja jest jednym z najpowszechniejszych zaburzeń psychicznych, które może wpływać zarówno na zdrowie psychiczne, jak i fizyczne (Liu i inni, 2020). Liczba przypadków depresji na całym świecie wzrosła ze 172 milionów w 1990 roku do 25,8 milionów w 2017 roku, co stanowi wzrost o 49,86% (Liu i inni, 2020). Ponadto pacjenci z dużymi zaburzeniami depresyjnymi mają zwiększone ryzyko rozwoju chorób sercowo-naczyniowych, a także ogólnie zwiększoną zachorowalność i śmiertelność na pozostałe analizowane choroby (Luo, Zhang, Zheng, Xu i Wu, 2018). Dodatkowo problem pogłębia fakt, że według Narodowego Instytutu Zdrowia Psychicznego Stanów Zjednoczonych około 35% dorosłych Amerykanów z epizodem depresji nie było w żaden sposób leczonych (Bushman, 2019), a liczba ta może być znacznie wyższa w krajach o mniej rozwiniętej opiece zdrowotnej. Badania podkreślają że

zaburzenia depresyjne powinny być jednym z priorytetów zdrowia publicznego i wdrożenia kosztowo opłacalnych interwencji w celu zmniejszenia ich występowania (Ferrari i inni, 2013). Jedną z metod prewencyjnych, będącą zarówno kosztowo opłacalną jak i dostępną szczególnie dla grupy niepoddanej leczeniu w systemie służby zdrowia, wydaje się indywidualna aktywność fizyczna.

Według najnowszych badań aktywność fizyczna przynosi wiele korzyści dla zdrowia psychicznego i odgrywa kluczową rolę w unikaniu rozwoju poważnych zaburzeń depresyjnych (De Sousa i inni, 2021). Na poziomie biologii molekularnej dzieje się tak, ponieważ „ruch zwiększa ekspresję BDNF i jego receptora TrkB w hipokampie i korze przedczołowej, prowadząc do zwiększenia ERK co hamuje zachowania depresyjne” (De Sousa i inni, 2021). Związek depresji z niedoborem aktywności fizycznej nie jest modyfikowany przez płeć ani obecność chorób wieńcowych (Achttien, van Lieshout, Wensing, van der Sanden i Staal, 2019). Zastosowanie ćwiczeń fizycznych może być skuteczną nefarmakologiczną metodą leczenia depresji, która ma dodatkowo pozytywny wpływ na nastrój oraz zmniejszanie lęków i napięć (Akpama, 2022). Spacer jest wymieniany jako jedna z form aktywności fizycznej, która może pomóc w zakresie prewencji zaburzeń psychicznych i depresji. Jednym z problemów jest trudność podjęcia aktywności fizycznej już w trakcie trwania zaburzeń, dlatego istotną wartość stanowi obniżony próg wejścia w przypadku spaceru, który może zostać podjęty spontanicznie i nie wymaga dodatkowych przygotowań w postaci specjalnej odzieży lub sprzętu sportowego. Wykazano również, że nie ma istotnej różnicy między rodzajem, częstotliwością i intensywnością aktywności, a redukcją objawów depresyjnych (Chu, Buckworth, Kirby i Emery, 2009).

Zaleca się, aby trening o umiarkowanej intensywności (np. chodzenie) odbywał się 30 minut przez większość, jeśli nie wszystkie, dni tygodnia u osób dorosłych oraz 2 razy w tygodniu u osób starszych co przekłada się na osiągnięcie natychmiastowych, znaczących i trwałych redukcji ryzyka jak i skutków depresji. Wytyczne dotyczące umiarkowanej aktywności fizycznej w przypadku depresji pokrywają się w dużej mierze z wytycznymi ruchowymi dla otyłych, cukrzyków, osób z chorobami układu krążenia oraz chorych na nowotwory.

II.1.1.2.5 Globalny wzrost chronicznego niedoboru aktywności fizycznej spowodowany pandemią COVID-19

2019 rok przyniósł dodatkowy czynnik zwiększający globalne niedobory ruchu, pandemię COVID-19, która dodatkowo uwidoczniła związek między złym stanem psychicznym i fizycznym, a brakiem aktywności fizycznej. W przeglądzie prac pod kierownictwem Stockwella z 2021 roku, dotyczących związku COVID-19 z aktywnością fizyczną, przeanalizowano dokładnie 66 artykułów (z łącznie 86 981) (Stockwell i inni, 2021). Zmiany w aktywności fizycznej spowodowane wydarzeniami około-pandemicznymi odnotowano w 64 badaniach, przy czym większość badań wykazała spadek aktywności fizycznej i wzrost czasu spędzanego w pozycji siedzącej, w tym u dzieci i pacjentów z różnymi schorzeniami. Dodatkowo badania z 2021 roku pokazały, że dużą część różnic między krajami w zakresie śmiertelności z powodu COVID-19 można wytłumaczyć różnicami we wskaźnikach otyłości (Gardiner, Oben i Sutcliffe, 2021), która wiąże się bezpośrednio z niedoborami aktywności fizycznej. Istnieje również wiele badań z poszczególnych krajów,

które pokazują jak brak aktywności wpłynął na dobrostan populacji. Na przykład w 2020 roku przebadano 1150 osób z Brazylii (Silva i inni, 2020) pod kątem zmian wywołanych koniecznością pozostania w domach, a wyniki pokazały, że ryzyko nasilenia lęku było o 118% wyższe, ryzyko depresji było o 152% większe, a ryzyko stresu o 75,1% u osób nieaktywnych fizycznie w porównaniu do osób spełniających normy aktywności fizycznej. Podobnie wysoką korelację odnotowano w przypadku badań z Włoch (Maugeri i inni, 2020), gdzie przebadano 2429 osób i stwierdzono, że ograniczenie całkowitej aktywności fizycznej podczas pandemii miało głęboko negatywny wpływ na zdrowie psychiczne i dobre samopoczucie zarówno kobiet jak i mężczyzn.

II.1.1.3 Pozostałe korzyści z umiarkowanej aktywności fizycznej

Wpływ niedoborów aktywności fizycznej na organizm człowieka nie ogranicza się wyłącznie do czynnika zapadalności na wyżej wymienione choroby. Odpowiednia dawka umiarkowanej aktywności fizycznej ma udokumentowany pozytywny wpływ na wiele innych aspektów życia, takich jak na przykład efektywność pracy umysłowej, sprawność osób starszych czy nawet rozwój dzieci. W kolejnej części przytoczono szczegóły powyższych zagadnień.

II.1.1.3.1 Efektywność myślenia i aktywność fizyczna

Przegląd badań z 2017 roku (Falck, 2017) sugeruje wyraźny wpływ siedzącego trybu życia na obniżenie funkcji poznawczych. Regularna aktywność fizyczna może prowadzić do wzrostu wielkości hipokampu - regionu mózgu odpowiedzialnego za pamięć, co może wpływać na poprawę zdolności zapamiętywania i ogólne funkcje poznawcze (Erickson, 2011).

Jednym z największych zagrożeń dla pracy umysłowej, szczególnie w starszym wieku, jest choroba Alzheimera. Już badania z 2008 roku (Lautenschlager, 2008) dowiodły, że aktywność fizyczna może wpływać pozytywnie na funkcje poznawcze u starszych dorosłych narażonych na ryzyko choroby Alzheimera. Uczestnicy badania, którzy uczestniczyli w programie aktywności fizycznej, wykazywali poprawę pamięci i zdolności poznawczych w porównaniu do grupy kontrolnej.

Badania z 2014 roku przeprowadzone na 2747 uczestnikach (Zhu, 2014) wykazały pozytywny związek między wydolnością układu sercowo-naczyniowego a funkcjami poznawczymi w wieku średnim. Uczestnicy badania, którzy mieli lepszą kondycję fizyczną, wykazywali wyższy poziom funkcji poznawczych, w tym koncentracji uwagi, pamięci i zdolności do rozwiązywania problemów.

Kolejne badania prowadzone przez 12 tygodni w 2019 roku (Karssemeijer, 2019) wykazały, że 12-tygodniowy program aktywności fizycznej poprawił funkcje poznawcze u osób z wiotkością. Uczestnicy badania, którzy uczestniczyli w programie aktywności fizycznej, wykazywali poprawę w zakresie koncentracji uwagi, pamięci i funkcji poznawczych ogólnie.

Regularna aktywność fizyczna może poprawić koncentrację uwagi, pamięć, zdolności poznawcze oraz ogólną sprawność umysłową, szczególnie u osób starszych i tych zagrożonych schorzeniami neurodegeneracyjnymi. Dlatego ważne jest zachęcanie do aktywności fizycznej, zarówno w kontekście poprawy zdrowia fizycznego, jak i umysłowego.

II.1.1.3.2 Osoby starsze i chodzenie rekreacyjne

Ludzie starsi stanowią najbardziej obciążoną chronicznymi niedoborami ruchu grupę wiekową w społeczeństwie, ponieważ najmniej z nich spełnia wymagania minimalnej aktywności fizycznej (Elsawy i Higgins, 2010). Wynika to głównie z obniżonej sprawności ruchowej, a często również z niedomagań psychicznych (Ayotte, Margrett i Hicks-Patrick, 2010). Według danych na 2011 rok tylko 30% Amerykanów między 60 a 69 rokiem życia spełniało rekomendowane wytyczne dotyczące aktywności fizycznej, a powyżej 70 roku życia było to tylko 10% (Tucker, Welk i Beyler, 2011). Czynniki mające wpływ na ograniczenia w podejmowaniu aktywności fizycznej przez ludzi starszych to głównie ograniczenia psychologiczne, takie jak strach przed upadkiem lub urazem oraz brak towarzystwa (Kosteli, Williams i Cumming, 2016). Dlatego ważne, żeby otoczenie motywowało do aktywności, albo przynajmniej nie odbierało motywacji, poprzez bariery (Szewczenko i inni, 2023) dla swobodnego ruchu pieszego.

Korzystny wpływ aktywności fizycznej na stan zdrowia osób starszych jest dobrze udokumentowany, a w 2020 roku powstał przegląd publikacji naukowych dotyczących aktywności fizycznej u osób starszych, w którym uwzględniono dwadzieścia cztery przeglądy systematyczne i metaanalizy (Cunningham, O'Sullivan, Caserotti i Tully, 2020). Aktywni fizycznie starsi dorośli (≥ 60 lat) mają zmniejszone ryzyko zgonu z przyczyn sercowo-naczyniowych, jak i z jakiegokolwiek przyczyny, raka piersi i prostaty, złamań, nawracających upadków, niepełnosprawności w zakresie wykonywania czynności codziennych i czynnościowych oraz pogorszenia funkcji poznawczych, demencji, choroby Alzheimera i depresji, w porównaniu do nieaktywnych fizycznie rówieśników. Doświadczają również zdrowszych trajektorii starzenia, lepszej jakości życia i lepszych funkcji poznawczych.

Badania opublikowane przez American Heart Association (AmericanHeartAssociation EPI, 2020) wykazały, że osoby starsze (średnia wieku 69 lat) spacerujące przez 150 minut tygodniowo (lub 30 minut dziennie przez pięć dni w tygodniu) były o 67% mniej narażone na śmierć z jakiegokolwiek przyczyny w porównaniu z mniej aktywnymi osobami. Każdy 30-minutowy interwał lekkiej aktywności fizycznej, takiej jak na przykład spacer, wiązał się z 20% niższym ryzykiem śmierci z jakiegokolwiek przyczyny, a każde dodatkowe 30 minut siedzenia wiązało się z 32% wyższym ryzykiem śmierci z jakiegokolwiek przyczyny. Również wskaźniki psychospołeczne osób starszych, takie jak postrzeganie starzenia się, poczucie własnej sprawności, motywacja wewnętrzna, zaangażowanie duchowe, doświadczanie więzi społecznych i bezpieczeństwa sąsiedztwa, są istotnie związane z rekreacyjną aktywnością fizyczną (LTPA) (Lee, Lee i & An, 2020). Według badań z 2015 roku również ogrodnictwo może stanowić dobry zamiennik LTPA dla ludzi w podeszłym wieku (Rowinski, Dabrowski i Kostka, 2015). Jednak ogród nie jest dobrem powszechnie dostępnym, a w wielu krajach tylko elity mogą sobie na niego pozwolić, przez co nie jest to inkluzywne podejście do rozwiązania problemu. Dlatego to spacer może stanowić główny środek prewencji dla szerszego społeczeństwa, a zwłaszcza osób starszych.

II.1.1.3.3 Dzieci i aktywność fizyczna

Istnieje bezpośredni związek przyczynowo skutkowy pomiędzy pozytywnymi doświadczeniami z uczestnictwa w rekreacyjnej aktywności fizycznej (LTPA) w dzieciństwie,

a pozytywnym nastawieniem (zwiększoną motywacją) do podejmowania podobnych czynności w wieku dorosłym (García i Ruiz, 2015). Niektóre badania dowodzą, że rekreacyjna aktywność fizyczna w zakresie rywalizacji sportowej jest mniej pożądana przez dziewczynki, a bardziej przez chłopców (Christiana, 2017). Większość badań sugeruje, że dzieci, które spędzają dużo czasu na rekreacyjnej aktywności fizycznej wyrastają na dorosłych, którzy mają wyrobiony nawyk częstego podejmowania aktywności fizycznej, często na przekór niekorzystnym uwarunkowaniom otoczenia (Perkins, Jacobs, Barber i Eccles, 2004). Kemperman i Timmermans zalecają aby przy projektowaniu systemów terenów rekreacyjnych, planiści, architekci i urbaniści skupili swoją uwagę na kwestiach bezpieczeństwa i dostępności, ponieważ czynniki te stymulują udział dzieci w rekreacyjnych zajęciach fizycznych (Kemperman i Timmermans, 2011). Warto również zaznaczyć, że współcześnie tylko 25% dzieci w Polsce spełnia minimalny wymóg aktywności fizycznej WHO (WHO, 2021).

II.1.1.4 Podsumowanie

Przegląd stanu badań wykazał, że ruch ma pozytywny wpływ na cały organizm człowieka. Niedobór aktywności fizycznej jest jednym z głównych czynników wpływających na zapadalność na większość chorób cywilizacyjnych XXI wieku, takich jak choroby układu krążenia, cukrzyca, otyłość, nowotwory a nawet depresja. Pozostałe korzyści zdrowotne z regularnych spacerów to także między innymi: obniżenie poziomu glukozy we krwi, zwiększenie wrażliwości na insulinę, przyspieszenie metabolizmu, łatwiejsza utrata i utrzymanie wagi, poprawa pracy serca, spadek ciśnienia krwi, poprawa równowagi, poprawa nastroju i koncentracji oraz pamięci i funkcji poznawczych. Ponadto nawet umiarkowane formy aktywności fizycznej mają niebagatelny wpływ na efektywność pracy umysłowej, sprawność starszych osób, a także prawidłowy rozwój dzieci.

Tabela 1: Zestawienie wytycznych aktywności fizycznej dla chorób układu krążenia, cukrzycy i otyłości, nowotworów, depresji, pracy intelektualnej, sprawności osób starszych oraz rozwoju dzieci;
Źródło: własne.

Przypadek	Pozytywny wpływ	Zalecenia dotyczące umiarkowanej aktywności fizycznej
Choroby układu krążenia	tak	75 minut intensywnych ćwiczeń tygodniowo lub 150 minut umiarkowanej aktywności fizycznej tygodniowo
Cukrzyca oraz otyłość	tak	2 sesje ćwiczeń oporowych tygodniowo lub 150 minut ćwiczeń aerobowych tygodniowo lub 30 minut dziennie
Nowotwory	tak	150 minut ćwiczeń aerobowych tygodniowo
Depresja	tak	2 do 7 spacerów 30 minutowych w tygodniu
Praca intelektualna	tak	-
Osoby starsze	tak	30 minutowe spacery
Rozwój dzieci	tak	-

Tabela 1 pokazuje, że umiarkowane ćwiczenia, takie jak spacer, są jednym z głównych środków prewencyjnych dla zapobiegania niedoborom aktywności fizycznej i wynikających z tego chorobom. Spacer jest optymalną formą ćwiczeń zarówno dla starszych jak i młodszych ludzi, ze względu na bezpieczeństwo (małe ryzyko kontuzji) i stosunkowo małe wymagania wstępne (szczególnie dla osób otyłych), poza odpowiednim otoczeniem do podjęcia przyjemnego spaceru. Główna wytyczna zdrowego poziomu aktywności fizycznej którą można uśrednić na podstawie istniejących badań i zaleceń to 150 minut chodzenia tygodniowo, lub 30 minut dziennie, co jest granicą wokół której następuje znaczący spadek ryzyka chorób przewlekłych. Inne badania podają, że robienie około 7 000-10 000 kroków dziennie jest równoważne około 30 minutom spaceru rekreacyjnego (Tudor-Locke i inni, 2011), wliczając w to również wszystkie dodatkowe kroki zrobione w domu, szkole, czy miejscu pracy łącznie. Niektóre badania przytaczają też odległość 1 mili (1,55 km) spaceru dziennie jako wyznacznika przestrzennego działań prewencyjnych w zakresie zwalczania niedoborów aktywności fizycznej, co można przeliczyć na około 2000 kroków lub 15-22 minuty. Warto zaznaczyć, że przedstawiane tu zalecenia dla aktywności fizycznej odnoszą się do różnicy między średnią aktywnością fizyczną a docelową (optymalną). Każdy człowiek wykonuje pewną ilość aktywności fizycznej podczas podejmowania codziennych działań, jak wejście po schodach, wniesienie zakupów czy wyjście i powrót z parkingu/przystanku. Ostatecznie jednak ta niewielka ilość codziennych czynności nie wystarcza by pozostać w zdrowiu – konieczne jest zwiększenie średniego poziomu aktywności o dodatkowy ruch o charakterze wyłącznie rekreacyjnym (LTPA).

Przytoczone wyznaczniki posłużą jako parametry w budowanym symulatorze aktywności spacerowej. Analiza niedoborów aktywności fizycznej dla lokalnych społeczności, będzie oparta o porównanie kilku rozwiązań przestrzennych w oparciu o wykres procenta osób spacerujących powyżej 30 minut dziennie. Dodatkowym elementem do porównywania będą mapy z rozkładem adresów mieszkalnych różnicowanych graficznie na podstawie liczby mieszkańców spacerujących powyżej 30 minut dziennie. Tego typu dane mogą ukierunkować interwencje przestrzenne do miejsc najbardziej narażonych na chroniczne niedobory ruchu.

II.1.2 Psychologia: podejmowanie aktywności fizycznej w środowisku zbudowanym

W poprzednim rozdziale wykazano, że aktywność fizyczna ma ogromny wpływ na stan zdrowia człowieka (Warburton i Bredin, 2017), a spacer jest jednym z najłatwiej osiągalnych rodzajów ruchu, który poprawia zarówno zdrowie fizyczne jak i psychiczne (Gatrell, 2013).

Indywidualny poziom motywacji do podjęcia spaceru jest zależny od zdobywanych na bieżąco doświadczeń życiowych. Podtrzymanie motywacji do regularnych ćwiczeń może być wspierane przez wiele czynników, takich jak np. korzystanie z muzyki, przyjemnych zajęć rekreacyjnych (Cotter i Lachman, 2010), lub gier, jak np. „Pokemon Go” i tzw. „efekt Pikachu” (Kaczmarek, Misiak, Behnke, Dziekan i Guzik, 2017). W przypadku przytoczonych badań z Polski, szczególnie młodzi mężczyźni byli silnie motywowani do dotarcia w konkretne miejsca aby zdobyć kolejne osiągnięcia w wirtualnym świecie gry. Granie w „Pokemon Go” wiązało się ze statystycznie istotnym wzrostem liczby dziennych kroków wśród graczy (Khamzina, Parab, An, Bullard i Grigsby-Toussaint, 2020). Ze względu projektowanie nowoczesnych aplikacji w celu indukowania zachowań uzależniających poprzez regularne wywoływanie wyrzutów dopaminy w mózgu, świat wirtualny jest współcześnie w wielu przypadkach nawet bardziej atrakcyjny niż świat rzeczywisty (Alter, 2017; Montag, 2019). Dlatego obecnie wyjątkowo ważne jest, aby środowisko życia stanowiło dobrą konkurencję dla środowiska wirtualnego, aby możliwości rekreacji na świeżym powietrzu choć w niewielkim stopniu dorównały rekreacji w świecie wirtualnym.

W tym rozdziale przeanalizowano, jak przestrzeń projektowana może wpływać na podejmowanie umiarkowanej aktywności fizycznej o charakterze rekreacyjnym. Wszelkie inne rodzaje ruchu, takie jak chodzenie do szkoły, pracy, sklepu czy transportu publicznego, nie będą w tym rozdziale szerzej omawiane, ponieważ jak wspomniano w poprzednich rozdziałach, problemem nie jest niedobór ruchu koniecznego, ale niedobór dodatkowej rekreacyjnej aktywności fizycznej. Rodzaje ruchu nie rekreacyjnego są szeroko analizowane przez inny obszar naukowy, zajmujący się zagadnieniem „Walkability” (Lo, 2009), który w niewystarczającym stopniu skupia się na ruchu w celach czysto rekreacyjnych. Przegląd czynników środowiskowych mogących wpływać na decyzje dotyczące rekreacyjnej umiarkowanej aktywności fizycznej (LTPA) posłuży autorowi do stworzenia symulatora aktywności spacerowej (SAS). Analizowane w dalszej części czynniki zewnętrzne zostały poprzedzone przez opis zjawiska kształtowania nawyków, stanowiącego połączenie pomiędzy środowiskiem zewnętrznym a organizmem człowieka.

II.1.2.1 Proces kształtowania się nawyków

Od 40% do nawet 95% czynności wykonywanych przez ludzi każdego dnia to nawyki (Burrell, 2016; Lally i inni, 2010). Nawyki to automatyczne, powtarzające się wzorce zachowań, które są zdobywane i utrzymywane przez powtarzalność i wzmocnienie. Badania naukowe z zakresu psychologii i neurobiologii wskazują że, ciało podstawne jest odpowiedzialne za odczuwanie przyjemności i nagrody, co odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu nawyków. Ciało podstawne (z ang. limbic system) to część mózgu, która została

oddziedziczona jeszcze po gadach, co powoduje, że nawyk jest zbliżony w większym stopniu do sterowania niż do nauk kognitywnych (Glass, 2016).

Wiele badań (Middleton, 2000) już w XX wieku dowiodło, że pętla ciało-mózg, czyli funkcje motoryczne i poznawcze działają w pewnym stopniu w jednym układzie-obwodzie w mózgu (ciało podstawne – mózdzek). Ciało podstawne bierze udział zarówno w procesie kształtowania nawyków, jak i koordynacji ruchów. Dlatego ruch jest nieodzownym elementem kształtowania wszelkich nawyków, od palców pianisty, które same znają drogę w najbardziej skomplikowanych pasażach, po nogi profesjonalnego piłkarza, które w ułamku sekundy same układają się do idealnego strzału. Są to nawyki na tyle wyuczone, że robione są najczęściej już nieświadomie. Problem tkwi w niekorzystnych nawykach, w postaci np. braku ruchu, który też jest wyuczony. Automatyczne czekanie na windę 3 minuty, zamiast wejść po schodach w 30 sekund, albo czekanie na tramwaj 10 minut, który podwiezie nas o jeden przystanek, który przeszlubiśmy w 6 minut.

Ludzie osiągający mikro nagrody w postaci różnego rodzaju przyjemności łatwo przedstawiają organizm na naukę nowego nawyku, za sprawą automatycznych dopaminocentrycznych reakcji chemicznych w mózgu, utrwalając określone połączenia neuronalne w mózgu, co obecnie stanowi podstawową wiedzę w dziedzinie neurobiologii (Hebb, 2005). Powyższy fenomen został zauważony i opisany wcześniej przez psychologów za pomocą teorii warunkowania behawioralnego (Skinner, 1938), która jest jednym z fundamentalnych konceptów w psychologii behawioralnej¹. Teoria wyjaśnia, jak zachowania są kształtowane przez uczenie się w oparciu o skutki, przy założeniu, że zachowanie jest warunkowane przez doświadczenia i wyniki, które wynikają z tych doświadczeń. Główne założenia teorii warunkowania behawioralnego to warunkowanie klasyczne (pawłowskie), instrumentalne (operacyjne), wzmocnienie, karanie i ekstynkcja.

Warunkowanie klasyczne (tzw. pawłowowskie) (Pawlow, 1927) to forma uczenia się, która zakłada, że organizmy uczą się łączyć bodźce neutralne (które same w sobie nie wywołują reakcji) z bodźcami wywołującymi naturalną reakcję. Na podstawie powiązania między tymi bodźcami, bodziec neutralny staje się wywołujący reakcję. Słynny eksperyment z psami Iwana Pawłowa ilustruje ten proces, gdzie psy nauczyły się ślinić na dźwięk dzwonka, ponieważ dzwonki były prezentowane przed podaniem pożywienia.

Warunkowanie instrumentalne (operacyjne) (Hull, 1930) to forma uczenia się koncentrująca się na konsekwencjach zachowania. Jeśli zachowanie jest nagradzane lub spotyka się z pozytywnymi skutkami, jest bardziej prawdopodobne, że zostanie powtórzone w przyszłości. Jeśli zachowanie jest karane lub spotyka się z negatywnymi skutkami, jest mniej prawdopodobne, że będzie powtórzone.

1 Pojęcie behawioryzmu (Watson J. B., 2017; Skinner, Radical Behaviorism, 2014) wywodzi się z języka angielskiego – od słowa behavior, które oznacza zachowanie. W dziedzinie psychologii, behawioryzm to kierunek, który wyłonił się na początku XX wieku, jako teoria zachowania, teoria s-r (skrót od stimulus-reaction) lub inaczej teoria bodźca-reakcji. Behawioryści skupiali się głównie na badaniu zachowań człowieka w różnorodnych sytuacjach. Behawioryzm rozwinął się głównie w Stanach Zjednoczonych i stanowił przeciwwagę dla ówczesnych dominujących nurtów psychologicznych, które opierały się na analizie treści świadomości (jak np. psychoanaliza), do których dostęp miał wyłącznie sam podmiot. W behawioryzmie zdefiniowano zachowanie jako zmiany fizjologiczne i reakcje ruchowe, będące odpowiedzią organizmu na konkretne zdarzenia (czyli bodźce, jakie wywołują się zarówno z otoczenia społecznego, jak i naturalnego). Psychologia behawioralna zakłada, że należy badać powiązania pomiędzy reakcjami a bodźcami. Cel tego rodzaju badań to zdolność przewidywania i ostatecznie wpływania na zachowanie.

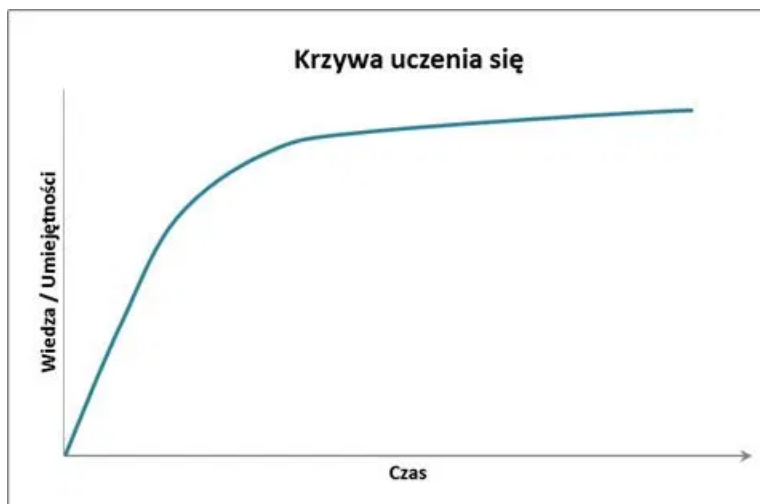
Wzmocnienie w kontekście teorii warunkowania behawioralnego, odnosi się do konsekwencji, które zwiększają prawdopodobieństwo powtarzania się zachowania. Wzmocnienie może być pozytywne (nagradzające) lub negatywne (unikanie czegoś nieprzyjemnego).

Karanie odnosi się do konsekwencji, które zmniejszają prawdopodobieństwo powtarzania się zachowania. Podobnie jak wzmocnienie, karanie może być pozytywne (kara fizyczna lub negatywna reakcja) lub negatywne (usunięcie nagrody).

Ekstynkcja to proces, w którym zachowanie zanika, ponieważ przestaje być wzmocnione lub jest karane. Kiedy zachowanie przestaje przynosić pożądane skutki, towarzyszące mu reakcje osłabiają się.

Teoria warunkowania behawioralnego oparta o system kar i nagród ma szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach, w tym w psychoterapii behawioralnej, nauczaniu i zarządzaniu zachowaniem (Gordan, 2014). Jest także wykorzystywana w badaniach nad zachowaniem zwierząt oraz w analizie zachowań ludzkich w różnych kontekstach społecznych. Badania z 2017 roku (Kaushal, 2017) sugerują, że nawyki odgrywają kluczową rolę w zapoczątkowaniu i utrzymaniu regularnej aktywności fizycznej, ponieważ pomagają jednostkom automatyzować aktywność fizyczną i zwiększać prawdopodobieństwo jej powtarzania w przyszłości.

Proces nabywania nawyków w większości przypadków jest powiązany ze zjawiskiem uczenia się. Krzywa uczenia się (Rysunek 6), może obrazować również proces nabywania nawyków, gdzie stopniowo kształtuje się i utrwała pewne zachowania poprzez powtarzanie danej czynności lub aktywności. Krzywa uczenia się odzwierciedla właśnie te zmiany w zachowaniu w miarę powtarzania danej czynności (Mazur, 1978).



Rysunek 6

Krzywa uczenia się;

źródło: <https://i0.wp.com/kierownikprojektu.com/wp-content/uploads/2017/04/krzywa-3.jpg?resize=480%2C314&ssl=1> (23.02.2022).

Podstawowe cechy krzywej uczenia się w kontekście behawioralnym to (Jaber, 2016):

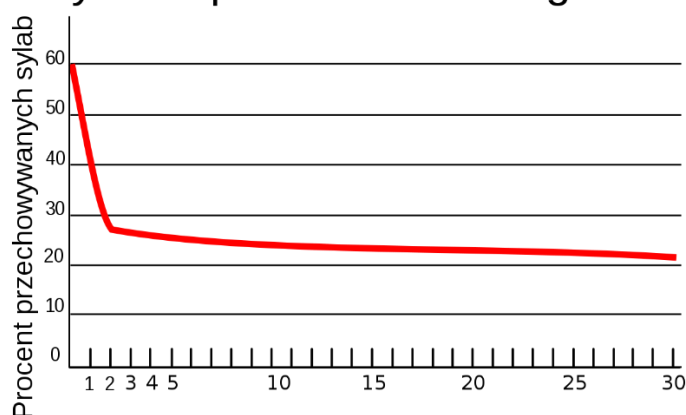
1. Strome wznoszenie: W miarę nabierania doświadczenia wydajność szybko rośnie, ponieważ jednostka zdobywa lepsze zrozumienie i opanowuje technikę lub zadanie.

2. Spłaszczenie krzywej: Po osiągnięciu pewnego poziomu wydajności krzywa uczenia się może się wyrównać lub spłaszczyć, co oznacza, że dalsza praktyka nie przynosi tak znaczących poprawek jak na początku.
3. Plato (stabilizacja): Na pewnym etapie krzywa uczenia się może osiągnąć stabilizację, co oznacza, że dalsza praktyka nie prowadzi już do dalszego wzrostu wydajności.

Krzywa uczenia się może mieć różną formę w zależności od charakterystyki zadania czy umiejętności. Niektóre zadania mogą wymagać dłuższego czasu, aby osiągnąć wysoki poziom wydajności (np. gra na instrumencie muzycznym), podczas gdy inne mogą być opanowane stosunkowo szybko (np. uczenie się chodzenia po atrakcyjnych trasach spacerowych w okolicy). Krzywa uczenia się jest wykorzystywana między innymi w badaniach nad procesem uczenia się, aby zrozumieć, jak ludzie nabywają nowe umiejętności, jakie jest tempo uczenia się i jak długo trwa osiągnięcie pełnej sprawności w danej dziedzinie.

Szczególne znaczenie dla kalibracji tworzonego symulatora aktywności spacerowej (SAS) mogą mieć badania dotyczące czasu kształtowania się nawyków (Lally P. V., 2010) które podają w większości przypadków przedział od 18 do 66 dni jako średni okres potrzebny do nabycia nowego nawyku, zaznaczając przy tym, że czynniki indywidualne mogą wydłużyć ten czas w ekstremalnych przypadkach nawet do 254 dni.

Krzywa zapominania Ebbinghausa



Rysunek 7

Krzywa zapominania Ebbinghausa, prezentująca procent zapamiętanych sylab w czasie 30 dni;

źródło:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/12/Ebbinghaus_forgetting_Curve_PL.svg/1200px-Ebbinghaus_forgetting_Curve_PL.svg.png (10.02.2021).

Zjawiskiem opozycyjnym do procesu uczenia się jest zanikanie nawyku (Anderson, 1997), które można również opisać za pomocą tak zwanej krzywej zapominania Ebbinghausa (Murre, 2015). Krzywa ma kształt w uproszczeniu odwrotny do krzywej uczenia się, z wyraźnym spadkiem na początku i szybkim spłaszczeniem (Rysunek 7).

Budowanie nawyku aktywności fizycznej w społeczeństwie powinno dać się zaobserwować w postaci krzywej uczenia się, gdzie pomiar może dotyczyć liczby osób spełniających wymogi minimalnego dziennego czasu ruchu rekreacyjnego. Biorąc pod uwagę badania czasów kształtowania się nawyków, faza stromego wznoszenia się linii na wykresie powinna zajmować około 18-66 dni (Lally P. v., 2010).

II.1.2.2 Czynniki środowiskowe wpływające na decyzje spacerowe

Jednym z kluczowych czynników, wpływających na decyzje o wyjściu na spacer i w konsekwencji na kształtowanie nawyków, jest indywidualne środowisko życia (Brownson i inni, 2009). Miejsce zamieszkania może wpływać na indywidualną motywację, zdrowie psychiczne i fizyczne, a także dostępność możliwości rekreacyjnych. W niniejszym rozdziale zostanie przedstawiony zbiór badań naukowych, które analizują, w jaki sposób środowisko życia wpływa na chęć i częstotliwość wychodzenia na spacer.

Najnowsze badania potwierdzają, że częstotliwość i długość spacerów w miastach wiąże się bezpośrednio z dostępnością i atrakcyjnością sztucznie stworzonych przestrzeni rekreacyjnych (Kruize i inni, 2019). Wiele badań wiąże również dostępność terenów rekreacyjnych bezpośrednio z ogólnym ryzykiem chorobowym. Przykładowo według analizy z 2011 roku dostępność przestrzeni rekreacyjnych przekłada się bezpośrednio na ryzyko otyłości badanych społeczności (Zenk i inni, 2011).

Jeszcze w 2005 roku istniało niewiele analiz dotyczących tego, jakie cechy parku mogą zwiększyć poziom aktywności fizycznej jego użytkowników. W tym okresie powstał jeden z pierwszych modeli koncepcyjnych opisujący relacje między korzystaniem z parku i aktywnością fizyczną (Bauman i inni, 2005), na którym bazowało wiele kolejnych badań, co pokazuje praca przeglądowa z 2010 roku (McCormack i inni, 2010). Analizuje ona 21 publikacji dotyczących relacji aktywności fizycznej i dostępności przestrzeni rekreacyjnych. Bliskość i łatwy dostęp do parku były w niektórych przypadkach negowane przez niski poziom bezpieczeństwa, który zniechęcał do korzystania z parku szczególnie ludzi słabszych (starszych, kobiety, dzieci) (Wilbur i inni, 2002). Dodatkowym kryterium, wpływającym na dostępność parku, okazała się obsługa przez transport publiczny, dzięki której ludzie mogą spacerować bardziej swobodnie i na dalsze dystanse, wiedząc, że w razie zmęczenia będą mogli szybciej wrócić transportem publicznym (Day, 2008) (Bauman, 2012) (Wang, 2016).

Związek przestrzeni rekreacyjnej z aktywnością fizyczną jest często niespójny (Bancroft i inni, 2015), ze względu na złożoność zjawiska, na którą wpływa również wiele nieprzewidywalnych czynników. Badania przeglądowe z 2016 roku wyodrębniają trzy główne czynniki, wpływające na zmniejszenie obciążeń zdrowotnych związanych z globalną pandemią chronicznych niedoborów aktywności fizycznej: układ urbanistyczny, system transportowy i infrastrukturę rekreacyjną jako całkiem odrębny silny czynnik wpływu (Sallis i inni, 2016). Inne badania zaznaczają, że to właśnie dostępność terenów rekreacyjnych jest głównym czynnikiem, który wpływa na zachowania spacerowe mieszkańców miast, a sam stopień doinwestowania mierzony przykładowo dostępnością w parkach przyrządów do ćwiczeń (tzw. siłowni na świeżym powietrzu) nie jest istotnym czynnikiem wpływu na aktywność fizyczną (Heath i inni, 2012).

Ze względu na złożoność zagadnienia autor zaproponował własną klasyfikację cech środowiska życia, które wpływają na decyzje spacerowe. Są to: dostępność, infrastruktura, bezpieczeństwo, proksemika, uwarunkowania społeczne i warunki pogodowe.

II.1.2.2.1 Dostępność przestrzeni spacerowych

Odpowiednie zaprojektowanie dostępności istniejących terenów rekreacyjnych w środowisku miejskim jest optymalną strategią, która ma na celu przyczynić się do rozwoju

aktywności fizycznej (Roux i inni, 2007). Badania wykazują, że obecność zielonych przestrzeni, takich jak parki, lasy czy ogrody, może pozytywnie wpływać na zdrowie psychiczne i emocjonalne. Ludzie, którzy mają łatwy dostęp do atrakcyjnej przestrzeni rekreacyjnej mają większą motywację do wyjścia na spacer. Zmiana zachowania może następować poprzez nabywanie nawyków w wyniku powtarzających się interakcji z łatwo dostępną otaczającą przestrzenią rekreacyjną. Osoby mieszkające w okolicach bogatych w zieleni przestrzeni mają tendencję do częstszego wychodzenia na spacer, ponieważ środowisko to może działać relaksująco i redukować poziom stresu. Kontakt z naturą może także zwiększać poziom endorfin i poprawiać nastrój, co sprawia, że wyjście na spacer staje się bardziej atrakcyjne.

Szeroki przegląd badań dotyczący wpływu zieleni na aktywność fizyczną został wykonany już w 2006 (Maas i inni, 2006) i wykazał, że większy dostęp do terenów zielonych jest związany z lepszym stanem zdrowia psychicznego i fizycznego. Mieszkańcy, którzy mieli łatwy dostęp do parków i terenów rekreacyjnych, mieli większą tendencję do spacerowania i aktywności fizycznej na świeżym powietrzu.

Najnowszy przegląd z 2022 roku dotyczący nawyków chodzenia osób starszych (Xu, Nordin i Aini, 2022), wykazał pozytywny związek między dostępnością terenów zielonych, takich jak parki i ogrody, a zwiększoną aktywnością fizyczną, w tym częstszymi spacerami, u starszych dorosłych.

Badania dotyczące zieleni i rozwoju poznawczego dzieci w wieku szkolnym (Dadvand i inni, 2015) sugerowały, że dzieci mieszkające w okolicach obszarów zielonych miały lepszy rozwój poznawczy i funkcje poznawcze w porównaniu z dziećmi, które miały ograniczony dostęp do zielonych przestrzeni.

Badania relacji zdrowia psychicznego i dostępności do terenów zielonych (Zhang i inni, 2020) wykazało korzystny wpływ zieleni na stan psychiczny, w tym redukcję objawów depresji i lęku. Osoby, które miały łatwy dostęp do terenów zielonych, częściej korzystały z możliwości spacerowania, co przyczyniło się do poprawy stanu zdrowia psychicznego.

Przeprowadzono również badania wpływu zielonych terenów zamieszkania na wyniki porodów (Abelt i McLafferty, 2017), które wykazały, że dostępność terenów zielonych i jakości infrastruktury miejskiej były związane z niższym ryzykiem przedwczesnych porodów i lepszymi wynikami zdrowotnymi noworodków, spowodowane częstszym wychodzeniem matek na spacer.

Przytoczone badania dowodzą korzystnego wpływu dostępności terenów zielonych na decyzje spacerowe i aktywność fizyczną. Osoby, które mają łatwy dostęp do parków, ogrodów i innych obszarów zielonych, są bardziej skłonne do spacerowania i aktywności na świeżym powietrzu. Ponadto, dostępność terenów zielonych może także pozytywnie wpływać na zdrowie psychiczne, zmniejszając poziom stresu i poprawiając nastrój.

II.1.2.2.2 Infrastruktura miejska

Dostępność i jakość infrastruktury miejskiej jest jednym z najważniejszych czynników w procesie podejmowania decyzji o wyjściu na spacer. Miasta i dzielnice, które są przystosowane do pieszych, oferują szerokie chodniki, ścieżki rowerowe i przyjazne przestrzenie dla pieszych, zachęcając mieszkańców do wychodzenia na spacer. Natomiast

obszary, gdzie brakuje odpowiedniej infrastruktury, mogą ograniczać mieszkańcom możliwości spacerowania, co wpływa na ich aktywność fizyczną.

Badania z Kanady, dotyczące przystępności pieszej, aktywności fizycznej i wskaźników masy ciała (Wasfi i inni, 2016) wskazują, że wyższa dostępność chodników, ścieżek rowerowych i innych elementów infrastruktury pieszej w okolicach zamieszkania wiązała się z większą aktywnością fizyczną, w tym częstszymi spacerami. Ponadto, osoby mieszkające w bardziej przystępnych pieszo dzielnicach miały tendencję do niższego wskaźnika masy ciała.

Badania dotyczące przystępności pieszej środowiska zamieszkania w stosunku do czynników ryzyka sercowo-naczyniowego u dorosłych w Australii (Müller-Riemenschneider i inni, 2013) sugerowały, że mieszkańcy dzielnic o wyższej przystępności pieszej mieli tendencję do większej aktywności fizycznej, w tym częstszego spacerowania, co przyczyniło się do lepszych wyników zdrowotnych, takich jak niższe ciśnienie krwi i lepszy profil lipidowy.

Kolejne badania analizowały wpływ przystępności pieszej dzielnicy na chodzenie w zależności od etapu życia dorosłego i wielkości obszaru dzielnicy (Villanueva i inni, 2014), które wykazały, że przystępność pieszej infrastruktury miejskiej miała pozytywny wpływ na aktywność fizyczną, w tym spacerowanie, u dorosłych w różnych etapach życia. Ponadto, badanie sugeruje, że wielkość obszaru dzielnicy może mieć znaczenie, a większe dzielnice z bardziej przystępną infrastrukturą dla pieszych mogą sprzyjać większej aktywności fizycznej.

Powyższy skrótowy przegląd potwierdza, że dostępność i jakość infrastruktury miejskiej, takiej jak chodniki, ścieżki rowerowe, i inne przestrzenie dla pieszych, mają istotny wpływ na ludzkie decyzje o spacerowaniu i aktywności fizycznej. Mieszkańcy dzielnic o lepiej przystępnej pieszej infrastrukturze mają tendencję do częstszego spacerowania, co pozytywnie wpływa na zdrowie fizyczne i psychiczne. Dlatego tworzenie bardziej przyjaznej dla pieszych infrastruktury w miastach może być jednym z kluczowych czynników w promowaniu aktywnego stylu życia i poprawy zdrowia mieszkańców.

II.1.2.2.3 Bezpieczeństwo

Mieszkańcy, którzy postrzegają swoją okolicę jako niebezpieczną, mogą ograniczać swoje aktywności fizyczne na zewnątrz, niezależnie od tego, czy przestępczość stanowi poważne zagrożenie czy nie (Foster, Giles-Corti i Knuiman, 2014).

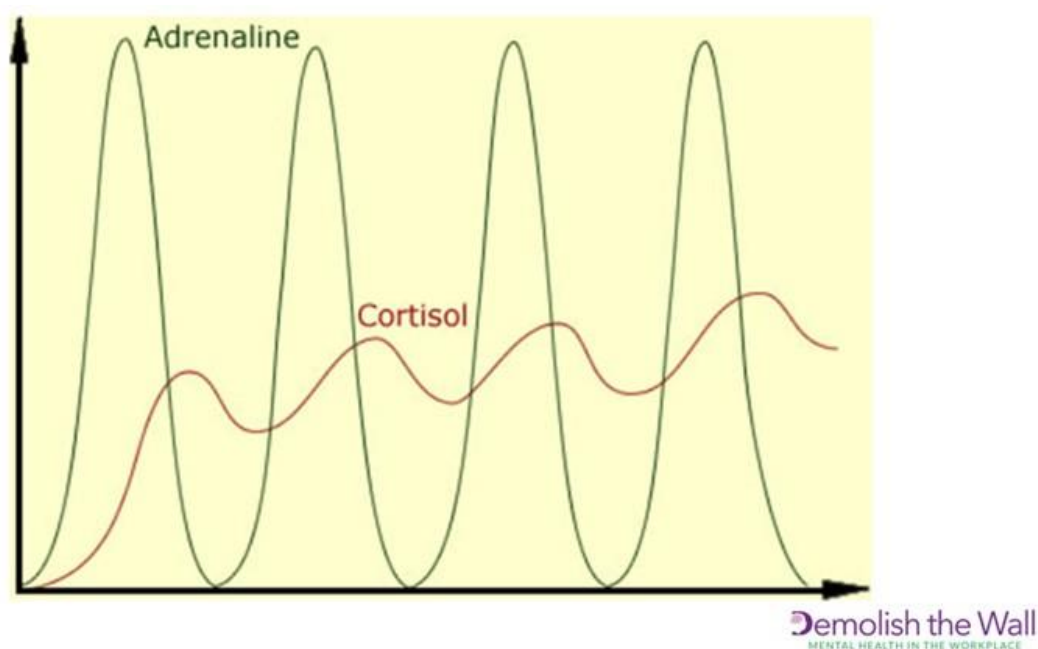
Badanie przeprowadzone wśród nastolatków (Kerr, Norman, Sallis i Patrick, 2008) wykazały, że młodzież, która postrzegała swoją okolicę jako bezpieczną, miała większą tendencję do podejmowania aktywności fizycznej na świeżym powietrzu, w tym spacerowania. Natomiast młodzież, która czuła się mniej bezpiecznie, była bardziej skłonna unikać aktywności na zewnątrz.

Podobne badania przeprowadzono w grupach osób starszych (Fisher, Li, Michael i Cleveland, 2004). Strach przed przestępczością i obawy o osobiste bezpieczeństwo były istotnymi przeszkodami w wychodzeniu na spacer i aktywności fizycznej na zewnątrz, co podkreśla znaczenie poprawy bezpieczeństwa w okolicy w celu promowania aktywności fizycznej wśród osób starszych.

Badania dorosłych (Foster, Hillsdon i Thorogood, 2004) wskazują, że kobiety chodzą częściej w celach użytkowych niż mężczyźni i zwracają większą uwagę na kwestie

bezpieczeństwa miejsca do spaceru. Mężczyźni są bardziej skłonni do chodzenia co najmniej 150 minut na tydzień, jeśli mają dostęp do lokalnego parku i ich częstotliwość i długość spacerów nie jest związana z obawami dotyczącymi bezpieczeństwa.

Sytuacja potencjalnego zagrożenia, sprawia, że organizm człowieka wytwarza hormon adrenaliny za pomocą przysadki mózgowej i nadnerczy (Sapolsky, Why zebras don't get ulcers: The acclaimed guide to stress, stress-related diseases, and coping, 2004). Przykładowo, jeśli człowiek idzie niczego się nie spodziewając przez park, a nagle w zbyt bliskiej odległości pojawia się bez żadnego elementu zapowiedzi obca osoba, to nawet jeśli jest to nieszkodliwa starsza pani, organizm człowieka wytwarza początkowo adrenalinę, tak jak gdyby wypadło na niego dzikie zwierzę (Sapolsky, 1990). Jest to pozostałość z czasów pierwotnych, kiedy natychmiastowość automatyzmów behawioralnych służyła przetrwaniu gatunku w diametralnie bardziej niebezpiecznych warunkach niż obecne otoczenie współczesnego człowieka (McEwen i Sapolsky, 1995). Adrenalina produkowana przez nadnercza i przysadkę mózgową odpowiada za reakcje ataku i ucieczki. Działanie hormonu ma za zadanie postawić cały organizm w stan gotowości, dokrwic wszystkie mięśnie poprzez przyspieszenie oddechu i rytmu bicia serca (Sapolsky, Endocrinology of the stress-response, 2002). W następstwie krótkotrwałego wyrzutu adrenaliny nadnercza zaczynają produkować kolejny hormon - kortyzol - który odpowiada za przygotowanie organizmu do poradzenia sobie z długotrwałym zagrożeniem (Rysunek 8).



Rysunek 8

Schematyczny wykres produkcji kortyzolu w zależności od poziomu adrenaliny;

źródło: <https://www.caremanagementmatters.co.uk/wp-content/uploads/2020/11/Adrenaline-and-Cortisol-graph.jpg> (20.03.2020).

W obecnych czasach społeczeństwo cierpi na statystycznie zbyt wysoki poziom kortyzolu we krwi, co jest objawem życia w przewlekłym stresie, powodującym wiele chorób (Wood i inni, 2018). Jednym z naturalnych sposobów na obniżenie poziomu kortyzolu we krwi poza snem jest aktywność fizyczna.

Zestresowani współczesnym tempem życia ludzie wychodzą na spacer do przestrzeni o funkcji rekreacyjnej podświadomie pragnąc pozbyć się kortyzolu ze zmęczonego napiętego

organizmu. Jednak jeśli przestrzeń rekreacyjna, którą wybrali jest zaprojektowana w nieprzemyślany sposób, może to prowadzić do podobnych sytuacji jak w przytoczonym przykładzie ze starszą panią, lub przykładach z życia autora, które dodatkowo zwiększają poziom kortyzolu we krwi. W takim przypadku przestrzeń rekreacyjna zamiast pełnić rolę terapeutyczną, może swoim sposobem zagospodarowania zniechęcać ludzi do aktywności fizycznej. Dzieje się tak w wyniku opisanego wcześniej zjawiska warunkowania negatywnego. Jeśli człowieka spotyka w danej przestrzeni coś stresującego, odbieranego jako potencjalne niebezpieczeństwo, zniechęci się on do podjęcia aktywności fizycznej w przyszłości, gdyż podjęte działanie w postaci spaceru nie wpłynęło w sposób pozytywny na jego stan psychofizyczny.

Zaprezentowane badania podkreślają, że poczucie bezpieczeństwa odgrywa kluczową rolę w podejmowaniu decyzji o spacerowaniu i aktywności fizycznej w okolicy zamieszkania. Osoby, które postrzegają swoje otoczenie jako mniej bezpieczne, są mniej skłonne do korzystania z okolicznych terenów, parków czy chodników do spacerowania. Dlatego ważne jest, aby poprawić bezpieczeństwo w dzielnicach, co może zwiększyć aktywność fizyczną i zachęcić do większej liczby spacerów.

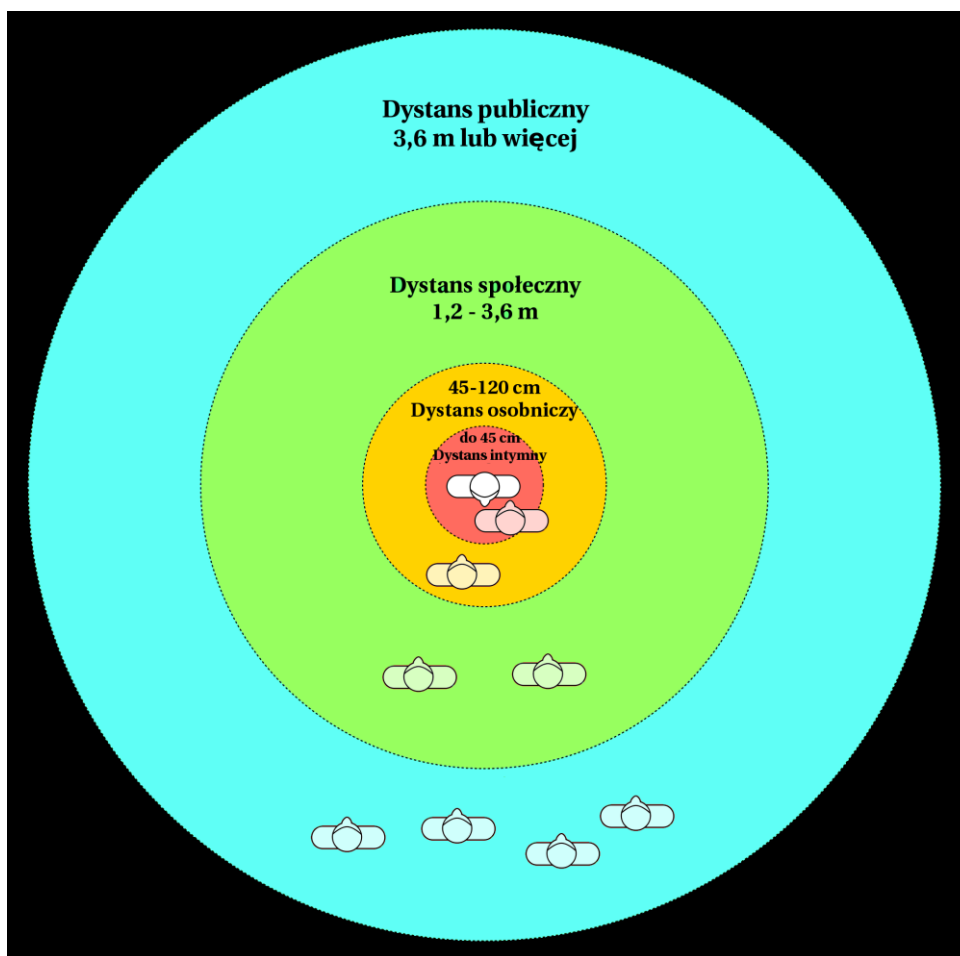
II.1.2.2.4 Proksemika²

Decyzje spacerowe ludzi mogą znajdować się również pod wpływem czynników związanych z dystansami społecznymi, czyli proksemiką. W przypadku spacerowania w tłocznych miejscach, takich jak ruchliwe chodniki czy centra miast, proksemika wpływa na to, jak blisko innych osób czujemy się komfortowo. Ludzie mogą preferować zachowanie odpowiedniego dystansu społecznego, aby uniknąć poczucia dyskomfortu czy naruszenia swojej przestrzeni osobistej. Według badań, zachowania proksemiczne powodują często spowolnienie przemieszczania się w tłumie (Gorrini, Bandini i Sarvi, 2014).

Proksemika może również wpływać na wybór trasy spacerowej. Osoby, które preferują większy dystans społeczny, mogą wybierać spokojniejsze, mniej zatłoczone trasy, aby uniknąć natłoku ludzi i zachować swoją przestrzeń. Tereny zielone, parki czy szerokie aleje, mają większą przestrzeń do zachowania swojej prywatności i odizolowania od innych. W wielkich miastach ludzie często szukają takich miejsc jako odskoczni od zatłoczonych biur i mieszkań.

Poczucie bezpieczeństwa podczas spacerowania również może mieć związek z dystansami społecznymi. Gwałtowne wtargnięcie w zbyt bliski dystans społeczny, może wywołać ostrą reakcję stresową, podczas której organizm człowieka wytwarza hormon adrenaliny i kortyzolu, który to jest obecny w zbyt dużym stopniu we współczesnym społeczeństwie, ze wszystkimi szkodliwymi konsekwencjami. Osoby, które czują się komfortowo w zachowaniu większego dystansu społecznego, mogą unikać wchodzenia w bliski kontakt z nieznanymi w nieznanych miejscach, co może pomóc w zapewnieniu większego poczucia bezpieczeństwa.

² Proksemika to nauka o przestrzeni osobistej i zachowaniu związanym z dystansem społecznym (Hall, A system for the notation of proxemic behavior, 1963). Za twórcę proksemiki uważa się Edwarda T. Halla, który był amerykańskim antropologiem i psychologiem. W swoich pracach badał wpływ dystansów społecznych na interakcje międzyludzkie (Hall, The silent language, 1973).



Rysunek 9

Podział na cztery dystanse według teorii E. T. Halla;

źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b1/Personal_Space_POL.png (18.11.2022).

Proksemika może także wpływać na preferencje spacerowania samemu lub w towarzystwie innych. Osoby, które mają większe potrzeby dystansu społecznego, mogą preferować spacerowanie w mniejszych grupach lub samodzielnie, aby uniknąć zbliżania się do innych.

Warto zaznaczyć, że preferencje proksemiczne mogą różnić się w zależności od kultury, stanu hormonalnego, osobowości i sytuacji, w jakiej znajduje się dana osoba (Watson, 2014; Remland, Jones i Brinkman, 1991). Niektórzy ludzie mogą być bardziej skłonni do akceptowania bliskiego kontaktu, podczas gdy inni mogą preferować większy dystans społeczny. To złożone i indywidualne zachowanie, które jest regulowane przez wiele czynników, w tym właśnie proksemikę.

II.1.2.2.5 Uwarunkowania społeczne

Uwarunkowania społeczne również odgrywają kluczową rolę w podejmowaniu decyzji o wyjściu na spacer. Jeśli w naszej okolicy mamy przyjaciół, rodziców czy sąsiadów, którzy regularnie spacerują i zachęcają nas do udziału, prawdopodobieństwo, że sami będziemy wychodzić na spacer, znacznie wzrasta. Czynniki społeczne mogą działać jako motywacja i wsparcie, jak i demotywacja, co wpływa na nasze decyzje w zakresie aktywności fizycznej.

Synteza badań jakościowych z 2010 roku (McCormack i inni, 2010) sugeruje, że postrzeganie środowiska społecznego nieodłącznie splata się z postrzeganiem środowiska fizycznego. Fizyczne cechy parków, jak również postrzeganie tych cech (kształtujące się w kontekście szerszych kontekstów społecznych), mogą wpływać na wzorce aktywności fizycznej.

Przegląd badań dotyczących wsparcia społecznego od rodziców, przyjaciół i nauczycieli w kontekście aktywności fizycznej u nastolatków (Mendonça i inni, 2014) sugerują, że pozytywne wsparcie społeczne, w tym zachęty i motywacja od bliskich, może znacznie zwiększyć aktywność fizyczną, w tym chęć wychodzenia na spacer.

Badanie spoistości społecznej dzielnicy i wpływu na aktywność fizyczną na świeżym powietrzu wśród osób starszych (Stathi i inni, 2012) wskazały, że wyższy poziom spoistości społecznej, czyli więzi i relacji między mieszkańcami, był związany z większą aktywnością fizyczną, w tym spacerowaniem. Osoby starsze, które czuły się bardziej zaangażowane w społeczność lokalną, były bardziej skłonne do spacerowania na zewnątrz.

Badanie kobiet dotyczące czynników społecznych i psychologicznych związane z intencjami uczestnictwa w grupach spacerowych na świeżym powietrzu (Sanderson, Littleton i Pulley, 2002) wskazały, że wsparcie społeczne od rodziny, przyjaciół czy sąsiadów było istotnym czynnikiem motywującym kobiety do wychodzenia na spacer w grupach. Osoby, które czuły się bardziej wspierane i miały większą akceptację ze strony swojego otoczenia, były bardziej skłonne do uczestnictwa w grupach spacerowych.

Podobne badania ogólne dotyczące wpływu wsparcia społecznego na aktywność fizyczną w czasie wolnym (Trost i inni, 2002) wykazały, że pozytywna interakcja z rodziną, przyjaciółmi lub innymi członkami społeczności może zwiększać motywację do podejmowania aktywności fizycznej, w tym spacerowania.

Badania przeglądowe sieci społecznych (Mahan III i inni, 2015) wykazały, że uczestnictwo w aktywności fizycznej w obecności innych osób, na przykład z rodziną, przyjaciółmi lub w grupach społecznych, może znacznie zwiększyć szanse na regularne wyjście na spacer i aktywność na świeżym powietrzu.

Kolejna metaanaliza i przegląd systematyczny dotyczyły kapitału społecznego w kontekście aktywności fizycznej (Carrillo-Álvarez, Kawachi i Riera-Romaní, 2019). Kapitał społeczny odnosił się do pozytywnych interakcji i wsparcia w społeczności, które wpływały na ludzkie zachowania. Wyniki metaanalizy wskazały, że większy kapitał społeczny, taki jak więzi z przyjaciółmi i sąsiadami, może przyczynić się do zwiększenia aktywności fizycznej, w tym chęci wychodzenia na spacer. Pozytywne interakcje społeczne, zachęty i motywacja od bliskich mogą znacznie zwiększyć chęć i częstotliwość spacerowania oraz aktywności na świeżym powietrzu, dlatego tworzenie pozytywnych sieci społecznych i społeczności wspierających aktywność fizyczną może być kluczowe w promowaniu zdrowego stylu życia i aktywności fizycznej.

II.1.2.2.6 Warunki pogodowe i mikroklimat

Pogoda odgrywa jedną z kluczowych ról w decyzjach o wyjściu na spacer. W okresach deszczowych czy bardzo zimnych warunkach atmosferycznych, ludzie mogą być mniej skłonni do wychodzenia na spacer. W większości wypadków odpowiednie ubranie i wyposażenie mogą zredukować negatywny wpływ warunków pogodowych na decyzje spacerowe, lecz

nigdy całkowicie go nie usuną. Ładna pogoda i słoneczny dzień mogą działać jako motywacja do aktywności na świeżym powietrzu, jednak zbyt mocne słońce i wysoka temperatura zwiększają zapotrzebowanie na miejsca zacienione.

Obecnie, w związku z globalnym ociepleniem, problem niedostatecznego zacienienia wielu miejsc spacerowych jest coraz bardziej widoczny. Badania wpływu miejskiego drzewostanu i cienia na korzystanie z ulic i komfort na zewnątrz (Tan, Lau i Ng, 2016; Shooshtarian, Rajagopalan i Sagoo, 2018; Chokhachian, Santucci i Auer, 2017; Ptak-Wojciechowska i inni, 2021) wskazywały, że ulice z większą ilością drzew i cienia były bardziej popularne wśród pieszych, którzy byli skłonni spędzać więcej czasu na spacerach w tych obszarach. Drzewa i zacienione miejsca zapewniały ochronę przed ekstremalnymi warunkami pogodowymi i poprawiały komfort spacerowania na świeżym powietrzu.

Badania przeprowadzone w 2012 roku w Szwecji (Konarska, Lindberg, Larsson, Thorsson i Holmer, 2014) podkreślały, że zacienione przez drzewa miejsca w mieście są istotne dla ochrony przed ekspozycją na szkodliwe promieniowanie UV i zmniejszenie zjawiska wysp ciepła, co może zachęcać do większej aktywności na świeżym powietrzu, w tym spacerowania.

Optymalne zacienienie i nasłonecznienie ma pozytywny wpływ na decyzje spacerowe. Obecność drzew i cienia przyciąga pieszych w okresach letnich, zachęca do dłuższych spacerów, poprawia komfort i zdrowie podczas aktywności na świeżym powietrzu oraz chroni przed negatywnymi skutkami ekspozycji na promieniowanie UV i zanieczyszczenie powietrza. W okresach zimowych drzewa liściaste tracą właściwości zacieniające i nie ograniczają ekspozycji na zimowe słońce. Dlatego projektowanie i rozwijanie zacienionych przestrzeni w miastach może być jednym z kluczowych elementów promowania aktywnego stylu życia i zdrowego spacerowania.

II.1.2.3 Podsumowanie

Środowisko życia ma złożony wpływ na decyzje spacerowe ludzi. Czynniki takie jak dostępność zielonych przestrzeni, bezpieczeństwo, wsparcie społeczne, infrastruktura miejska, warunki pogodowe, czy czynniki związane z proksemiką mogą działać zarówno motywująco, jak i ograniczająco. Zrozumienie tych czynników jest ważne w kontekście promowania aktywności fizycznej i zdrowego stylu życia w społeczeństwie, ponieważ to środowisko odpowiada w dużej mierze za wyrabianie zdrowych i niezdrowych nawyków. Środowisko wysyłające głównie negatywne bodźce może doprowadzić do sytuacji, w której człowiek nie będzie chciał wyjść z domu, szczególnie jeśli będzie miał alternatywę w postaci dostępu do świata wirtualnego. Odpowiednia przestrzeń o korzystnych cechach może wspierać proces uczenia się nowych, pożądanых nawyków. Zachowanie człowieka w przestrzeni można w pewnym stopniu przewidzieć, wiedząc jak poszczególne elementy środowiska mogą indukować określone emocje.

Jedną z obiecujących metod wspomagania decyzji projektowych są symulacje komputerowe, które mogą być kalibrowane do danych rzeczywistych pozyskiwanych np. bezpośrednio z telefonów komórkowych użytkowników zieleni miejskiej (Park i inni, 2022). W kolejnym rozdziale przeprowadzono przegląd aktualnej literatury dotyczącej symulacji zachowania człowieka w przestrzeni, w celu wyłonienia odpowiednich praktyk i zasad stosowanych przy tworzeniu symulatora aktywności spacerowej (S.A.S).

Tabela 2

Zestawienie czynników wpływających na podejmowanie spacerowej aktywności fizycznej;

Źródło: własne.

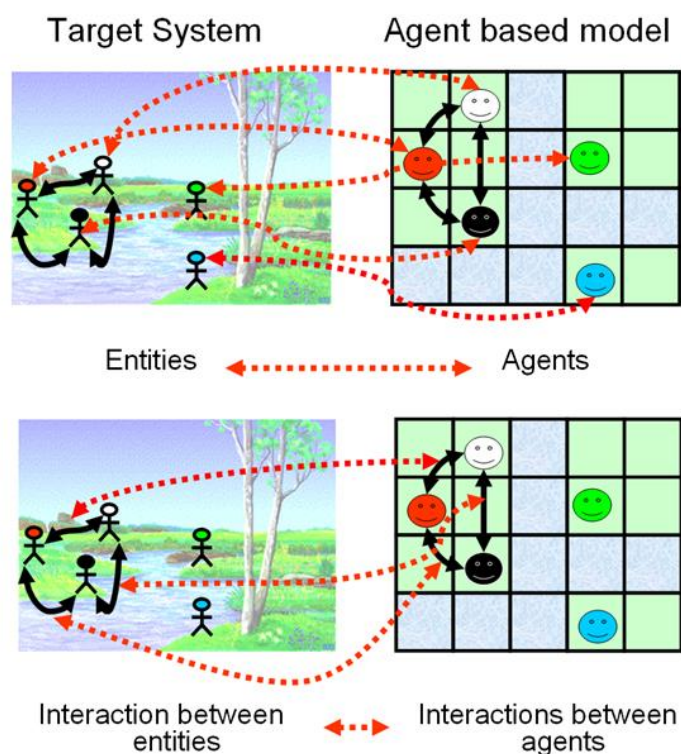
Uwarunkowania	Opis	Znaczenie dla tworzonego narzędzia
Proces nabywania nawyków	Doświadczenie pozytywnych efektów (fizycznych i psychicznych) po aktywności fizycznej motywuje do dalszego jej podejmowania, podczas gdy nieprzyjemne incydenty mogą skutecznie zniechęcić do budowania zdrowych nawyków	Obligatoryjne: trwała zmiana zachowania zawsze wynika ze zmiany nawyków
Dostępność terenów spacerowych	Bliskość terenów spacerowych, parków i zielonych przestrzeni zachęca do regularnej aktywności fizycznej	Obligatoryjne: umiarkowana aktywność fizyczna może być podejmowana wyłącznie, jeśli są dostępne miejsca do jej wykonywania
Infrastruktura miejska	Ścieżki rowerowe, chodniki, oświetlenie i inne elementy infrastruktury miejskiej ułatwiają i zachęcają do korzystania z aktywności fizycznej w przestrzeni miejskiej	Obligatoryjne: spacer w mieście zawsze wiąże się z korzystaniem z chodników i ścieżek
Bezpieczeństwo	Ludzie nie podejmą się wyjścia na spacer, jeśli czują się zagrożeni	Fakultatywne: jeśli ludzie czują się bezpiecznie, nie myślą o bezpieczeństwie
Proksemika	Przestrzenie respektujące naturalne odległości proksemiczne i zaprojektowane z myślą o unikaniu niekomfortowych sytuacji sprzyjają pozytywnym doświadczeniom	Fakultatywne: jeśli przestrzeń jest zaprojektowana zgodnie z zasadami proksemiki, nie zniechęca do odwiedzania
Uwarunkowania społeczne	Znajomi, rodzina i przyjaciele działają motywująco, bądź demotywująco zniechęcając lub zachęcając do bezcelowej (rekreacyjnej) aktywności fizycznej	Fakultatywne: trudno jednoznacznie określić, jakie postawy i zachowania ludzi z otoczenia zachęcają lub zniechęcają do spacerów
Warunki pogodowe	Deszcz, mróz czy upał mogą zniechęcać do ćwiczeń na świeżym powietrzu, podczas gdy przyjemne warunki pogodowe mogą motywować do ruchu	Fakultatywne: warunki pogodowe nie są zależne od człowieka

II.1.3 Symulacje komputerowe: zachowania człowieka w przestrzeni

Człowiek jest gatunkiem o najbardziej złożonej gamie zachowań. Paradoksalnie nie jesteśmy w stanie w pełni odwzorować w pełni zachowań nawet jednego ptaka za pomocą komputera, jednak jesteśmy w stanie odwzorować zachowanie stada ptaków. Do zaobserwowania złożonych zjawisk w makroskali wystarczają jedynie proste zasady oddziaływań pomiędzy osobnikami w mikroskali. Podobnie jest w przypadku behawioru człowieka. Potrafimy zasymulować zbliżone do rzeczywistości zachowanie tłumu podczas ewakuacji bez potrzeby pełnego odwzorowania złożoności postępowania każdego człowieka. Oczywiście wyniki zawsze będą obarczone pewnymi błędami i wyjątkami, jednak w podstawowym stopniu będą odzwierciedlać charakter zjawiska rzeczywistego. Opracowanie symulatora może znacząco ułatwić podejmowanie prawidłowych decyzji projektowych w kontekście systemowego przestrzennego wspierania aktywności fizycznej.

II.1.3.1 Modelowanie agentowe zjawisk świata rzeczywistego

Modelowanie agentowe powstało w XX wieku jako jedna z metod symulacji komputerowych (Bonabeau, 2002). Głównym założeniem było zasymulowanie zjawisk makroskopowych, które wyłaniają się w wyniku oddziaływań na poziomie mikroskopowym (Wilensky i Rand, 2015). W tym celu modeluje się populacje tak zwanych agentów, czyli osobnych komórek/cząsteczek/fantomów/itd. podzielonych na dowolną liczbę rodzajów-gatunków. Agent może symbolizować dowolny obiekt, który jest zdolny do interakcji lub wywierania biernego wpływu na pozostałych agentów (Rysunek 10).



Rysunek 10

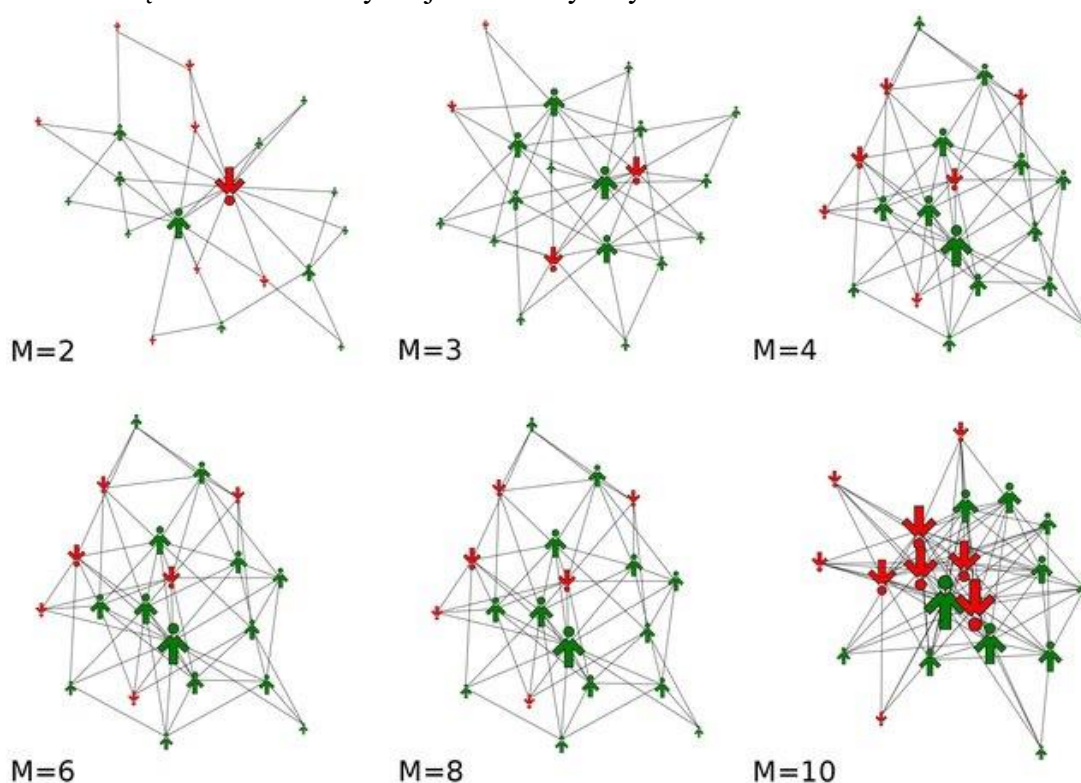
Rysunek poglądowy przedstawiający agentów reprezentujących określone elementy rzeczywistości i interakcje między nimi;

źródło: <https://www.jasss.org/12/1/1/fig1.jpg> (23.02.2023).

Każdy rodzaj-gatunek agentów może się różnić od pozostałych określonymi cechami wspólnymi dla danego zbioru agentów. Przykładowo do człowieka, w zależności od celu badania, możemy przypisać takie cechy jak opinia (np. za/przeciw), stan zdrowia (np. zdrowy/chory), stan konta (np. 0-1000\$), do drzewa przykładowo stopień zacienienia korony (np. 0-100%) lub wysokość (np. 0,1-46,3 m), a do sygnalizatora świetlnego kolor światła (zielone/żółte/czerwone). Każda z zamodelowanych cech powinna być choć w niewielkim stopniu istotna dla analizowanego zjawiska.

Dobłą praktyką jest unikanie zbytniego rozbudowania liczby cech i rodzajów-gatunków agentów ze względu na trudności z końcowym analizowaniem wyników. Zgodnie z podręcznikiem podstaw modelowania agentowego (Wilensky i Rand, 2015) model agentowy może być albo dobrze odwzorowujący złożoną rzeczywistość i bezużyteczny, lub użyteczny, lecz jedynie w badaniu pojedynczego zjawiska/fenomeny w rzeczywistości. Innymi słowy rzeczywistość jest zbyt wieloaspektowa, żeby być dobrze odwzorowaną za pomocą pojedynczej symulacji, tak więc każda symulacja powinna dotyczyć jedynie niewielkiego fragmentu rzeczywistości.

Za pierwowzór modelowania agentowego można uznać systemy komputerowe w postaci automatów komórkowych, gdzie stan pojedynczej komórki zmienia się automatycznie w zależności od stanu sąsiadujących z nią komórek (Wolfram, 1984). Głównym zadaniem osoby tworzącej model jest nadanie zasad interakcji pomiędzy komórkami/agentami. Początkowo modele agentowe były stosowane w fizyce jako jedna z metod symulacji zachowania cząsteczek w badanym zjawisku fizycznym.



Rysunek 11

Wizualizacja różnych sieci Barabási-Alberta na przykładzie modelu opinii binarnej (tak/nie), gdzie wielkość agenta jest zależna od liczby znajomych danej osoby;

źródło: (Sznajd-Weron, Szwabński i Weron, Is the person-situation debate important for agent-based modeling and vice-versa?, 2014).

Jednym z najstarszych modeli agentowych jest model Lenza-Isinga (Brush, 1967; Cipra, 1987; McCoy i Wu, 2014), gdzie każda cząstka w badanym obiekcie jest zamodelowana za pomocą agenta, który posiada magnetyzację dodatnią (+1) lub ujemną (-1). Agenci są rozłożeni według zadanej sieci powiązań. Ising początkowo badał model bez oddziaływań (samo pole), następnie wersję 1D – gdzie agenci byli rozłożeni w łańcuchu gdzie każdy miał dwóch sąsiadów z którymi wchodził w interakcje. Kolejni badacze rozwinęli model do sieci 2D takiej jak przykładowo graf pełny (każdy połączony z każdym) lub graf losowy (np. sieć Watts-Strogatza lub sieć Barabási-Alberta) (Watts i Strogatz, 1998; Barabási i Albert, 1999). W każdym kroku czasowym agenci sprawdzają magnetyzacje swoich sąsiadów, i dostosowują do nich swoją magnetyzację (jest jeszcze możliwe pole zewnętrzne). Na podstawie milionów interakcji między agentami otrzymujemy wyniki w skali całego systemu, które odpowiadają rzeczywistym obserwacjom przez co w przyszłości możemy symulować i przewidywać podobne zjawiska za pomocą tej metody. Na podstawie modelu Lenza-Isinga powstała cała gałąź nauk socjofizycznych. Badają one np. rozchodzenie się opinii w społeczeństwie, gdzie każda cząstka może odwzorowywać pojedynczego człowieka (Rysunek 11), a cały układ symulować przykładowo wpływ konformizmu (lub dowolnej innej mniej popularnej postawy społecznej), czyli dostosowania swojego stanu do sąsiadów, na dyfuzję innowacji lub zmiany opinii publicznej na dany temat (Sznajd-Weron, Szwabiński i Weron, 2014). Dzięki odwzorowaniu mikrointerakcji w skali zachowania względem sąsiada, można przewidywać wyniki wyborów w wielomilionowych państwach (Sznajd-Weron, Sznajd i Weron, 2021). Na podobnych zasadach mikrointerakcji tworzących makro zjawiska opierają się współczesne przestrzenne modele agentowe.



Rysunek 12

Po lewej prawdziwe zachowanie stada ptaków, po prawej odwzorowanie za pomocą modelu „boidów” Reynoldsa w 2D;

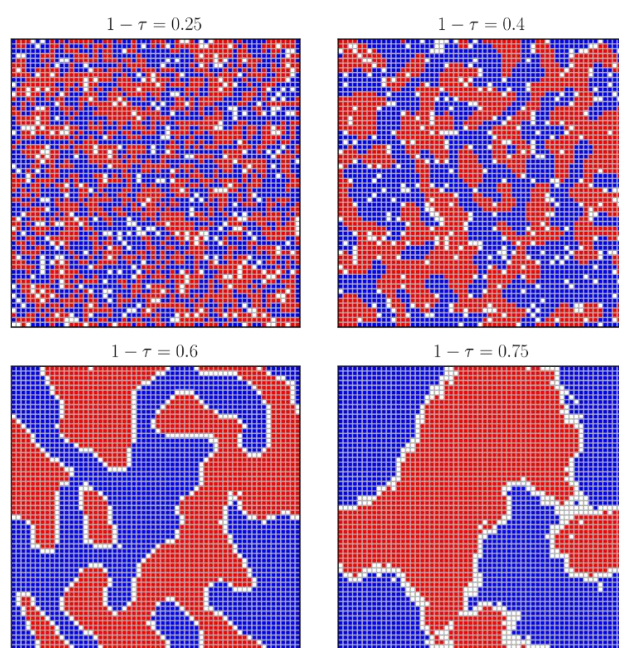
źródło: <https://www.lemondedupc.fr/assets/uploads/850621ef7244ef17b4253423ea8251ba.png> (18.02.2023).

Początkowe modele agentowe i automaty komórkowe, były oparte o agentów stacjonarnych, którzy nie zmieniali swojego położenia względem siebie, a jedynie niektóre

swoje cechy. Dlatego modele te nie są nazywane przestrzennymi, mimo że wynik symulacji może być odwzorowany w postaci mapy lub innej grafiki, która zmienia się podczas symulacji. Jednym z pierwszych przykładów agentowego modelowania przestrzennego był model Craiga Reynoldsa (Reynolds, 1987), w którym odwzorowano skomplikowane zachowania ptaków latających w stadzie, opierając się wyłącznie na trzech zasadach interakcji między poszczególnymi osobnikami. Były to zasady rozdzielności, wyrównania i spójności. Zasada rozdzielności polegała na nieprzekraczaniu minimalnej odległości do sąsiadującego osobnika. Zasada wyrównania polegała na zbliżaniu toru lotu do torów lotu sąsiadujących agentów. Zasada spójności polegała na dodaniu do toru lotu wektora nakierowanego na środek masy całej grupy ptaków. Zachowanie agentów oparte o owe trzy proste zasady spowodowało niemal idealne odwzorowanie naturalnego roju, stada lub ławicy (Rysunek 12).

Jako jedno z pierwszych wdrożeń symulacji agentowych model został wykorzystany w przemyśle filmowym w odwzorowaniu zachowania stada nietoperzy w filmie „Batman” (Vyas i Mankodi, 2016; Alaliyat, Yndestad i Sanfilippo, 2014). Dzięki modelowaniu agentowemu operatorzy filmowi nie musieli ręcznie wyznaczać toru lotu dla każdego nietoperza w sposób zauważalnie sztuczny, ponieważ każdy osobnik poruszał się naturalnie dzięki symulacji agentowej.

Dzięki modelowi Reynoldsa, powstało wiele podobnych modeli, przez co można obecnie bez problemu symulować analogiczne zjawiska przestrzenne zarówno dla dzikich zwierząt, jak i dla tłumu ludzi na zatłoczonej ulicy lub w budynku, gdzie również często występuje instynkt stadny.



Rysunek 13

Stan względnej równowagi systemu dla rosnącej nietolerancji; kolory czerwony i niebieski reprezentują dwie różne rasy, białe miejsca są puste i w zależności od parametrów modelu obserwujemy klastry o różnej wielkości;

źródło: (Mingarelli, 2021).

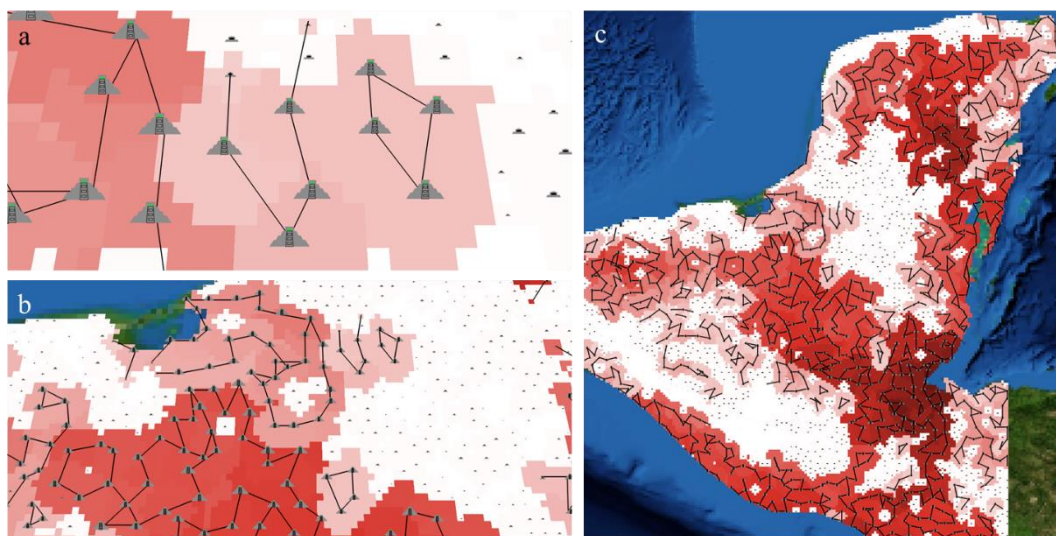
Wraz z rozwojem możliwości obliczeniowych i stopniową digitalizacją danych przestrzennych urbanistyka i geografia stały się kolejnymi obszernymi gałęziami badań gdzie

na szeroką skalę zaczęto stosować modele agentowe. Jednym z największych sukcesów w tej dziedzinie, była nagroda Nobla dla Thomasa Schellinga z 2005 roku za wyjaśnienie konfliktów i kooperacji przy pomocy teorii gier. Najszerzej znany model Shellinga (Schelling, 1969) miał na celu odwzorowanie procesu segregacji społecznej wielkich miast i tworzenia wielu dzielnic jednonarodowościowych takich jak przykładowo w Chicago (Rysunek 13). Agenci w modelu mieli możliwość wyboru miejsca zamieszkania. Każdy agent był przypisany do określonej grupy kulturowej. Wystarczyło nadać niewielką preferencję mieszkania w sąsiedztwie podobnych ludzi, żeby w wyniku symulacji otrzymać społeczeństwo podzielone na klastry zamieszkiwane przez jednorodną kulturę. Dzięki modelowi Schellinga udało się odwzorować naturalne zjawisko tworzenia klastrow (gett) zamieszkiwanych przez społeczności etniczne, widoczne na przykładzie miasta Chicago (Hatna i Benenson, 2012)(Rysunek 14).



Rysunek 14
Mapa obrazująca rozmieszczenie narodowości dla Chicago, stan z 2010 roku;
źródło: (Mingarelli, 2021).

Z badań wynikało, że segregacja mogłaby powstać nawet wtedy, gdy jednostki nie miałyby nic przeciwko otaczaniu się ludźmi z odmiennych grup kulturowych. Wystarczy jedynie, że agent nadal choć w minimalnym stopniu preferuje ludzi podobnych do siebie jako swoich sąsiadów, a powstałe wtedy klastry są zależne od stopnia pozytywnego przywiązania do własnej grupy kulturowej (Mingarelli, 2021).



Rysunek 15

Przykład symulacji dewastacji środowiska przez rabunkową gospodarkę starożytnej cywilizacji Majów (Heckbert, 2013); Na czerwono zaznaczono obszary zdegradowane środowiskowo, na biało obszary na których nie wystąpiła degradacja;

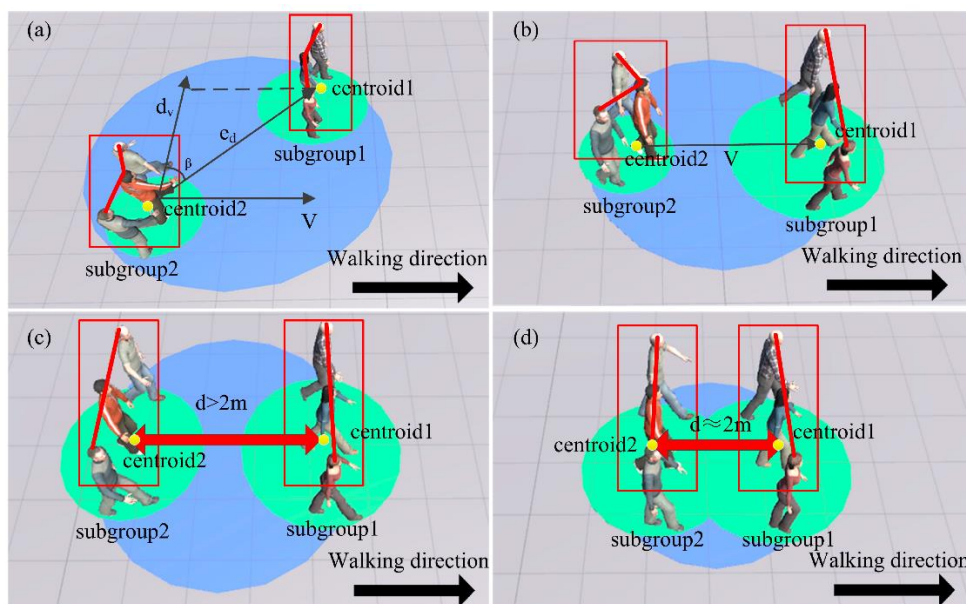
źródło: <https://www.jasss.org/16/4/11/Figure3.png> (25.02.2023).

Istnieje również wiele modeli urbanistyczno-geograficznych, które symulują rozwój miast (Arsanjani, 2013), przemysłu (Shen, 1999), rolnictwa (Kremmydas, 2018), przepływów ludności i kapitału (Assenza, 2015), czy nawet rozwoju i upadku starożytnych cywilizacji (Heckbert, 2013). Wykorzystują one najczęściej na szeroką skalę dane GIS (ang. Geographics Information System, System Informacji Geograficznej). Jednym z narzędzi dedykowanych do pracy z danymi GIS jest GAMA Platform i język GAML bazujący na Java Script (Taillandier i inni, 2019). Z jego pomocą zasymulowano między innymi upadek ekosystemu spowodowany rabunkową wycinką lasów w państwie Majów (Heckbert, 2013) (Rysunek 15) i wpływ powodzi na gospodarkę rolniczą Wietnamu (Drogoul, Huynh i Truong, 2016). W związku z pandemią COVID 19 na platformie GAMA stworzono COMOKIT (zestaw modeli agentowych do symulacji rozprzestrzeniania się koronawirusa) w celu analizy i porównania wpływu różnych polityk na ograniczenie rozprzestrzeniania się wirusa zarówno w skali urbanistycznej, jak i architektonicznej (Gaudou i inni, 2020). Narzędzie bierze pod uwagę transmisję choroby bezpośrednio między osobami oraz pośrednio przez zainfekowaną przestrzeń. Krok czasowy modelu wynosi jedną godzinę, stąd odwzorowanie ruchu jest uproszczone. Niemniej jednak GAMA Platform jest obiecującą, darmową platformą do modelowania agentowego dedykowaną symulacjom przestrzennym z danymi GIS (Caillou, Gaudou, Grignard, Truong i Taillandier, 2017), która dodatkowo wykorzystuje prostą składnię biologiczną do opisu zachowania agentów. Dlatego zdecydowano się na wybór języka GAML przy tworzeniu symulatora aktywności spacerowej (SAS).

II.1.3.2 Modelowanie agentowe zachowania ludzi podczas chodzenia

Na polu modelowania agentowego istnieje wiele modeli ruchu pieszego stworzonych w kontekście optymalizacji transportowej ruchu pieszych (Dong H. Z., 2019). Modelowanie agentowe odwzorowujące zachowanie człowieka w przestrzeni jest szeroko stosowane głównie do odwzorowania ruchu tłumu ludzi zarówno w symulacjach przestrzeni

urbanistycznych, jak też w mniejszej skali w postaci wnętrz budynków. Między innymi przez założenia polityki zrównoważonego rozwoju, chodzenie zaczyna odgrywać coraz większą rolę we współczesnych miastach (Cubukcu, 2013).



Rysunek 16

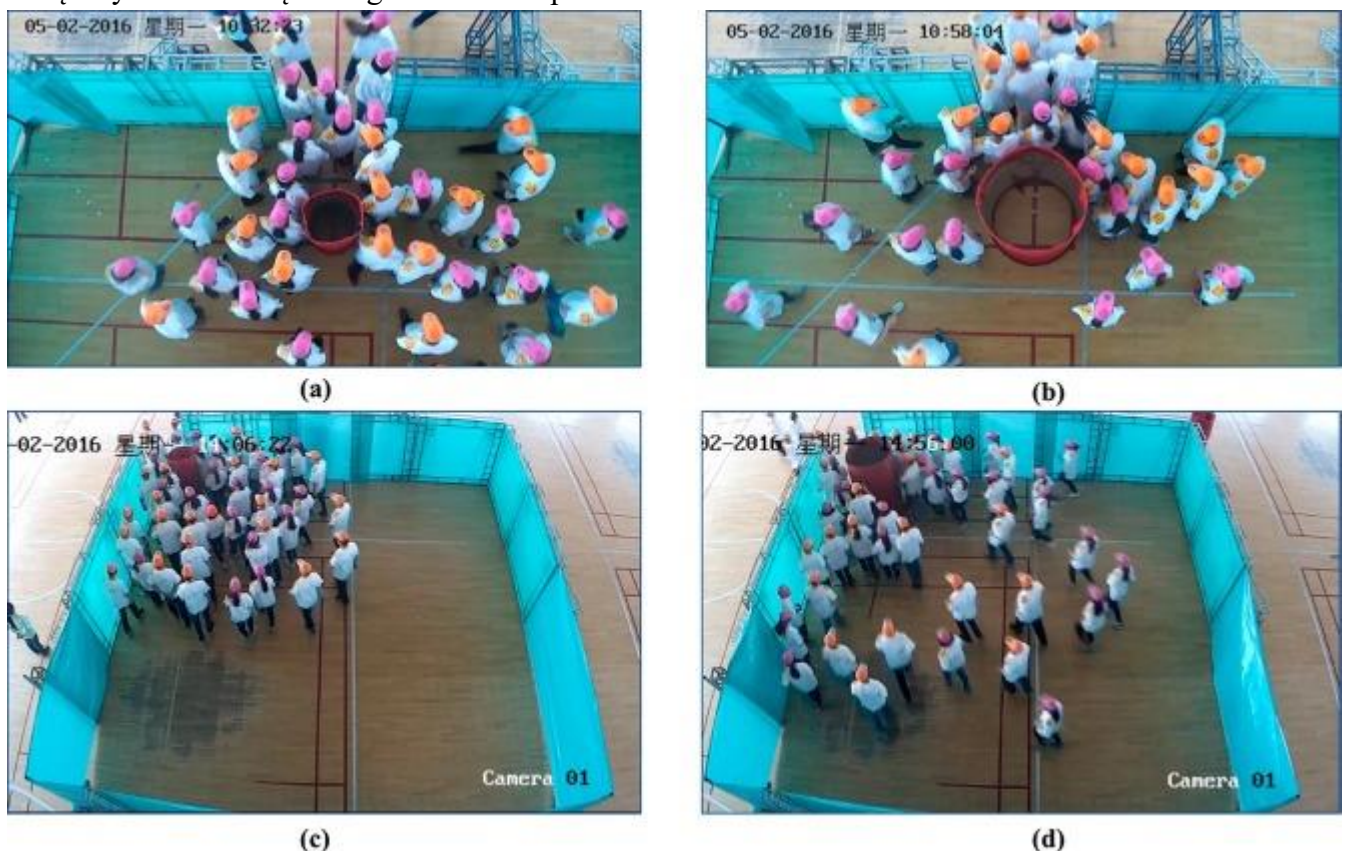
Przykład modelu Helbinga zastosowanego do zachowania pieszych w grupie (Huang i inni, 2018);
 źródło: https://www.mdpi.com/ijgi/ijgi-07-00079/article_deploy/html/images/ijgi-07-00079-g009.png
 (25.02.2023).

Jednym z pierwszych i zarazem najbardziej znanych modeli odwzorowujących zachowanie ruchu pieszych, a w szczególności tłumu, jest model Dirka Helbinga, znany pod popularną nazwą „social force” (Helbing, IJ, P i T, 2002). Oryginalna praca została cytowana bezpośrednio już około 7000 razy (Helbing i Molnar, Social force model for pedestrian dynamics, 1995). Algorytm opiera się na unikaniu zderzeń i przejmowaniu po części wektora ruchu od sąsiednich osób (Huang i inni, 2018)(Rysunek 16). Model bardzo dobrze odwzorowuje zachowanie dużych grup ludzi, w których poszczególne osoby tracą zdolność indywidualnego myślenia i w sytuacji paniki kierują się w niewiadomym kierunku, wiedzeni głównie instynktem stadnym.

W życiu codziennym sytuacje ekstremalne, które aktywują pierwotne automatyzmy behawioralne człowieka, nie zdarzają się często. Dlatego ludzie rzadko kiedy kierują się tak prostymi zwierzęcymi zasadami postępowania jak w modelu Helbinga. Jednak ze względu na to, że łatwiej zamodelować ruch tłumu jako całości niż swobodne przemieszczanie się poszczególnych osób, powstało już wiele modeli opisujących zachowanie panikującego tłumu, które w dużej mierze opierają się właśnie na pierwotnym modelu „social force” Helbinga (Shiwakoti i Sarvi, Understanding pedestrian crowd panic: a review on model organisms approach, 2013). W przypadkach ekstremalnych takich jak pożar (Hu i inni, 2012), zamach bombowy (Zale i Kar, 2012), tsunami (Nguyen, Chevaleyre i Zucker, 2012), trzęsienie ziemi (Chu i inni, 2022), powódź (Kim i inni, 2021) lub panika wywołana innym czynnikiem, główną zasadą kierującą zachowaniem agentów jest jak najszybsza ucieczka z niebezpiecznego obszaru. Wówczas zachowanie człowieka jest łatwe do przewidzenia ze względu na jasny cel (Dong i inni, 2019). Modele ewakuacji cechują się dużą skutecznością w przewidywaniu

zachowania ludzi, co pozwala przetestować wiele aspektów bezpieczeństwa obiektów, takich jak szerokość, układ i długość dróg ewakuacyjnych jeszcze w fazie projektowej danej inwestycji, takiej jak stadion czy kino. Niektóre modele ewakuacji (Vermuyten i inni, 2016) przyczyniły się do popularyzacji nieoczywistych rozwiązań, takich jak na przykład umieszczanie słupów zaraz przy wyjściu (Rysunek 17), co skutecznie zapobiega tratowaniu i zgniataniu ludzi przez siebie nawzajem (Shiwakoti, Shi i Ye, 2019).

Oczywiście w przypadku tego typu symulacji najczęściej możliwe jest również sprawdzenie rozprzestrzeniania się np. ognia, dymu, lawiny błotnej lub tsunami i równoległa analiza wpływu tego typu zjawisk na spanikowany tłum. Jak wykazano, w dziedzinie ewakuacji istnieje już wiele rozbudowanych, szczegółowych modeli, a jednym z powodów jest łatwość rozbudowy istniejących modeli o wybrane aspekty w porównaniu do trudności związanych z budową nowego modelu od podstaw.



Rysunek 17

Eksperyment badający wpływ rodzaju i lokalizacji przeszkody przy wyjściu na zachowanie wychodzącego z pomieszczenia tłumu;

źródło: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0925753518300675-gr2.jpg> (26.02.2023).

Zachowania stadne występujące w sytuacji zagrożenia ludzie prezentują również w kontekście transportowym, gdzie podobnie jasny jest cel ruchu – pokonanie jak najkrótszej drogi z punktu A do punktu B w jak najkrótszym czasie. Przykładowo strefa dojść do stacji metra lub węzła przesiadkowego jest często użytkowana przez tłum ludzi o sprecyzowanym celu ruchu, podobnie jak w przypadku ewakuacji, lecz bez podobnej presji czasowej wywołanej zagrożeniem. Liczba modeli w zakresie ewakuacji i transportu jest nieproporcjonalnie duża w stosunku do liczby modeli odwzorowujących pozostałe rodzaje ruchu. Modele ruchu rekreacyjnego są jedną z wyraźnych luk w stanie badań, gdzie

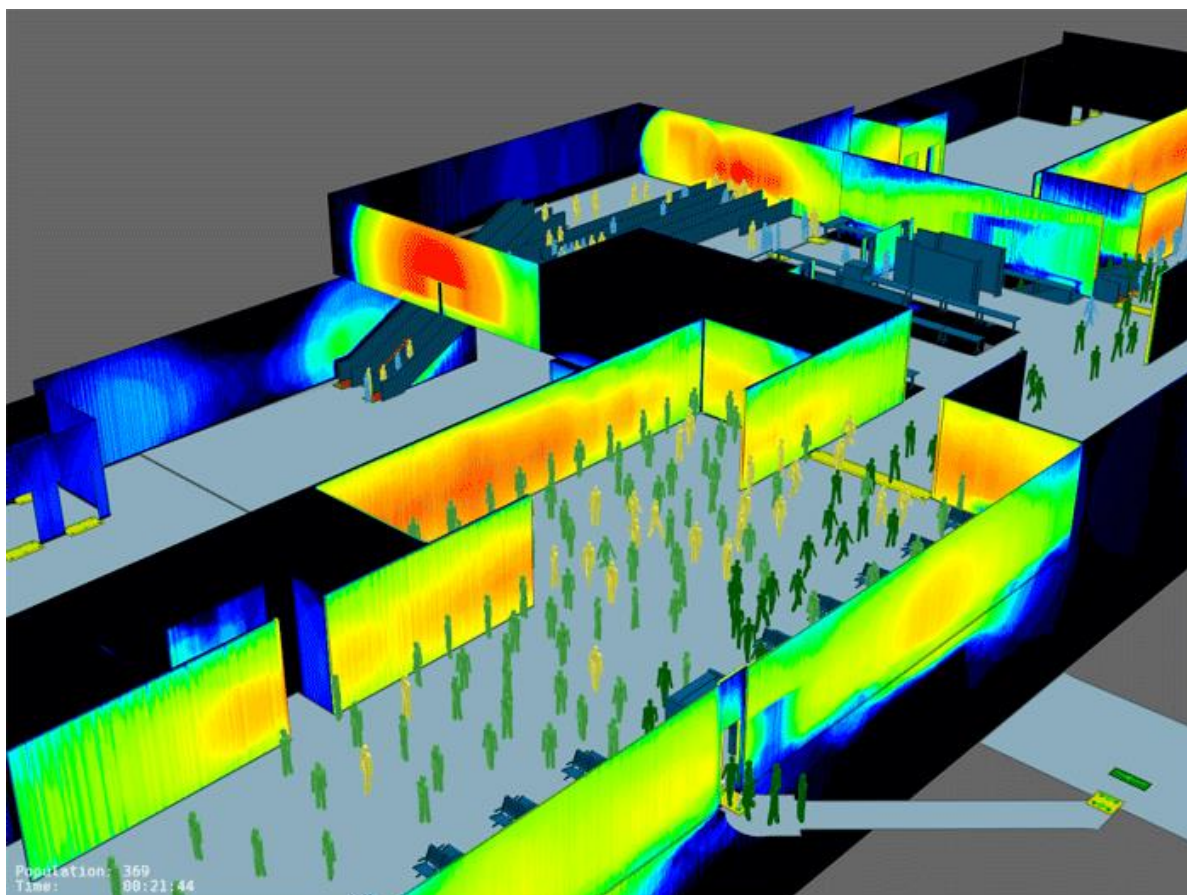
powszechnie stosowane narzędzia symulacyjne nadal nie mają szerokiego zastosowania, co widoczne jest po niewielkiej liczbie istniejących modeli.

II.1.3.3 Platformy do modelowania agentowego

Przed wyborem GAMA Platform do stworzenia SAS, dokonano przeglądu innych środowisk do modelowania agentowego, z których obecnie najczęściej używane to NetLogo, Swarm, Repast i MASON (Wilensky i Rand, 2015). NetLogo jest obecnie najpopularniejszym i najczęściej stosowanym narzędziem do tego celu w świecie nauki. Oprócz niego, inne narzędzia, takie jak Swarm (rozwijane przez Santa Fe Institute), Repast (rozwijane przez Argonne National Laboratory) i MASON (rozwijane przez George Mason University), również cieszą się dużą popularnością wśród naukowców i badaczy.

Poza wymienionymi narzędziami istnieją też inne pakiety oprogramowania do budowy modeli agentowych, takie jak na przykład Ascape, Breve, Cormas, GAMA Platform, MASS, PS-I i SeSam. Istnieje także możliwość tworzenia własnych modeli agentowych w dowolnym języku programowania. Budowanie modeli agentowych w standardowych językach programowania może prowadzić do znaczącego skrócenia czasu symulacji, ale często wydłuża znacząco proces tworzenia modelu.

Większość narzędzi do modelowania agentowego, w tym NetLogo, jest ogólnie dostępna i darmowa w użytkowaniu. Istnieje również wiele komercyjnych pakietów oprogramowania, z których AnyLogic jest jednym z najpopularniejszych. W 2022 roku autor współpracował z Antonem Semirenko z Wydziału Gospodarki Przestrzennej Politechniki Wrocławskiej, który w ramach pracy magisterskiej wykorzystującej prototypowy model autora dysertacji, wykonał przegląd aktualnego stanu rynku oprogramowania symulacyjnego dotyczącego ruchu pieszego (Semirenko, 2022). Semirenko wyszczególnił AnyLogic – pedestrian modelling software, Ramboll – Pedestrian modeling and simulation, LEGIONSimulator (Bentley), Oasys – pedestrian simulation (Rysunek 18) oraz PTV VISWALK – pedestrian traffic simulation, jako główne narzędzia symulacyjne dostępne aktualnie na rynku. Obecnie również PTV Visum jest uznawane za jedno z wiodących narzędzi komercyjnych do planowania transportu publicznego oraz opracowywania strategii i rozwiązań transportowych. Z przeglądu wynika, że żadne z nich nie jest wystarczające do symulacji ruchu rekreacyjnego.



Rysunek 18 Wizualizacja przemieszczania tłumu ludzi w budynku na przykładzie narzędzia Oasys MassMotion; źródło: <https://develop3d.com/aec/wp-content/uploads/2015/12/Oasys-MassMotion-8.0-VisionMap.png> (26.02.2023).

II.1.3.4 Modelowanie agentowe aktywności fizycznej

Jak wykazano istnieje wiele modeli agentowych symulujących zachowanie pieszych w kontekście optymalizacji transportowej i ewakuacji. Analizowanie aktywności fizycznej odbywa się w innej skali przestrzennej i czasowej. Spacer trwa dłużej niż ewakuacja z budynku lub szybkie przejście z jednego węzła przesiadkowego do drugiego i odbywa się na znacząco różnych przestrzeniach. Dlatego modelowanie aktywności fizycznej, która z definicji ma charakter rekreacyjny, znacząco różni się od modelowania transportowego, które skupia się głównie na oddziaływaniu między sobą ludzi w tłumie, którego celem nie jest rekreacja. Dodatkowo z poprzedniego rozdziału o zdrowiu wynika, że tak zwany „commuting”, czyli chodzenie w celach nie rekreacyjnych, takich jak do pracy, sklepu, czy szkoły, nie powinno zaliczać się jako rekreacyjna aktywność fizyczna.

Zgodnie z kompleksowym przeglądem z 2015 roku (Nianogo i Arah, 2015) do analizy aktywności fizycznej pieszych w obszarze miejskim wykorzystano jak do tej pory tylko kilka modeli agentowych. Dotychczasowe badania koncentrowały się głównie na szerokim ujęciu zjawiska poruszania się po mieście. W 2011 roku stworzono model agentowy do symulacji ruchu pieszego przy użyciu języka Java i Repast (Yang i inni, 2011). Chociaż brano pod uwagę wiele czynników, takich jak posiadanie psa, wielkość rodziny czy płeć, sam ruch człowieka został uproszczony ze względu na przyjęty krok czasowy równy jednemu dniu. W 2013 roku Badland i inni (Badland i inni, 2013) zaproponowali model agentowy ruchu pieszych w

mieście, który pozwala projektantom i planistom przetestować, w jaki sposób różne rozwiązania przestrzenne i polityka miejska wpływają na spacerów pieszych. Chociaż model jest opisywany jako prosty, odwzorowuje wiele złożonych zjawisk i ich wpływ na ruch pieszych, takich jak czas oczekiwania na zielone światło czy szerokość chodnika. Co więcej, infrastrukturę rekreacyjną potraktowano jak każdy inny obiekt docelowy, taki jak szkoły, sklepy czy zakłady pracy, przez co model brał pod uwagę bardziej optymalizację transportową dla ruchu pieszego (Rysunek 19), tak żeby aktywność fizyczna była realizowana przy okazji potrzeb życia codziennego. Warto jednak zauważyć, że autorzy podkreślili możliwość dodania zdolności uczenia się agentów jako możliwych rozszerzeń ich modelu.



Rysunek 19

Wizualizacja z modelu agentowego z 2013 roku, gdzie widać różną intensywność ruchu pieszego przypisaną do wybranych odcinków drogi (Badland i inni, 2013);

źródło: https://www.researchgate.net/profile/Christopher-Pettit/publication/259316108/figure/fig1/AS:195808482861056@1423695788314/Screenshots-showing-the-vector-editing-functionality-of-the-simple-agent-based-modelling_Q320.jpg (26.02.2023).

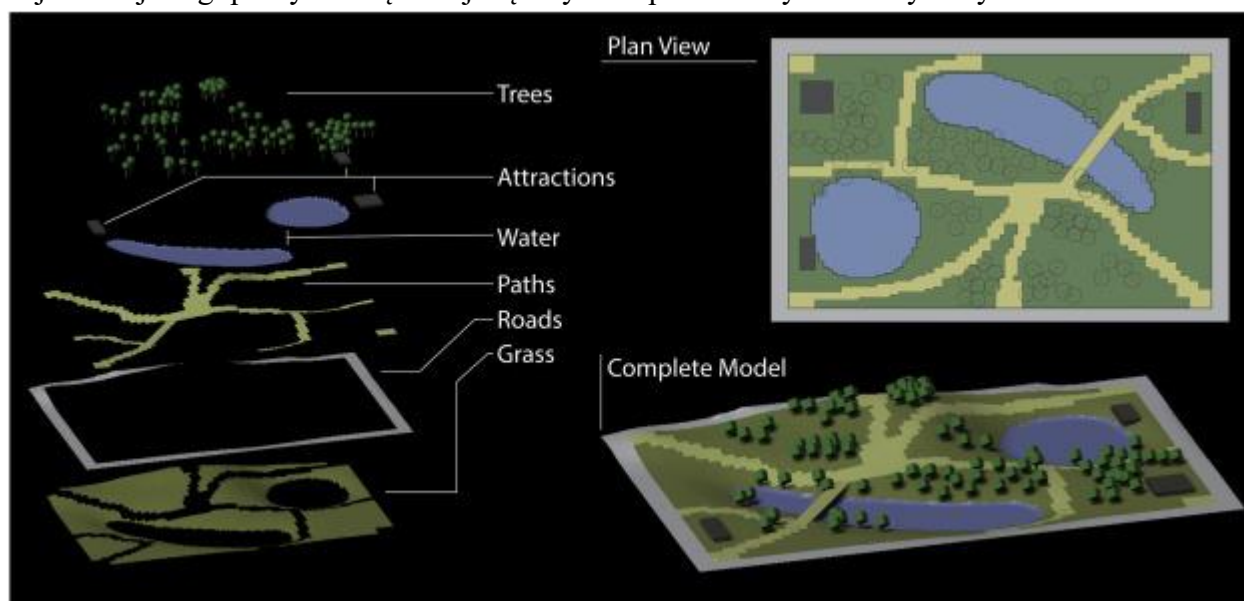
Także w 2013 roku Yin zaproponował model ruchu rekreacyjnego, w którym dodatkowo środowisko społeczne wpływa na wybory spacerowe ludzi na przykładzie miasta Buffalo w USA. Wyniki pokazują, że wprowadzenie do modelu interakcji międzyludzkich pozwala z dużą dokładnością uchwycić cechy środowiska zbudowanego i społecznego (Yin, 2013).

Crooks i inni w 2015 roku zbadali kalibrację modeli agentowych odwzorowujące ruch pieszych. Zademonstrowali, jak kalibrować takie modele za pomocą fragmentarycznych danych z monitoringu miejskiego i osobistych urządzeń mobilnych w skali miejskiej za pomocą map aktywności (Crooks i inni, 2015).

W 2018 r. w Nowym Jorku w USA przeprowadzono studium przypadku z wykorzystaniem modelu agentowego o wysokiej złożoności, badającego wpływ budowy lub rozbudowy infrastruktury na ogólny ruch piesz i rowerowy (Aziz i inni, 2018). Złożone

symulacje obejmowały interakcje społeczne w przestrzeni życiowej i pracy, jak również szczegółowe parametry takie jak szerokość chodnika oraz długość sieci ścieżek rowerowych.

W 2019 roku grupa badaczy zaproponowała model agentowy stworzony w środowisku NetLogo do analizy aktywności ludzi na świeżym powietrzu (Morelle i inni, 2019). Porównano wyniki symulacji z zebranymi danymi empirycznymi mieszkańców z miasta Wil zlokalizowanego w kantonie St. Gall we wschodniej Szwajcarii, gdzie duży obszar parkowo-rekreacyjny jest oddzielony od terenów mieszkaniowych przez linie kolejową. Może być to dobre studium do kalibracji nowych modeli. Warty zaznaczenia okazał się fakt, że ludzie podczas spaceru kierują się zazwyczaj najkrótszą drogą do miejsca rekreacji. Algorytm najkrótszej drogi pokrywał się w największym stopniu z danymi rzeczywistymi.



Rysunek 20

Środowisko wirtualne (po prawej) z poszczególnymi warstwami i funkcjami (po lewej) (Cheliotis, 2020);
źródło: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0198971519302261-gr1.jpg> (21.02.2023).

W 2020 roku Cheliotis stworzył złożony społeczno-przestrzenny model 3D zachowania pieszych w parku (Rysunek 20). Ze względu na swoją skalę był on optymalny dla architektów i urbanistów, jednak nie wzięto pod uwagę aspektu aktywności fizycznej (Cheliotis, 2020).

W pracy z 2021 zbadano potencjał wpływu interwencji w środowisku miejskim na aktywność fizyczną dzieci przy użyciu modelu agentowego. Analizowano trzy dziedziny interwencji: zabawę na świeżym powietrzu, szkolne wychowanie fizyczne i chodzenie w celach transportowych. Symulowane interwencje zwiększyły średnie dzienne czasy aktywności u dzieci o 2–13 minut i zmniejszyły odsetek dzieci niespełniających wytycznych dotyczących ruchu z 34% do 10–29%, w zależności od interwencji (Almagor, 2021). Inne badania dowodzą, że terapeutyczny charakter spaceru może zostać zakłócony przez niekorzystny wpływ zbyt dużej liczby użytkowników danej przestrzeni rekreacyjnej (Dickinson i inni, 2019).

Powyższy przegląd wykazał istotną lukę w stanie badań, w postaci niewystarczającej liczby i jakości istniejących modeli symulujących aktywność fizyczną, a w szczególności spacer.

II.1.3.5 Podsumowanie

W rozdziale wskazano, że obecnie istnieje wiele programów symulacyjnych do przewidywania ruchu ludzi w przestrzeni, gdzie nacisk jest położony przede wszystkim na oddziaływania ludzi między sobą oraz interakcje z przeszkodami podczas ruchu, przez co są one przeznaczone głównie do symulacji zachowania człowieka w tłumie. Modele te w przypadku symulowania rekreacyjnej aktywności fizycznej nie są użyteczne, ze względu na odmienny charakter ruchu. W rozdziale wykazano, że obecnie istnieje niewiele modeli ruchu rekreacyjnego i jest to istotna luka w stanie badań. W przypadku modelowania spaceru, gdzie nie ma tłumu ludzi, człowiek jest w innym stanie psychofizycznym, co wpływa na każdą decyzję w procesie przemieszczania się. Ruch ma charakter całkowicie dobrowolny i swobodny, przez co pozornie nic nieznaczące bariery na obowiązkowej drodze do szkoły lub pracy, mogą przybrać całkowicie inną wagę w przypadku spaceru dla przyjemności. Dlatego w dalszej części pracy wszelkiego rodzaju algorytmy podobne do „social force” Helbinga nie będą szczegółowo analizowane ani używane do symulowania zachowania rekreacyjnego. Prototypowy model spacerowy ograniczy się do najbardziej podstawowych zachowań charakteryzujących wybrany rodzaj ruchu. Zachowania stadne mogą być natomiast dodane w rozwinięciach modelu w przyszłości.

Ponadto na podstawie przytoczonych przykładów, a szczególnie modeli Schellinga oraz Reynoldsa można również zauważyć, że obecnie niemożliwym jest odwzorowanie wszystkich zachowań człowieka za pomocą jednego modelu. Największe sukcesy w postaci rozpowszechnienia i dalszego rozwijania badań w swoich dziedzinach odnoszą modele proste i uniwersalne, odwzorowujące pojedyncze zjawiska, wybrane fragmenty rzeczywistości (Lezn-Ising – zmiana stanu binarnego pod wpływem stanu sąsiadów; Schelling – decyzja o zmianie miejsca zamieszkania oparta o podobieństwo do sąsiadów; Reynolds – decyzja o kierunku ruchu oparta o ruch sąsiadów).

Modele złożone, są najczęściej nierozwijane, ze względu na trudność w odtworzeniu modelu przez innych badaczy i powtórzenia wyników. Przykładowo model zawierający zarówno wychodzenie na spacer z psem, jazdę na rowerze, oddziaływanie ławek i toalet na decyzje spacerowe starszych ludzi, oddziaływanie placów zabaw czy skate-parków na dzieci, wpływ zacienienia w słoneczne dni i niedoświetlenia w nocy na poczucie bezpieczeństwa wydaje się obecnie z góry skazany na porażkę, ze względu na brak uniwersalizmu. Zbyt wiele czynników uwzględnionych w modelu powoduje, że niemożliwym staje się powtarzalność wyników i zastosowanie modelu w innym środowisku, gdyż drobne fluktuacje w pojedynczym czynniku mogą mieć ogromny wpływ na model, co nie jest najczęściej możliwe do uchwycenia i określenia.

Mając na celu stworzenie uniwersalnego modelu, który będzie miał możliwość rozwoju w przyszłości przez innych badaczy należy skupić się na maksymalnej prostocie algorytmu, która zwiększy prawdopodobieństwo otrzymywania powtarzalnych wyników. W tej sytuacji zasadnym wydaje się wybranie pojedynczego aspektu zachowań spacerowych i odwzorowanie go za pomocą jedno-zjawiskowego modelu. Dlatego przy tworzeniu modelu symulującego ludzi wychodzących na spacer, za zasadne uznano ograniczenie się wyłącznie do wybranego aspektu ze złożonego zjawiska chodzenia rekreacyjnego, które samo w sobie jest na tyle

kompleksowym zagadnieniem, że można by rozkładać je na czynniki pierwsze w nieskończoność.

Przytoczone badania sugerują, że w obecnym stanie badań istnieje wyraźna luka, w postaci braku choć jednego uniwersalnego modelu agentowego, który symulowałby wpływ układu przestrzennego na motywację do wyjścia na spacer. Dotychczasowe kryteria oceny projektów koncepcyjnych pozbawione są nowoczesnych możliwości analizy zachowania człowieka w zakresie normalnego użytkowania systemu rekreacji miejskiej.

Tabela 3 zbiorcza przedstawiająca istniejące modele do modelowania agentowego ruchu pieszych, ich charakterystykę i główne zastosowania. Tabela 3 przedstawia obecne narzędzia symulacyjne dostępne dla badaczy i projektantów. Każde z narzędzi zostało pokrótce scharakteryzowane i wymieniono jego główne zastosowania.

Tabela 3 zbiorcza przedstawiająca istniejące modele do modelowania agentowego ruchu pieszych, ich charakterystykę i główne zastosowania;
źródło: własne.

Model	Miejsce rozwoju	Główne Zastosowania	Charakterystyka
NetLogo	Northwestern University	Edukacja, badania naukowe, symulacje społeczne	Najpopularniejsze narzędzie do modelowania agentowego; prosty interfejs, duża społeczność użytkowników.
Swarm	Santa Fe Institute	Modelowanie ekologiczne, socjologiczne, ekosystemy	Jeden z pierwszych frameworków do modelowania agentowego; używany głównie w badaniach nad złożonymi systemami.
Repast	Argonne National Laboratory	Modelowanie społeczne, badania nad zachowaniem grup	Elastyczny framework, umożliwia tworzenie złożonych modeli w Javie i Pythonie; popularny w badaniach społecznych.
MASON	George Mason University	Badania w naukach o zachowaniu, symulacje w skali mikro	Skalowalne środowisko do modelowania dużych populacji agentów; wykorzystywane w badaniach naukowych i akademickich.
Ascape	Brookings Institution	Ekonomia, urbanistyka	Narzędzie open-source, używane do modelowania agentów w różnych dziedzinach, w tym w ekonomii i urbanistyce.
Breve	Independent	Modelowanie systemów fizycznych, animacja	Narzędzie do symulacji trójwymiarowych systemów fizycznych; mniej popularne w środowisku naukowym.
GAMA Platform	UMI 209, France	Symulacje geograficzne, urbanistyka	Zaawansowane narzędzie do modelowania przestrzennego i geograficznego; szeroko stosowane w urbanistyce.
MASS	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	Modelowanie w czasie rzeczywistym, inżynieria	Służy do symulacji agentowych na dużą skalę w czasie rzeczywistym; zastosowanie w inżynierii i automatyzacji.
SeSam	University of Stuttgart	Nauki o zachowaniu, psychologia	Elastyczne środowisko do modelowania złożonych systemów; wykorzystywane w psychologii i naukach o zachowaniu.
AnyLogic	AnyLogic Company	Modelowanie biznesowe, logistyczne, symulacje zdrowotne	Komercyjne narzędzie, popularne w modelowaniu logistycznym i biznesowym; szerokie zastosowanie w przemyśle.
PTV Visum	PTV Group	Planowanie transportowe, symulacje ruchu miejskiego	Komercyjne narzędzie do planowania transportu publicznego; szeroko stosowane w analizach ruchu miejskiego.

II.2 Warunki i wytyczne dla budowy symulatora spontanicznej aktywności fizycznej w środowisku miejskim

Dokonany przegląd badań dotyczył trzech obszarów naukowych – zdrowia, psychologii oraz symulacji ruchu człowieka – i posłużył do ugruntowania teoretycznego dla pracy nad stworzeniem nowego, autorskiego modelu agentowego. Na podstawie studiów literaturowych (rozdział II.1) określono warunki końcowej pozytywnej klasyfikacji tworzonego narzędzia oraz sporządzono wytyczne z trzech wymienionych dziedzin, na których oparto proces budowy symulatora.

II.2.1 Warunki pozytywnej kwalifikacji narzędzia

Na podstawie szerokiego przeglądu badań sformułowano warunki, których spełnienie umożliwi pozytywną kwalifikację tworzonego narzędzia. Tworzony symulator ruchu rekreacyjnego powinna cechować:

1. Realistyczność otrzymywanych wyników
2. Powtarzalność otrzymywanych wyników
3. Stabilność symulacji w czasie
4. Uniwersalność
5. Poprawność kodu
6. Potencjał rozwoju

II.2.1.1 Realistyczność otrzymywanych wyników

Wartości wyników generowanych za pomocą symulacji z użyciem stworzonego modelu powinny odpowiadać przybliżonym wartościom z dostępnych badań empirycznych użytych przy początkowej kalibracji symulatora. Przykładowo jeśli otrzymywane czasy spacerów znajdują się w granicach wartości z przyjętych badań, wstępnie potwierdzi to poprawność wzorów matematycznych zastosowanych w procesie tworzenia algorytmu. Prototypowy charakter symulatora nie wymusza na twórcach złożonej analizy statystycznej i szczegółowego porównania wyników symulacji z danymi rzeczywistymi. Podobne działania są charakterystyczne dla pracy z już istniejącymi modelami, gdzie autor używa istniejącego narzędzie i bada nowe dane, których nikt wcześniej nie analizował w ten szczególny sposób. Tworzenie nowego narzędzia od całkowitych podstaw częściowo przenosi ciężar złożonej analizy statystycznej dostępnych danych na osobne prace, mogące mieć charakter artykułu naukowego lub pracy inżynierskiej lub magisterskiej.

II.2.1.2 Powtarzalność otrzymywanych wyników

Wyniki symulacji generowane za pomocą tworzonego symulatora powinny cechować się w przybliżeniu stałą wartością dla tej samej kombinacji parametrów. W przypadku, w którym otrzymywane wyniki dla kolejnego powtórzenia uśredniającego znacząco różnią się od pozostałych wartością lub nawet charakterem wykresu, powinno się wnikliwie prześledzić sytuację w celu określenia co mogło spowodować taki wynik.

Jeśli symulator dla tych samych przyjętych parametrów i danych daje znacząco różniące się od siebie wyniki przy kolejnych powtórzeniach symulacji, a badacze nie potrafią określić, czym jest to spowodowane, najprawdopodobniej oznacza to błąd w kodzie programu lub w samym algorytmie, który uniemożliwia dalsze pracę nad symulatorem.

II.2.1.3 Stabilność symulacji w czasie

Prowadzona symulacja, ze względu na ewolucyjny charakter przyjętej metody uczenia agentów powinna dawać stabilne wyniki przez cały okres trwania symulacji. Wszelkie zaburzenia w okresie trwania symulacji widoczne na wykresie w postaci przykładowo zmiany hierarchii wyników w połowie i powrocie do pierwotnej hierarchii pod koniec powinny być wnikliwie przeanalizowane. Jeśli badaczom nie uda się określić co spowodowało takie zaburzenie wyników, pracę nad symulatorem powinny zostać wstrzymane do czasu znalezienia przyczyny lub błędu w kodzie programu.

Przykładowo roczne wyniki w postaci hierarchii korzystności koncepcji projektowych w ujęciu procenta populacji spełniającej wymóg 30 minut spaceru dziennie powinny być zachowane przez cały okres trwania symulacji, ponieważ charakter algorytmu uczącego na podstawie przyrastania doświadczenia nie dopuszcza innej możliwości na drodze innej niż błąd w kodzie programu.

II.2.1.4 Uniwersalność

Prototypowy charakter symulatora powinien się objawiać w uniwersalności wykorzystania stworzonego narzędzia. Tworzony symulator nie powinien odwzorowywać w szczegółach konkretnej lokalizacji z jej wszystkimi specyficznymi uwarunkowaniami, a jedynie mieć zaimplementowane tylko podstawowe wymagane do odwzorowania elementy. Model odwołuje się do wiedzy podstawowej i uniwersalnej, dzięki czemu można go weryfikować na dużej liczbie osobnych przypadków przestrzennych i odmiennych społeczności, bez konieczności dostępu do szczegółowych danych. Zasada uniwersalizmu może się objawiać w unikaniu nadmiernego dopasowywania symulatora do wybranego rodzaju i miejsca lokalizacji, unikając analizy złożonych szczegółów każdej z nich.

II.2.1.5 Poprawność kodu

Stworzony symulator powinien być opisany poprawnie zapisanym kodem algorytmu w wybranym języku programowania. Błędy powstające w procesie twórczym powinny być skorygowane przed przystąpieniem do końcowych symulacji. Wszelkie nieoczekiwane błędy mogą spowodować niewiarygodność otrzymywanych wyników symulacji i podważyć tym samym cały sens używania symulatora.

II.2.1.6 Potencjał rozwoju

Stworzone narzędzie powinno dawać możliwości dalszego rozwoju. W przeciwnym razie najprawdopodobniej nie miałoby możliwości przyczynić się do poprawy jakości życia. Dalsze prace rozwojowe mogą być prowadzone przykładowo w ramach kolejnych publikacji naukowych lub współpracy z projektantami i organizatorami konkursów na rozwiązania urbanistyczno-architektoniczno-krajobrazowe. Istotną cechą pożądaną dla symulatora jest

możliwość dodania nowych fragmentów algorytmu, poszerzających spektrum możliwości odwzorowania rzeczywistości za pomocą symulacji.

II.2.2 Wytyczne z obszaru medycyny

Przegląd literatury medycznej wykazał, że niedobór aktywności fizycznej to jeden z najpoważniejszych problemów współczesnej cywilizacji. Jedną z głównych wytycznych, która ma na celu zapobieganie najbardziej szkodliwym skutkom chronicznych niedoborów ruchu jest 30 minut rekreacyjnej umiarkowanej aktywności fizycznej dziennie, lub 150 minut tygodniowo (np. 6 dni spaceru, jeden dzień przerwy). Do czasu tego nie należy wliczać chodzenia w celach poza-rekreacyjnych (do sklepu, szkoły, pracy, transportu).

Jedną z najszerzej dostępnych form umiarkowanej aktywności fizycznej jest spacer. Dla jednoznaczności za wyznacznik zdrowotny przyjęto 30 minut rekreacyjnego spaceru dziennie. Dla określenia granicznych ram czasowych aktywności fizycznej na dobę przyjęto minimalne około 4000 kroków wykonywanych dziennie i maksymalne około 12500 kroków, co wynika z przytoczonych badań z użyciem pedometru.

W celu porównania wpływu wariantów przestrzennych na poziom aktywności fizycznej, należy policzyć odsetek ludzi, którzy spełniają dzienną normę aktywności fizycznej. Średnia wartość czasu aktywności fizycznej dla danej populacji nie powinna być analizowana, ze względu na małą wartość poznawczą (nie istnieje średni człowiek). Dodatkowo zasadnym byłoby określanie terenów zagrożenia niedoborami ruchu na mapie badanego obszaru.

II.2.3 Wytyczne z obszaru psychologii

Przegląd literatury behawioralnej wykazał, że środowisko życia wpływa na częstotliwość i długość spacerów ludzi poprzez proces nabywania i zanikania nawyków. Wpływ ten może być pozytywny i cechować się krzywą uczenia się, lub negatywny i cechować się krzywą zapominania. Im więcej pozytywnych bodźców podczas wykonywania danej czynności, tym większe prawdopodobieństwo wykonania jej w przyszłości, a im więcej negatywnych tym mniejsze. Czas potrzebny na wypracowanie nawyku to średnio około 18-66 dni. Z dokonanego przeglądu literatury wynika, że kluczowymi czynnikami wpływającymi na chodzenie rekreacyjne są: dostępność zielonych przestrzeni, infrastruktura miejska, poczucie bezpieczeństwa, wsparcie społeczne, proksemika oraz warunki pogodowe. Powyższe czynniki mogą przyczynić się do budowania zdrowego nawyku częstego spacerowania lub utrwalić siedzący tryb życia.

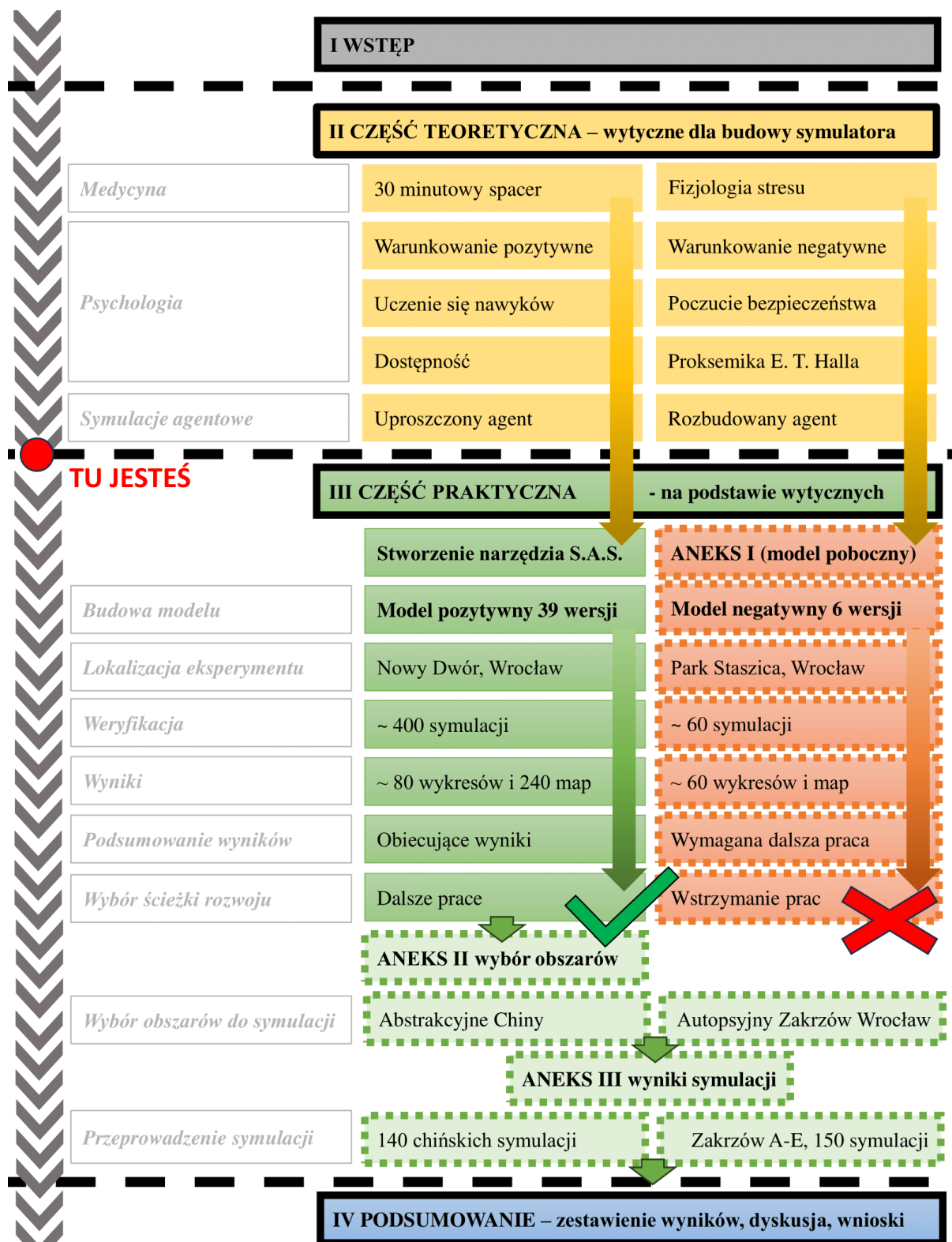
II.2.4 Wytyczne z obszaru modelowania agentowego

Przegląd literatury modeli agentowych pokazał, że jedną z najlepszych praktyk w tej dziedzinie jest budowa prostych modeli reprezentujących pojedyncze zjawiska. Dlatego należy zbudować maksymalnie uproszczony model odwzorowujący tylko pojedynczy aspekt wybranego zagadnienia. Badania wykazały również, że obecnie nie istnieją modele agentowe do symulacji wyłącznie ruchu rekreacyjnego. Przegląd wykazał także, że paradoksalnie algorytm najkrótszej drogi jest jednym z najlepiej odwzorowujących zachowanie spacerowe ludzi, którzy obierają atrakcyjny cel lub cel pośredni i zmierzają do niego najkrótszą

komfortową drogą, a po dotarciu w określone miejsce wybierają kolejne. Istniejące badania podkreślają potrzebę oparcia zachowania agentów o indywidualną pamięć, w celu lepszego odwzorowania rzeczywistości.

Tabela 4 Tabela zestawu wytycznych do budowy symulatora; na zielono zaznaczono parametry odwzorowane w głównym symulatorze; na czerwono zaznaczono parametry odwzorowane w pierwszej wersji symulatora opisaney w aneksie; na biało zaznaczono parametry niewykorzystane;
źródło: własne.

Wytyczne	Obszar	Opis	Istotność
30 minut spaceru dziennie	Medyczny	Minimalny pułap dodatkowej, spontanicznej, dziennej aktywności fizycznej potrzebnej by pozostać w zdrowiu	Obowiązkowy – Kluczowy parametr do pomiaru wydajności systemu rekreacji
4 000 kroków dziennie	Medyczny	Średnia liczba dziennych kroków odwzorowująca ilość aktywności fizycznej potrzebnej by pozostać w zdrowiu	Fakultatywny – alternatywna metoda pomiaru intensywności aktywności fizycznej
Zjawisko nabywania nawyków	Psychologiczny	Parametr oparty o krzywą uczenia się, odwzorowujący potencjał agentów do nabywania nowych rutyn.	Obowiązkowy – Kluczowy parametr odwzorowujący postęp zmian behawioralnych w czasie.
Zjawisko zapominania	Psychologiczny	Zjawisko przeciwne do uczenia się nawyków, oparte o krzywą zapominania odwzorowuje proces utraty nawyków przez agentów	Fakultatywny – parametr jest przydatny do identyfikacji obszarów negatywnie wpływających na aktywność fizyczną
Dostępność terenów zielonych	Psychologiczny	Określenie, czy w najbliższej okolicy są dostępne atrakcyjne tereny spacerowe	Obowiązkowy – parametr jest podstawowy przy podejmowaniu decyzji o aktywności fizycznej
Bezpieczeństwo	Psychologiczny	Złożony parametr, na którego wpływ mogą mieć zarówno czynniki przestrzenne, społeczne, jak i indywidualne uwarunkowania osobowe wynikające z unikalnych doświadczeń życiowych (charakter)	Fakultatywny – parametr jest zależny od wielu złożonych czynników, które mogą być ciężkie do odwzorowania w symulacji
Wpływ społeczny	Psychologiczny	Parametr określa w jakim stopniu indywidualne środowisko społeczne agenta wpływa na jego decyzje spacerowe	Fakultatywny – parametr reprezentuje złożone zjawisko wymagające pogłębionych badań
Proksemika	Psychologiczny	Określenie relacji przestrzennych pomiędzy ludźmi	Fakultatywny – złożony parametr wymagający pogłębionych badań
Warunki pogodowe	Psychologiczny	Parametr opisujący warunki pogodowe, mogące wpływać na zachowania spacerowe	Fakultatywny – parametr do wprowadzenia w kolejnych wersjach rozwojowych modelu
Wybór celu spaceru	Symulacyjny	Ruch w każdym kroku czasowym ma charakter celowy, a nie losowy	Obowiązkowy – parametr jest podstawą algorytmu poruszania się agentów
Algorytm najkrótszej drogi	Symulacyjny	Ruch do celu odbywa się po najkrótszej dostępnej ścieżce w sieci	Fakultatywny – algorytm najkrótszej drogi jest jednym z podstawowych sposobów odwzorowania ruchu pieszego, ale istnieją również inne
Motywacja jako prawdopodobieństwo podjęcia decyzji	Symulacyjny	Poziom motywacji wyrażony za pomocą wartości liczbowej prawdopodobieństwa podjęcia decyzji w każdym kroku czasowym	Fakultatywny – algorytm może odzwierciedlać poziom motywacji za pomocą prawdopodobieństwa, ale istnieją również inne metody
Pamięć addytywna	Symulacyjny	Pamięć agenta jako stopniowe dodawanie kolejnych bodźców	Fakultatywny – istnieje wiele sposobów na zaimplementowanie pamięci, z czego pamięć addytywna wydaje się najprostszą formą



Rysunek 21
Schemat struktury rozdziału III;
źródło: własne.

III. Część praktyczna – budowa symulatora aktywności rekreacyjnej

Bazując na części teoretycznej (rozdział II), stworzono dwa modele agentowe, symulujące dwa pojedyncze zjawiska ze świata rzeczywistego. Oba symulatory powstały w tym samym celu, jakim było modelowanie rekreacyjnej aktywności fizycznej. Opis pierwszego symulatora został zawarty w Aneksie I, ponieważ pracę nad nim przerwano ze względu na niespełnienie warunków stabilności i powtarzalności otrzymywanych wyników oraz efektywności czasowej przeprowadzanych symulacji³. Na podstawie zdobytego w ten sposób doświadczenia przystąpiono do tworzenia drugiego symulatora agentowego, który stał się głównym tematem rozprawy doktorskiej i pozwolił na uniknąć błędów z pierwszego algorytmu.

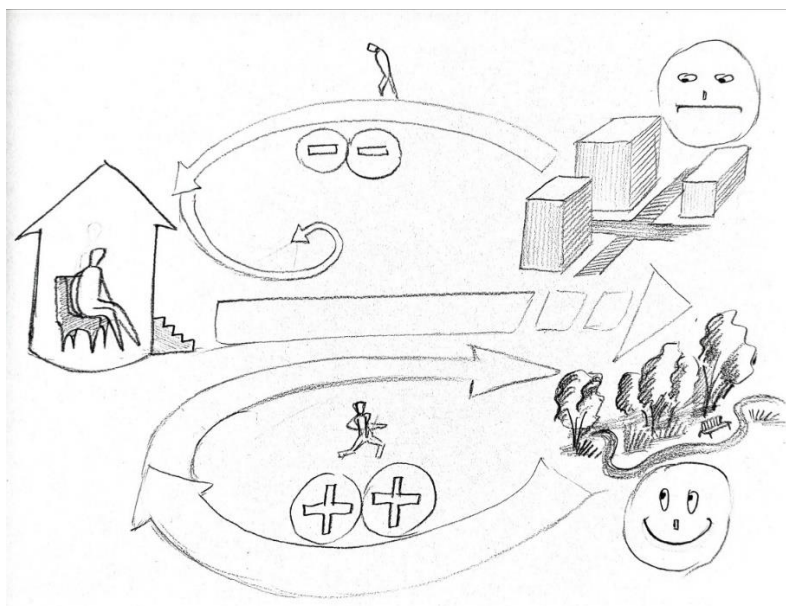
Finalny model agentowy nazwano symulatorem aktywności spacerowej (SAS) i oparto go na warunkowaniu pozytywnym wywoływanym dostępnością terenów spacerowych. Każdy agent modyfikował indywidualny poziom motywacji spacerowej pod wpływem zdobywanych na bieżąco doświadczeń życiowych w postaci częstych bądź rzadkich interakcji z przestrzeniami spacerowymi. W ten sposób model stał się narzędziem symulacyjnym, które odwzorowywało proces nabywania lub zatracania nawyków spacerowych w badanych lokalnych społecznościach, gdzie jedyną zmienną wpływającą na końcowe wyniki była jedna z trzech wersji rzutu parku zaproponowanych przez badacza.

Budowę SAS rozpoczęto od wyboru zjawisk i obiektów do odwzorowania, a następnie stworzono algorytm który zweryfikowano w toku 400 symulacji z użyciem obszaru Nowego Dworu.

III.1 Wybór zjawiska świata rzeczywistego do odwzorowania w symulatorze

Celem modelu jest odwzorowanie wpływu dostępności dogodnych terenów spacerowych na zachowanie człowieka w kontekście czasu przeznaczanego na rekreacyjną aktywność fizyczną. Główny wyznacznik zdrowotny przyjęty w modelu to 30 minut spaceru dziennie. Algorytm powinien oddawać kluczowy aspekt zmiany behawioru jakim jest proces uczenia się, oparty na wzmocnieniu behawioralnym. Dla uproszczenia odwzorowano wyłącznie wzmocnienie pozytywne, pomijając wzmocnienie negatywne, ze względu na zbyt duży poziom złożoności zjawiska. Zmiana zachowania człowieka następuje poprzez nabywanie nawyków kształtowanych przez indywidualne środowisko życia, a głównym elementem różnicującym zachowanie agentów jest przypisanie unikalnego adresu zamieszkania. Każdy agent posiada indywidualną pamięć, w której zapisuje wszystkie codziennie zdobywane doświadczenia mające wpływ na podejmowanie decyzji w przyszłości (Rysunek 22).

3 Pierwszy model opisany w aneksie powstał w wyniku współpracy z doktorem Maciejem Szarejko, który podjął temat symulacji agentowych aktywności fizycznej od próby zamodelowania dystansów osobniczych E. T. Halla, która mogłaby mieć wpływ na poczucie bezpieczeństwa w parkach. Źle zaprojektowane fragmenty przestrzeni, które wymuszają gwałtowne przełamywanie dystansów proksemicznych miałyby być katalizatorem stresujących spotkań międzyludzkich. Dlatego na początku podjęto próbę stworzenia symulatora aktywności fizycznej w oparciu o warunkowanie negatywne w postaci utraty poczucia bezpieczeństwa i komfortu proksemicznego w parkach.



Rysunek 22

Schemat działania modelu agentowego opartego na procesie uczenia się, który jest warunkowany przez interakcję z otaczającym światem;

źródło: własne.

Model tworzy wyniki w postaci mapy rozkładu oraz wykresu aktywności fizycznej badanej lokalizacji. W każdym z adresów mieszkalnych ludzie mogą potencjalnie cierpieć na niedobory aktywności fizycznej spowodowane nieodpowiednim dostępem do infrastruktury rekreacyjnej. Na podstawie tworzonej mapy niedoborów ruchu i wykresu przedstawiającego odsetek ludzi potencjalnie zagrożonych chronicznym brakiem aktywności fizycznej, model daje podstawę do nowego rodzaju analizy przedprojektowej. Wyniki symulacji stworzą hierarchię badanych wariantów projektowych w kontekście efektywności przestrzennej prewencji niedoborom aktywności fizycznej i dodatkowo pokazują obszary zamieszkania szczególnie narażone na brak dostępności do systemu rekreacji.

III.2 Wybór obiektów ze świata rzeczywistego do odwzorowania w symulatorze

Budując symulator, ograniczono się do odwzorowania czterech rodzajów elementów świata rzeczywistego: ścieżek, obszarów zielonych, budynków mieszkalnych i ludzi. Każdy z nich stanowić będzie innymi słowy „gatunek” agenta w tworzonym programie.

III.2.1 Ścieżki

Gatunek ścieżki to agent przestrzeni reprezentujący układ ścieżek w badanym obszarze. Są one odwzorowane za pomocą linii połączonych w jedną spójną sieć, bez wiszących zakończeń i przecięć. Ścieżki mogą oznaczać zarówno chodnik przy drodze, polną drogę, jak i ścieżkę w parku. Dla uproszczenia symulacji ścieżki są traktowane jako element płaski (2D) i nie posiadają grubości, rodzaju nawierzchni, spadku ani innego rodzaju cech rozróżniających. Ścieżki są zaprogramowane jako sieć po której poruszają się ludzie. Każda ścieżka to poli-linia przechodząca przez określone punkty. Każde skrzyżowanie musi składać się z nie więcej i nie

mniej niż z trzech zbiegających się linii. Dlatego skrzyżowania większej liczby ścieżek muszą być rozbijane na dwa lub więcej skrzyżowań potrójnych. Grubość i kolor ścieżek nadawany jest wyłącznie dla celów odwzorowania graficznego.

III.2.2 Obszary zielone

Gatunek obszary zielone to agent przestrzeni reprezentujący ogólnie rozumiane obszary zieleni rekreacyjnej. Zieleń może oznaczać zarówno parki, lasy, pola, tereny nadbrzeżne, zielone tereny nasłonecznione, zielone tereny zacienione jak i atrakcyjny ciąg pieszy z elementami zielonymi, w zależności od rodzaju celów wybranej analizy.

Zieleń jest odwzorowana za pomocą obszarów wypełnionych kolorem. Każdy taki obszar jest zamkniętą obwiednią poli-linii. Klasyfikacja danych obszarów jest kluczowa dla otrzymywanych przy pomocy modelu wyników, ponieważ interakcja ludzi z zielenią jest głównym czynnikiem wpływającym na zmiany w zachowaniu agentów. Dlatego każda obwiednia jest wyznaczana ręcznie na podstawie dostępnych podkładów mapowych. Zasadą przyjętą na potrzeby modelu przy wyznaczaniu obszarów zielonych jest ograniczenie zaznaczonych terenów wyłącznie do jednego systemu rekreacyjnego, którego wpływ na zachowanie mieszkańców badamy i umiejscowienie go w możliwie najbardziej centralnym punkcie wybranego obszaru opracowania. Umieszczenie wielu rozproszonych obszarów zielonych, znajdujących się bliżej granic terenu opracowania może zaburzyć otrzymywane wyniki. Dzieje się tak, ponieważ algorytm wyboru celu przez agenta jest czysto losowy i nie uwzględnia odległości w procesie podejmowania decyzji. W celu uproszczenia symulacji, zieleń jest traktowana jako element płaski (2D) i nie posiada żadnych cech wartościujących, jak np. poziom atrakcyjności, zacienienia czy bezpieczeństwa, który mógłby wpływać na zachowanie ludzi.

III.2.3 Budynki mieszkalne

Gatunek budynki mieszkalne to agent przestrzeni reprezentujący sztuczne adresy mieszkań w budynkach wielorodzinnych za pomocą obszarów wypełnionych kolorem. Budynki mieszkalne mogą oznaczać zarówno zabudowę wielorodzinną, jednorodziną jak i, po małej modyfikacji algorytmu, parking lub węzeł transportu publicznego generujący ruch pieszy z rejonów bardziej oddalonych od terenu analizy. Każdy budynek jest podzielony na adresy proporcjonalnie do swojej powierzchni i liczby kondygnacji. Kolor adresu służy do graficznego odzwierciedlenia procenta mieszkańców przypisanych do danego adresu, którzy spełniają warunek zadany na badanym parametrze modelu, taki jak np. minimum 30 minut spaceru w minionej dobie symulacji. Dzięki temu można zaobserwować, które budynki mają łatwy dostęp do analizowanego parku, a które wymagają lepszego połączenia.

III.2.4 Ludzie

Gatunek ludzie/człowiek to agent reprezentujący populację potencjalnych użytkowników analizowanej przestrzeni rekreacyjnej. Ludzie reprezentują okolicznych mieszkańców, ale uniwersalność kodu umożliwia również odwzorowanie przyjezdnych odwiedzających badaną lokalizację. Każdy człowiek ma losowy przypisany stały adres zamieszkania w jednym z budynków mieszkalnych oraz indywidualną pamięć w postaci licznika czasu spędzonego w pozytywnym miejscu. Indywidualne doświadczenie życiowe

modyfikuje motywację każdego człowieka, która jest czynnikiem sterującym jego przyszłymi decyzjami poprzez modyfikację prawdopodobieństw z jakimi podejmuje każdą decyzję.

W modelu ludzie podzieleni są na trzy grupy wiekowe. Dzieci, osoby w wieku produkcyjnym (dorosłych) i emerytów. Od przydzielonej grupy wiekowej zależą pory aktywności rekreacyjnej. Dorośli i dzieci w określonych godzinach są zajęci pracą i nauką, podczas gdy emeryci mają więcej dostępnego czasu na spacerowanie.

III.3 Stworzenie algorytmu

Stworzono algorytm, w którym podstawowym zachowaniem agenta (ludzie) jest ruch po ścieżkach, który odwzorowuje w stopniu podstawowym fenomen spontanicznych spacerów rekreacyjnych. Głównym zjawiskiem modyfikującym częstotliwość i długość spaceru jest warunkowanie pozytywne oparte na prostej pamięci agenta. Liczbę pętli decyzyjnych oraz zróżnicowanie parametrów globalnych i indywidualnych starano się ograniczyć do minimum dla utrzymania prostoty prototypowego narzędzia.

III.3.1 Zachowania i relacje pomiędzy agentami

Podstawowym krokiem czasowym w modelu jest jedna minuta. W trakcie każdego kroku czasowego wszyscy agenci obliczają wszystkie prawdopodobieństwa i aktualizują swoją pamięć oraz lokalizację. Mimo, że symulator można było przetestować na dowolnych przedziałach czasowych, w całej pracy niezmiennie używano wartości 1 roku podzielonego na w przybliżeniu 525 948 minut dla standaryzacji otrzymywanych wyników.

Przykładowy 15 minutowy spacer to w tym przypadku pętla składająca się z 15 różnych punktów. Każdy z wymienionych dalej procesów jest przeliczany na nowo co minutę. Dodatkowo istnieje podział na doby oraz dzień i noc. Na noc ludzie wracają pod swoje adresy i nie decydują czy wyjdą na spacer, dopóki nie zacznie się dzień.

Ruch ludzi jest ruchem do losowo wybranego wcześniej celu po najkrótszej możliwej drodze. Zgodnie z naturą człowieka i najnowszymi badaniami (Morelle et al. 2019) nawet ruch spacerowy charakteryzuje się celowością i optymalizacją ścieżki. W modelu agent człowiek wybiera losowy cel na siatce ścieżek i podąża do niego najkrótszą możliwą drogą po grafie dopóki jest zmotywowany, czyli nie zdecyduje się na powrót. Jeżeli dotrze do wybranego celu, wybiera kolejny cel w analogiczny sposób. Przedstawiony schemat wyboru celu jest ustawieniem wyjściowym dla każdego agenta z gatunku ludzie na początku symulacji, kiedy żaden agent nie zna swojego otoczenia i przeczesa okolicę w poszukiwaniu atrakcyjnych miejsc do spaceru. Jeśli jednak człowiek trafi podczas spaceru na tereny rekreacyjne, to zapisuje informację w swojej pamięci i każdy następny cel spaceru będzie losował jako punkt na obszarach rekreacyjnych, przeczesa w ten sposób nowo poznany park.

III.3.2 Opis matematyczny

Proces uczenia się ze stopniowo kumulowanych pozytywnych doświadczeń spacerowych agenta został opisany w algorytmie za pomocą wzoru na motywację (M). Realistyczne wartości graniczne dla zachowania spacerowego otrzymano używając narzędzi matematycznych w postaci rachunku prawdopodobieństwa i uproszczonego schematu

Bernoulliego, przekształcając zaobserwowane w świecie rzeczywistym wartości czasowe maksymalnie i minimalnie długich spacerów na wartości graniczne prawdopodobieństw używanych w algorytmie symulatora. Wszystkie obliczenia zostały skonsultowane przez matematyków podczas seminariów interdyscyplinarnych i spotkań indywidualnych.

III.3.2.1 Prawdopodobieństwo wyjścia na spacer

Na początku symulacji każdy agent z gatunku ludzie znajduje się w budynku mieszkalnym zgodnie z indywidualnie przypisanym stałym adresem. Kiedy nastaje dzień (przyjęto godziny 7.00-22.00) co minutę każdy agent z gatunku ludzie decyduje czy nadal zostaje w domu, czy wychodzi na spacer.

Prawdopodobieństwo wyjścia na spacer (p_i) jest obliczane indywidualnie i aktualizuje się w każdej minucie, zależnie od nabywanych doświadczeń spacerowych agenta, co opisano w sekcji “Nabywanie nawyków przez zmiany w motywacji”.

III.3.2.2 Prawdopodobieństwo powrotu ze spaceru

W przypadku powrotu ze spaceru, wprowadzamy dodatkowy element, jakim jest minimalny czas trwania spaceru. Przyjmujemy, że żaden człowiek nie wychodzi na spacer krótszy niż 10 minut, co odpowiada 5 minutom w jedną stronę. Dopiero po tym czasie w każdej kolejnej minucie spaceru agent decyduje czy idzie dalej do celu, czy zaczyna wracać do domu z prawdopodobieństwem powrotu z neutralnego miejsca (s_i). Jednak jeśli w momencie decyzji agent znajduje się na terenach rekreacyjnych, jest mniej prawdopodobne, że zdecyduje o powrocie do domu, dlatego w tym przypadku używa niższego prawdopodobieństwa powrotu z terenów rekreacyjnych (r_i).

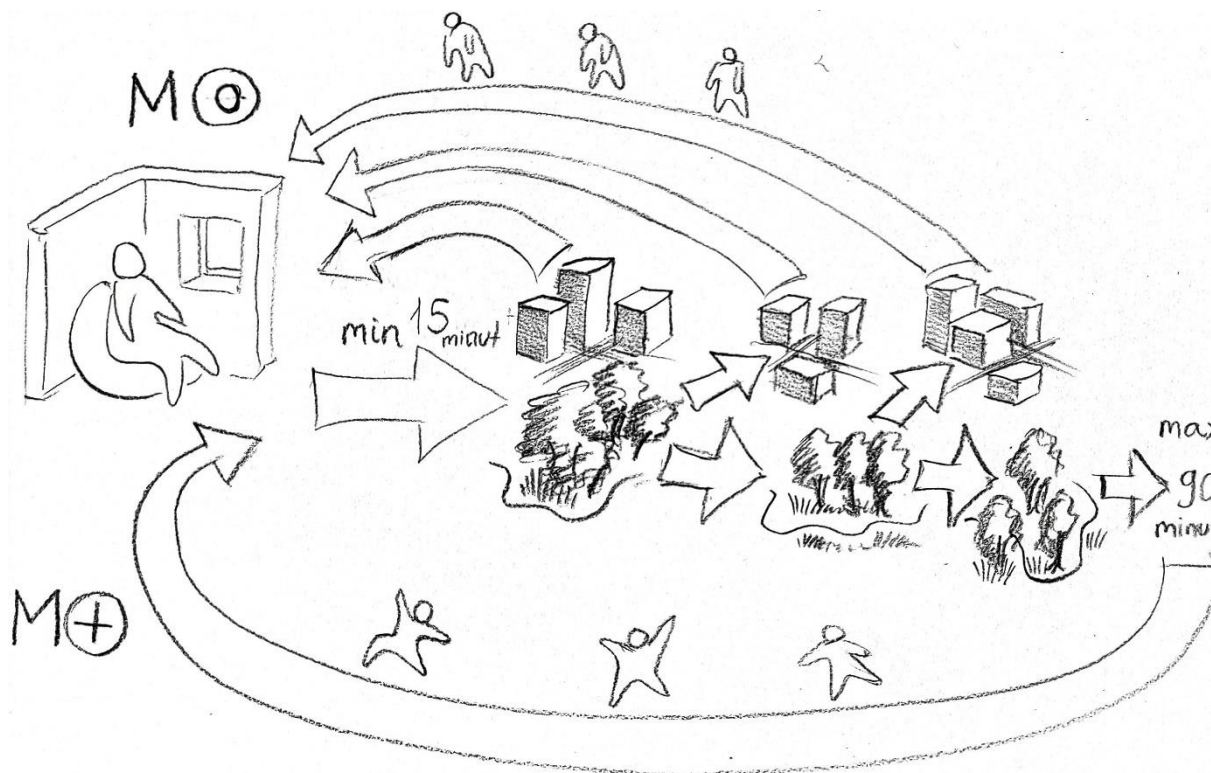
Oba prawdopodobieństwa są aktualizowane w każdej minucie zgodnie z nabywanym indywidualnym doświadczeniem życiowym każdego agenta, co opisano w sekcji “Nabywanie nawyków przez zmiany w motywacji”.

III.3.2.3 Nabywanie nawyków przez zmiany w motywacji oraz kalibracja wartości granicznych

Każda decyzja agenta człowiek jest podejmowana przez pryzmat wcześniejszych doświadczeń zapisanych w indywidualnej pamięci, dzięki czemu możliwe jest stopniowe nabywanie nawyków. Agent zlicza pozytywne bodźce, które motywują go do podejmowania ponownie takich decyzji, które doprowadziły do pozytywnych efektów, co jest klasycznym uproszczonym przykładem warunkowania pozytywnego. Pozytywne bodźce są zliczane jako minuty spędzone w pozytywnym otoczeniu (t_i), a więc w badanym przypadku w arbitralnie wyznaczonych terenach rekreacyjnych. Im więcej człowiek doświadczył pozytywnych chwil podczas spacerów (t_i) w stosunku do całkowitego czasu życia (T), tym większa jest jego motywacja (M_i). Dodatkowym parametrem, który wprowadzono w celu przyspieszenia symulacji jest szybkość uczenia się (L), który znacząco zmniejsza czas otrzymywania wyników. Całość modułu motywacji, który steruje wszystkimi procesami decyzyjnymi agenta, możemy zamknąć we wzorze (1):

$$M_i = L \frac{t_i}{T}. \quad (1)$$

Na przykładzie powyższego wzoru (1) możemy rozróżnić parametry liczone indywidualnie dla każdego agenta (M_i , t_i) oznaczone indeksem dolnym "i" oraz parametry globalne (L , T), przyjmujące takie same wartości dla każdego agenta. Przedstawione rozróżnienie obowiązuje również dla wszystkich kolejnych wzorów.



Rysunek 23

Schemat algorytmu przyrostu motywacji, z $M+$ (przyrostem motywacji) oraz $M0$ (zero, brak przyrostu);
źródło: własne.

Im większa motywacja (M_i), tym większe jest prawdopodobieństwo wyjścia na spacer (p_i) przez co spacerzy są częstsze (Rysunek 23). Możemy to zapisać wzorem (2):

$$p_i = \min\{0.0011 + M_i, 0.0044\}. \quad (2)$$

Im większa motywacja (M_i), tym niższe jest prawdopodobieństwo powrotu ze spaceru (s_i oraz r_i) przez co spacerzy są dłuższe. Możemy to zapisać wzorami (3,4):

$$r_i = \max\{0.0722, 0.2589 - M_i\}, \quad (3)$$

$$s_i = \max\{0.2589, 0.6983 - M_i\}. \quad (4)$$

W przypadku powyższych wzorów (2,3,4) przyjęte wartości graniczne (0.0011, 0.0044, 0.0722, 0.2589, 0.6983) uzyskano w wyniku kalibracji do danych z dostępnej metaanalizy zachowań spacerowych (Tudor-Locke i Bassett, 2004). W teorii każda wartość prawdopodobieństwa może się mieścić w przedziale od 0 do 1. Jednak w stworzonym modelu wartości graniczne zbliżone do 0 i 1 mogą prowadzić do nierealnych zjawisk, takich jak np. nierealnie długie spacerzy (kiedy r_i i s_i są zbliżone do wartości 0) lub nierealnie częste spacerzy (kiedy p_i jest zbliżone do wartości 1). Dlatego nie można było w tych przypadkach zastosować prostej funkcji $0 + M_i$ lub $1 - M_i$. Przyjęte wartości nie mają za zadanie dokładnie skalibrować modelu, a jedynie uczynić otrzymywane wyniki zbliżonymi do obserwowanej rzeczywistości. W tym celu użyto uproszczonego schematu Bernoulliego. Przyjęto granicę błędu

statystycznego jako 5%, co oznacza, że przy poszukiwanej wartości prawdopodobieństwa (p), 95% agentów podejmie decyzję po upływie przyjętego czasu (k). Możemy to opisać wzorami (5,6):

$$P_r(Y \leq k) = 1 - (1 - p)^k = 0.95, \quad (5)$$

$$p = 1 - \sqrt[k]{0.05}. \quad (6)$$

Jako wartość minimalną średniej liczby spacerów dziennie przyjęto optymistycznie jeden spacer na dwa dni dla *Dzieci i Dorosłych*, co odpowiada jednemu spacerowi na 900 minut nie nocnego czasu wolnego (kiedy nie są w pracy lub w szkole) i przekłada się na jeden spacer dziennie dla *Emerytów*, którzy dobowo mają dwa razy więcej dostępnego czasu na relaks. Podstawiając przyjętą wartość do wzoru (6), otrzymujemy dolną wartość prawdopodobieństwa wyjścia na spacer p (7):

$$p = 1 - \sqrt[900]{0.05} = 0.0011. \quad (7)$$

Jako wartość maksymalną średniej liczby spacerów dziennie przyjęto teoretycznie dwa spacer dziennie dla *Dzieci i Dorosłych*, co odpowiada jednemu spacerowi na 225 minut nie nocnego czasu wolnego i przekłada się na ekstremalną wartość czterech spacerów dziennie dla *Emerytów*. Warto zaznaczyć, że budząca wątpliwości wartość 4 spacerów dziennie jest w praktyce nieosiągalna, ponieważ w tym przypadku spacer są również znacznie wydłużone (motywacja M_i działa w równym stopniu na częstotliwość jak i długość statystycznego spaceru agenta), co zabiera czas dostępny na podjęcie decyzji (podczas spaceru agent nie decyduje czy wyjdzie na spacer) przez co w praktyce nigdy nie będzie to pełne 225 kroków czasowych, przyjętych w uproszczonym wzorze (8):

$$p = 1 - \sqrt[225]{0.05} = 0.0044, \quad (8)$$

Paradoks wzajemnego niwelowania się częstotliwości i długości spacerów wynikający ze wzorów ma za zadanie odzwierciedlać realną sytuację, w której doba człowieka jest ograniczona i w pewnym momencie motywacja wpływa już prawie wyłącznie na długość a nie częstotliwość podejmowanej aktywności. Przy tym jednak częstotliwość staje się coraz bardziej regularna, co jest charakterystyczne dla utrwalania nawyku.

W przypadku długości spaceru mamy do czynienia ze zjawiskiem pętli. Dla uproszczenia przyjęto, że droga spaceru przed decyzją o powrocie trwa tyle samo co droga powrotna. Dlatego z wszystkich przyjętych z metaanalizy (Tudor-Locke i Bassett, 2004) wartości należy odjąć jeszcze 10 minut, a następnie podzielić przez 2 z uwagi na spacer w jedną stronę.

Jako średni minimalny czas spaceru w terenie neutralnym przyjęto limit 15 minut, co daje $(15 - 10) / 2 = 2.5$ i po podstawieniu do wzoru (6) otrzymujemy (9):

$$p = 1 - \sqrt[2.5]{0.05} = 0.6983, \quad (9)$$

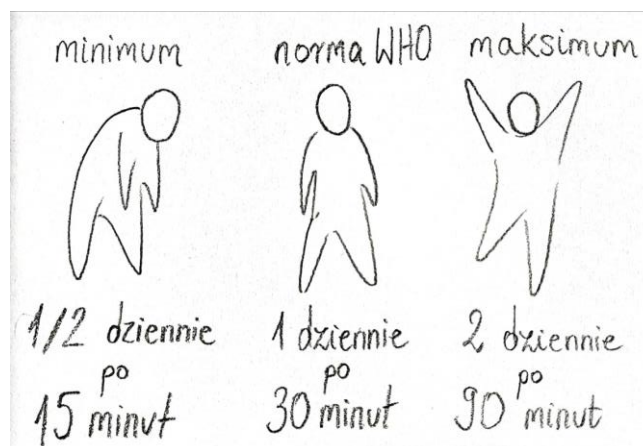
Jako średni minimalny czas spaceru w przestrzeni rekreacyjnej i zarazem średni maksymalny czas spaceru w przestrzeni rekreacyjnej przyjęto limit 30 minut, co daje $(30 - 10) / 2 = 10$ i po podstawieniu do wzoru (6) otrzymujemy (10):

$$p = 1 - \sqrt[10]{0.05} = 0.2589, \quad (10)$$

Jako średni maksymalny czas spaceru w przestrzeni rekreacyjnej przyjęto limit 90 minut, co daje $(90 - 10) / 2 = 40$ i po podstawieniu do wzoru (6) otrzymujemy (11):

$$p = 1 - \sqrt[40]{0.05} = 0.0722. \quad (11)$$

W ten sposób otrzymaliśmy wszystkie graniczne wartości spacerów odpowiadające w przybliżeniu danym z dostępnej metaanalizy liczby wykonywanych dziennie kroków (Tudor-Locke i Bassett, 2004). Podsumowując (Rysunek 24), w przypadku spacerów po terenach neutralnych średni czas wynosi 15-30 minut, co odpowiada w przybliżeniu 1500-3000 kroków, a w przypadku spacerów po terenach rekreacyjnych średni czas wynosi 30-90 minut, co odpowiada w przybliżeniu 3000-9000 kroków.



Rysunek 24

Schemat przedstawiający przyjęte wartości maksymalne, minimalne i średnie dla czasu aktywności fizycznej; źródło: własne.

III.3.3 Badane parametry

Głównym badanym parametrem w modelu jest procent ludzi, którzy chodzą w ciągu doby powyżej granicznej wartości 30 minut wynikającej z badań. Na podany procent aktywnych fizycznie ludzi główny wpływ powinna mieć geometria układu funkcjonalno-przestrzennego rozumianego przez projektowane ścieżki i obszary zielone.

III.4 Weryfikacja symulatora z użyciem pierwszego obszaru (Nowy Dwór we Wrocławiu)

W celu sprawdzenia czy symulator jest poprawnie zbudowany, czy działa zgodnie z założonymi algorytmami i czy nie zawiera błędów technicznych, przeprowadzono weryfikację symulatora poprzez szereg symulacji eksperymentalnych z użyciem 39-ciu wersji ulepszanego z każdym krokiem programu. Poniżej opisano w szczegółach przykład terenu z Wrocławia, który użyto do eksperymentów weryfikacyjnych. Zbadano trzy warianty zagospodarowania tej samej przestrzeni, które różniły się jedynie lokalizacją wejść do parku. Dalsze eksperymenty podczas walidacji (Aneks III) nie będą opisywane w tym samym stopniu szczegółowości, będąc tożsame do przywołanych tutaj działań.

III.4.1 Dane wejściowe

III.4.1.1 Wybór obszaru do pierwszego eksperymentu

Selekcje obszaru do przeprowadzenia pierwszego eksperymentu przeprowadzono ze szczególną starannością, ponieważ test na nim miał wyraźnie potwierdzić lub obalić

skuteczność założeń modelu. Z tego powodu konieczne było wybranie obszaru, o szczegółowych danych demograficznych, które mogły realistycznie odwzorować populację obszaru oraz danych przestrzennych (GISowych), które można by odwzorować w modelu. Dodatkowo ważne było znalezienie obszaru, w którym tereny rekreacyjne oddzielone są od obszarów mieszkaniowych wyraźną barierą. Istotna była też możliwość weryfikacji pierwszych wyników modelu w oparciu o dostępne dane lub obserwacje.

Te szczególne kryteria wyboru pozwoliły na selekcję fragmentu Wrocławia z Parkiem Tysiąclecia, gdzie bariera komunikacyjna w postaci linii kolejowej odpowiada podobnej sytuacji ze Szwajcarii, badanej w pracy z 2019 roku (Morelle i inni 2019). Dzięki temu możliwe będzie w przyszłości porównanie wyników badań, a bliskość i znajomość terenu pomogła w sprawdzeniu wiarygodności wyników. Za obszar opracowania obrano dzielnicę Nowy Dwór we Wrocławiu w Polsce, za czym przemawiały następujące argumenty:

- bliskość terenu, która ułatwiała ewentualne wizje lokalne,
- znajomość terenu przez autora,
- znajomość problematyki zagospodarowania Parku Tysiąclecia i doliny rzeki Ślęzy przez promotora pomocniczego dr Macieja Szarejko, który był promotorem kilku prac magisterskich na kierunku gospodarki przestrzennej, dotyczących tego tematu,
- podobieństwo wybranego obszaru do jedyne istniejącego badania ze Szwajcarii, które dotyczyło ściśle symulacji ruchu spacerowego (Morelle i inni, 2019), gdzie główny obszar zielony był również oddzielony od terenów mieszkaniowych poprzez linię kolejową,
- stosunkowa łatwość w klasyfikacji terenów rekreacyjnych, znajdujących się głównie po przeciwnej stronie nasypu kolejowego niż bloki mieszkalne.

III.4.1.2 Sposób przygotowania podkładów mapowych

Przygotowanie plików do obsługi przez model w GAMA Platform odbyło się w pięciu etapach. Na początku nakreślono obszar opracowania, z uwzględnieniem tego, że na końcu program wczyta kształt obszaru i obrysuje na jego kształcie prostokąt przestrzeni w 2D.

W pierwszym etapie zainstalowano program QGIS aby zaimplementować wybrane warstwy wektorowe dla zaznaczonego obszaru opracowania z ogólnodostępnej bazy danych, jak na przykład Open Street Map. Wybrane trzy warstwy to sieć dróg i ścieżek, budynki mieszkalne oraz zieleń. Wszystkie warstwy wyeksportowano do formatu dxf, aby móc je na dalszym etapie opracować szczegółowo w programie AutoCAD.

W drugim etapie nastąpiła ręczna obróbka danych wektorowych za pomocą programu AutoCad. Podzielono ręcznie wszystkie budynki mieszkalne, tak aby oddać zagęszczenie mieszkańców odpowiadające każdemu z nich. Odwzorowanie liczby kondygnacji zostało przeprowadzone poprzez wielokrotne nałożenie obrysu rzutu tego samego budynku, który stworzy w tym samym miejscu konkretną liczbę agentów typu budynek mieszkalny, a losowe przydzielanie adresu zamieszkania spowoduje względnie właściwe odwzorowanie zagęszczenia ludności.

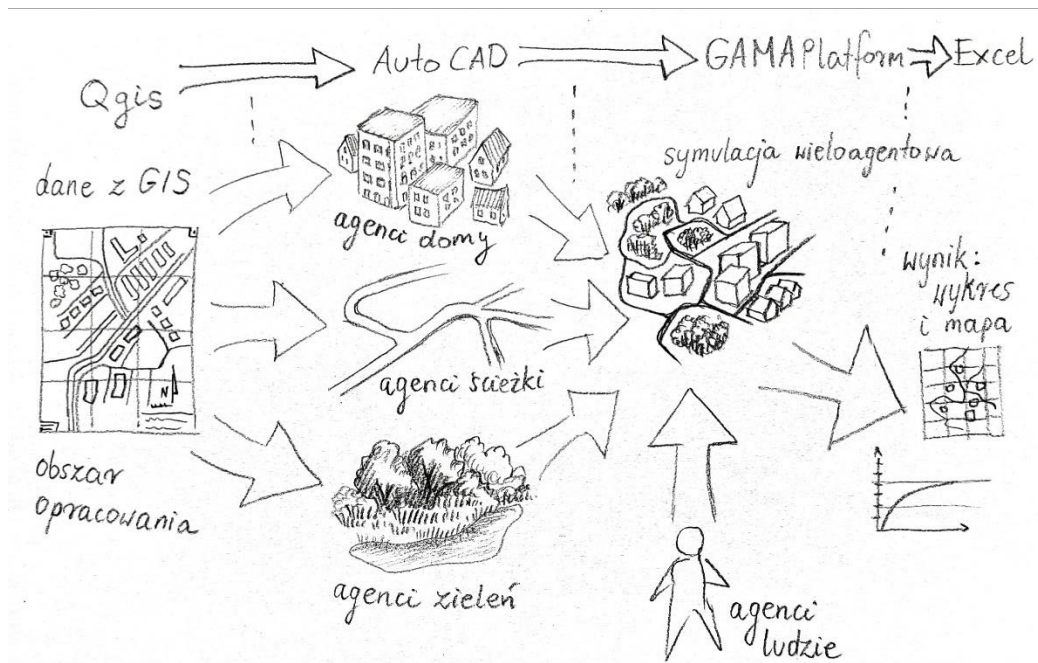
Wszystkie rodzaje dróg i ścieżek pozyskane z bazy danych GIS zostały połączone w jedną warstwę wektorową. Następnie sieć ścieżek została ręcznie uproszczona. Na potrzeby modelu należało usunąć wszystkie ślepe uliczki, lub zakończyć je pętlą na końcu. Wszystkie skrzyżowania więcej niż trzech dróg w jednym punkcie należało rozdzielić na wiele

skrzyżowań łączących dokładnie trzy drogi. Należało również sprawdzić, czy linie nie nakładają się i nie przecinają się ze sobą oraz czy każda poli-linia kończy się skrzyżowaniem, gdyż w przeciwnym wypadku po pewnym czasie symulacji program generował błąd, spowodowany tym, że jeden z agentów trafiał na problematyczną geometrię. Uproszczenie sieci ścieżek spowodowało również znaczące przyspieszenie czasu symulacji, ponieważ każdy agent podczas ruchu miał do przeprowadzenia o wiele mniej obliczeń. Sieć ścieżek zapisano jako osobną warstwę w trzech wariantach wejść do parku, modyfikując odpowiednio geometrię, aby spełniała wymienione wymagania użyteczności dla modelu. Każdy badany wariant różnił się jedynie lokalizacją wejść do parku.

Na koniec zdecydowano, które obszary zielone zostaną przydzielone do kategorii pozytywnej. Nie wliczono do nich żadnych obszarów na osiedlach z wielkiej płyty, ani małych skwerów zieleni, placów zabaw, czy punktowych skate-parków. Jedynym obszarem jaki uwzględniono został teren między linią torów a obwodnicą autostradową Wrocławia, który rozpościera się po obu stronach rzeki Ślęza tworząc Park Tysiąclecia.

Dla lepszego zwizualizowania wyników symulacji, cały teren zielony został sztucznie podzielony na obszary około 100x100 m opierające swoje granice na różnych istniejących elementach terenowych. Dzięki temu każdy pojedynczy obszar zielony zmienia swój kolor w zależności od sumy odwiedzających go agentów, co może się przyczynić do lepszego zrozumienia różnic w wynikach dla poszczególnych wariantów lokalizacji wejść do parku.

Kiedy wszystkie elementy wektorowe zostały już należycie przygotowane za pomocą programu AutoCAD, wyeksportowano je ponownie do QGISa. Z programu QGIS wspomniane trzy warstwy wektorowe wyeksportowano oddzielnie jako pliki w formacie shapefile, obsługiwany przez język GAML. Na tym kroku zakończono przygotowywanie geometrii na potrzeby eksperymentu próbnego w modelu (Rysunek 25).



Rysunek 25
Schemat procedury działania prototypowego narzędzia opartego na modelu agentowym;
źródło: własne.

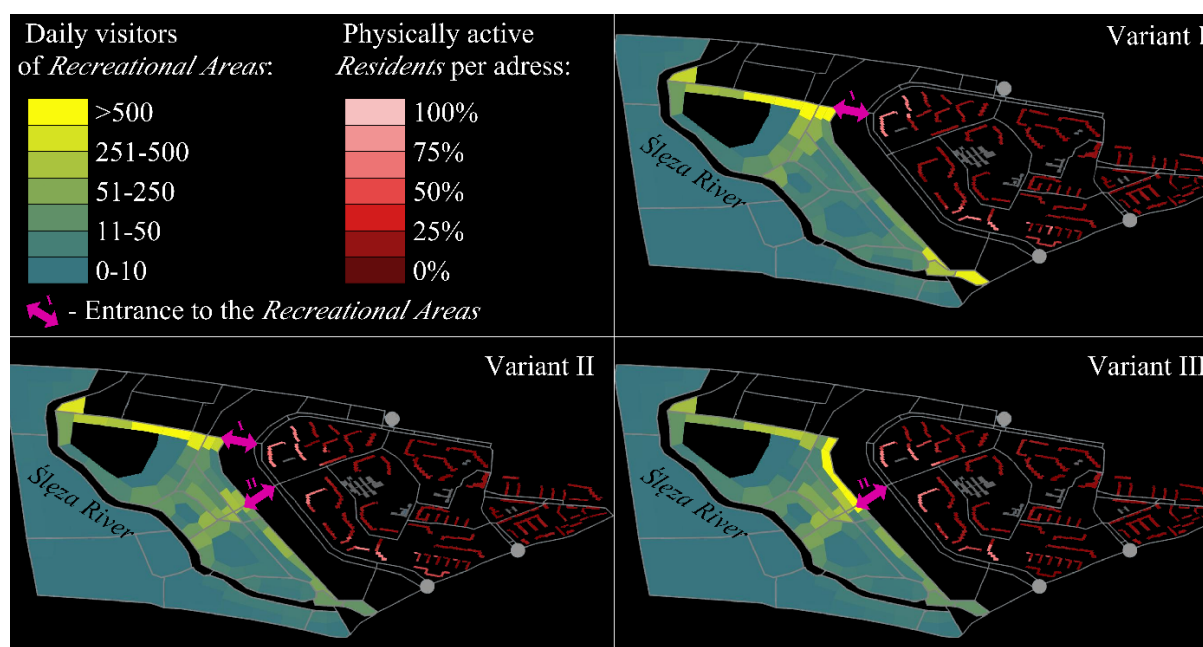
III.4.1.3 Podział społeczności agentów na grupy wiekowe

Kolejnym krokiem był przydział agentów do grup wiekowych. W eksperymencie bazowano na danych regionalnego spisu demograficznego z 2016 roku (Balcerzak i inni, 2017). Przyjęto 18% jako odsetek osób młodych, 62% jako osoby w wieku produkcyjnym i 20% jako osoby w wieku poprodukcyjnym.

III.4.2 Dane wyjściowe (wyniki weryfikacji)

III.4.2.1 Mapa

Rysunek 26 pokazuje trzy warianty rozwiązania dojść do Parku Tysiąclecia w dzielnicy Nowy Dwór. Każdy wariant różni się zarówno stopniem odwiedzania terenów rekreacyjnych, jak i rozłożeniem adresów mieszkaniowych, które są obsługiwane przez infrastrukturę rekreacyjną.



Rysunek 26

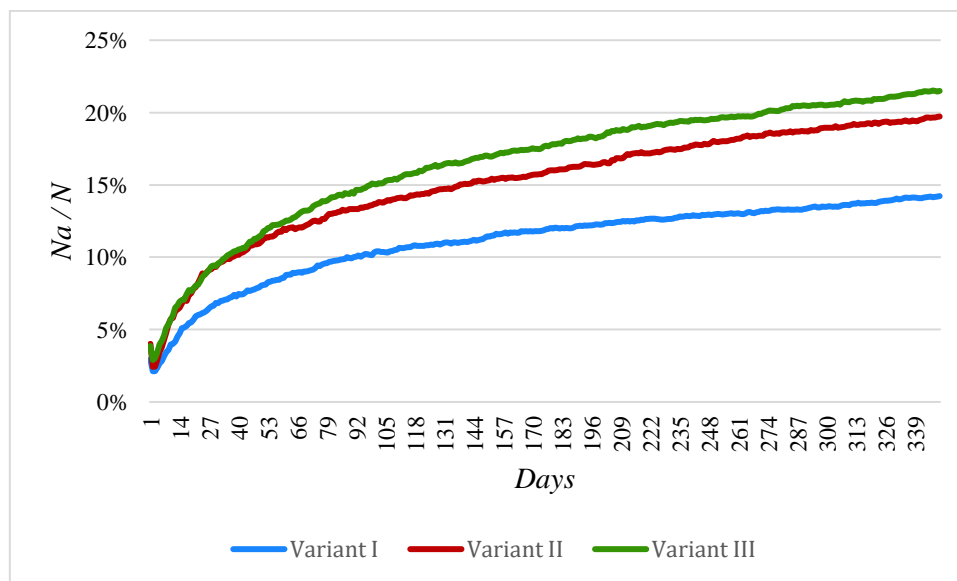
Nowy Dwór, trzy warianty rozwiązania dojść do parku: Variant I (stan istniejący); Variant II (dodanie przejścia pod torami); Variant III (przejście pod torami bez przejścia w istniejącej lokalizacji). Adresy zamieszkania są zróżnicowane za pomocą skali odcieni czerwieni, która pokazuje procent mieszkańców danego adresu spacerujących powyżej 30 minut dziennie. Tereny rekreacyjne są oznaczone gamą żółci i zieleni, odpowiadając jasnością liczbę odwiedzających. Na fioletowo zaznaczono główne wejścia do parku;

źródło: własne.

III.4.2.2 Wykres

Głównym wynikiem symulacji jest wykres procentu osób w badanej lokalnej społeczności Nowego Dworu, które spacerują co najmniej 30 minut dziennie (Rysunek 27). Na wykresie widać, że najlepszy wynik około 22% po 365 dniach symulacji jest otrzymywany dla wariantu III, czyli pojedynczego wejścia do parku zlokalizowanego centralnie. Wariant II z dodaniem centralnego wejścia do parku z wynikiem około 20% okazał się dużo lepszy od wariantu I, czyli stanu istniejącego, dla którego otrzymano wynik 14% osób spełniających

normę aktywności fizycznej w postaci 30 minut spaceru dziennie na stan po roku symulacji, czyli po 525 600 krokach czasowych odpowiadających minutom.



Rysunek 27

Wykres procenta osób spacerujących powyżej 30 minut dziennie na przestrzeni 365 dni symulacji;
źródło: własne.

III.4.3 Podsumowanie weryfikacji symulatora

Otrzymane wyniki weryfikacji symulatora z użyciem dzielnicy Nowy Dwór we Wrocławiu spełniły oczekiwania, wykazując poprawność przekształcenia teorii za pomocą narzędzi matematycznych w model komputerowy, a ostateczna wersja kodu nie posiadała widocznych błędów.

Każdy z trzech wariantów lokalizacji wejść do parku przekładał się na inny poziom aktywności fizycznej mieszkańców. Dodatkowo na wykresie procentu osób aktywnych fizycznie zarysowała się wyraźnie krzywa uczenia się. Warto również zauważyć, że symulacje wykazały, że narzędzie symulacyjne jest wrażliwe zarówno na różnice ilościowe w postaci liczby wejść do parku, jak i różnice jakościowe w postaci zmiany lokalizacji wejścia.

III.5 Walidacja symulatora (Aneks II i Aneks III)

Po pozytywnej weryfikacji, przystąpiono do walidacji symulatora, aby sprawdzić użyteczność narzędzia na innych zestawach danych geometrycznych. Wybór obszarów do kolejnych symulacji przedstawiono w Aneksie II, gdzie spośród 54 przeanalizowanych obszarów chińskich wybrano cztery różniące się od siebie ogólnym charakterem tereny z Chin. Quzhou i Ningbo Sponge Greenway jako przykłady parków liniowych oraz Ningbo One Hour Loop oraz Jinan jako przykłady parków pętlowych. Wybrano również jeden dodatkowy przykład z Wrocławia, w postaci parku w dzielnicy Zakrzów, który leży w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca zamieszkania autora. Szczegółowe wyniki walidacji w postaci ponad 340 przeprowadzonych symulacji znajdują się w Aneksie III, gdzie zawarto również kod ostatecznej wersji programu.

III.6 Podsumowanie wyników walidacji

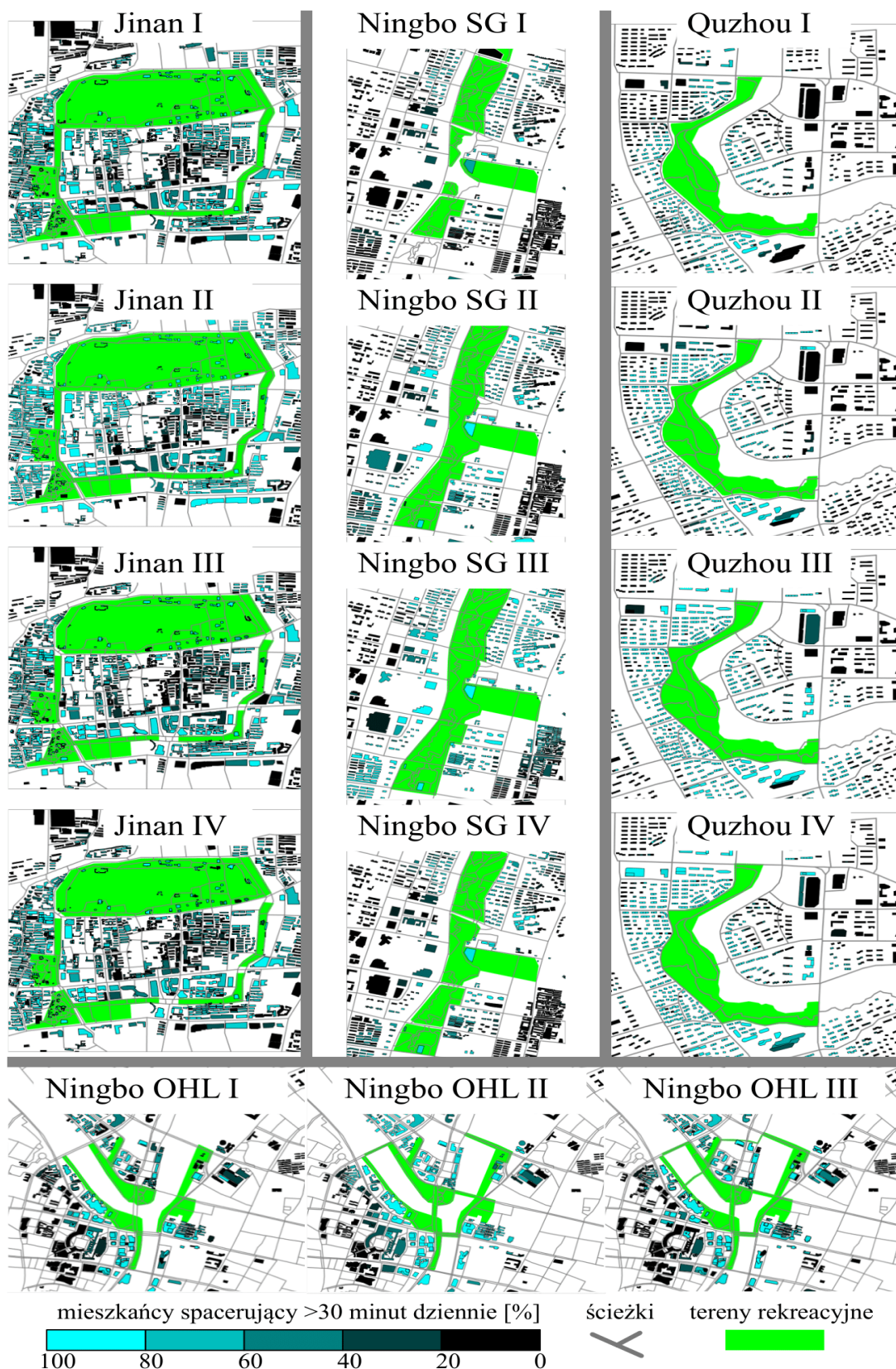
Wyniki walidacji przedstawione w Aneksie III potwierdziły, że symulator spełnił postawione przed nim cel, jakim było odwzorowanie wpływu dostępności dogodnych terenów spacerowych na zachowanie człowieka w kontekście czasu przeznaczanego na rekreacyjną aktywność fizyczną. Rysunek 28 przedstawia zestawienie 15 miniatur wariantów geometrii parków chińskich: 4 dla Jinan, 4 dla Ningbo Sponge Greenway (SG), 4 dla Quzhou oraz 3 dla Ningbo One Hour Loop (OHL). Wyniki map aktywności fizycznej w czytelnej skali są zawarte w Aneksie III. Na mapach zaznaczono na zielono tereny rekreacyjne, na szaro sieć ciągów pieszych, a w odcieniach błękitu wynikowy rozkład adresów zamieszkania agentów, gdzie jasny błękit odpowiada 100% mieszkańców spacerujących powyżej 30 minut dziennie, a kolor czarny odpowiada za 0%. Wszystkie wyniki to stan uzyskany w 365 dniu trwania symulacji, przy współczynniku szybkości uczenia $L=10000$, dla populacji równej 4000 agentów, z wyjątkiem Ningbo One Hour Loop, gdzie użyto 1000 agentów.

Uzyskane wyniki (Rysunek 28) pokazują istotne różnice w rozkładzie adresów, których mieszkańcy spacerują powyżej 30 minut dziennie w zależności od układu zieleni i ścieżek. Otrzymane w wyniku symulacji mapy aktywności pełnią rolę uzupełniającą w stosunku do zbiorczych wykresów aktywności fizycznej. Wyniki w postaci map nie są uśredniane, w przeciwieństwie do wykresów (Rysunek 29).

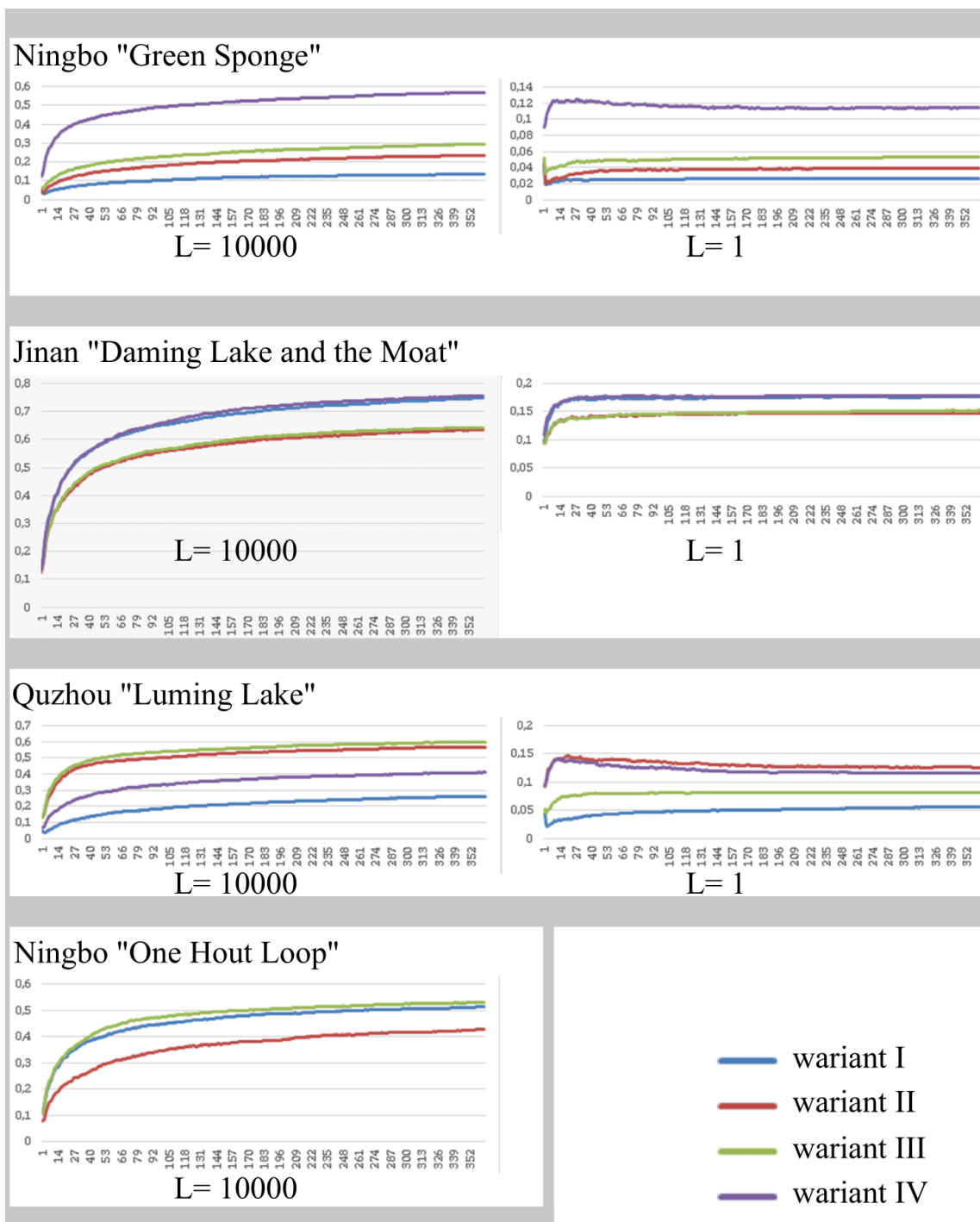
Rysunek 29 pokazuje zestawienie 7 miniatur wykresów procenta mieszkańców spacerujących powyżej 30 minut dziennie dla 4 parków chińskich: 2 dla Ningbo Sponge Greenway, 2 dla Quzhou, 2 dla Jinan oraz 1 dla Ningbo One Hour Loop. Wykresy w większej skali są zawarte w Aneksie III.

Rysunek 29 uwidacznia, że w przypadku poddanych symulacjom parków chińskich hierarchia korzystności zdrowotnych analizowanych wariantów jest niezmienna przez cały czas trwania symulacji oraz niezależna od różnych wartości parametru $L=1$ i 10000. Widać jednak, że parametr L ma znaczący wpływ na różnice jakościowe pomiędzy testowanymi wariantami. W niektórych przypadkach parametr L wpływa również na całkowitą zmianę charakteru linii na wykresie (z krzywej uczenia na krzywą zapominania), co w dalszym ciągu nie zmienia samej hierarchii rozwiązań.

Co warto podkreślić, w niektórych przypadkach zmiana parametru L powodowała niemal zrównanie się wyników dla różnych wariantów, jednak istniała zawsze minimalna różnica, która odpowiadała stałej hierarchii, lepiej widocznej dla większych wartości L .



Rysunek 28
Zestawienie 15 miniatur wariantów geometrii parków chińskich;
źródło: własne.



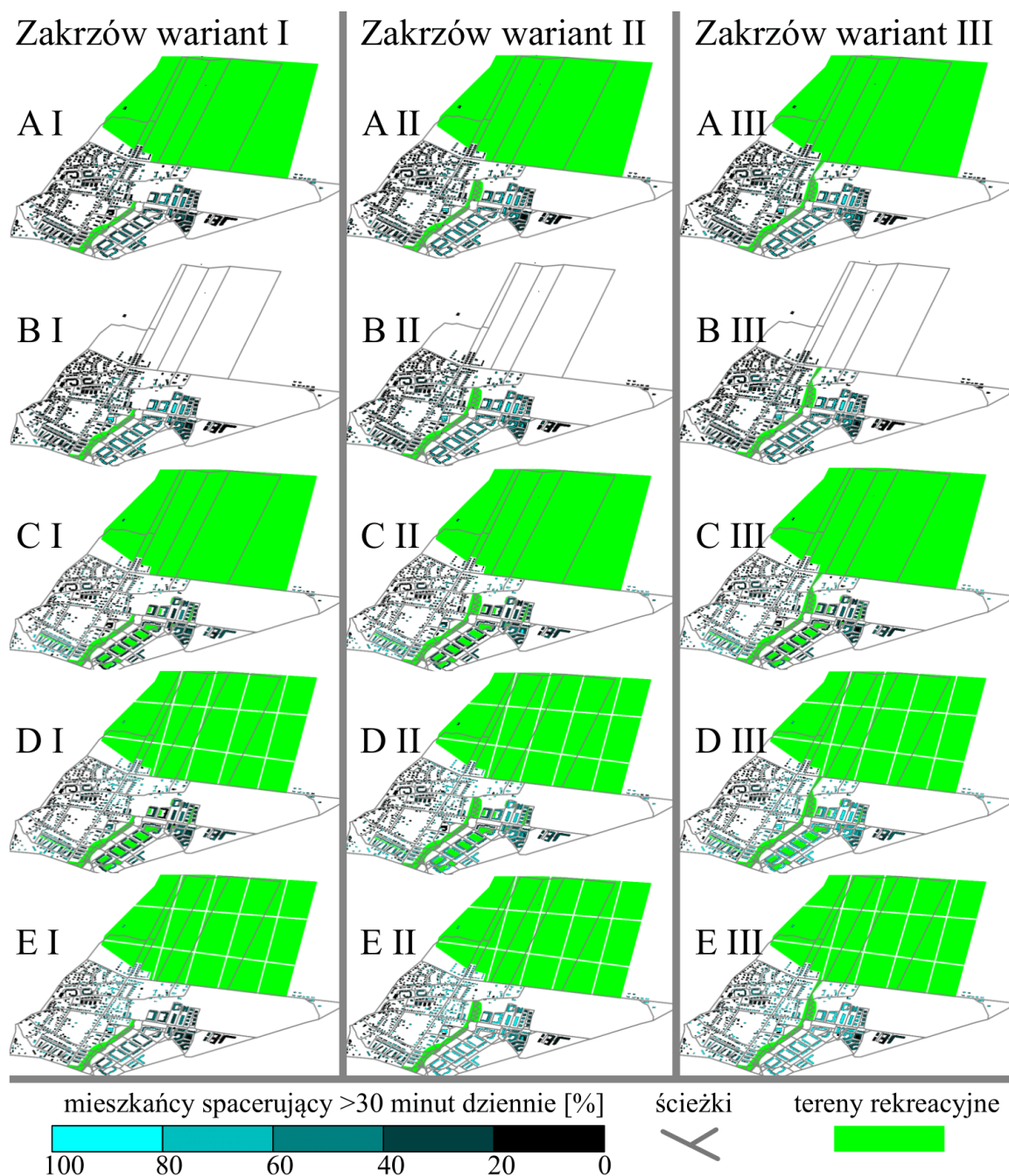
Rysunek 29

Zestawienie 7 miniatur wykresów (dla 4 chińskich parków) obrazujących hierarchię wyników procenta ludzi spacerujących powyżej 30 minut dziennie; wyniki w większej skali są zawarte w aneksie;
 źródło: własne.

Rysunek 30 przedstawia zestawienie wyników symulacji dla przypadku Zakrzowa we Wrocławiu w postaci map aktywności fizycznej. Na rysunku widać różne sposoby klasyfikacji terenów zielonych (A-E), a także trzy warianty (I-III) przedłużenia parku liniowego. Wyniki pokazują różnicę rozkładu adresów zamieszkałych przez agentów aktywnych fizycznie w zależności zarówno od wariantu koncepcji jak i sposobu klasyfikacji terenów zielonych. Widać jednak, że sposób klasyfikacji terenów zielonych nie ma wpływu na hierarchię wariantów w kontekście graficznego rozkładu potencjalnych niedoborów aktywności fizycznej.

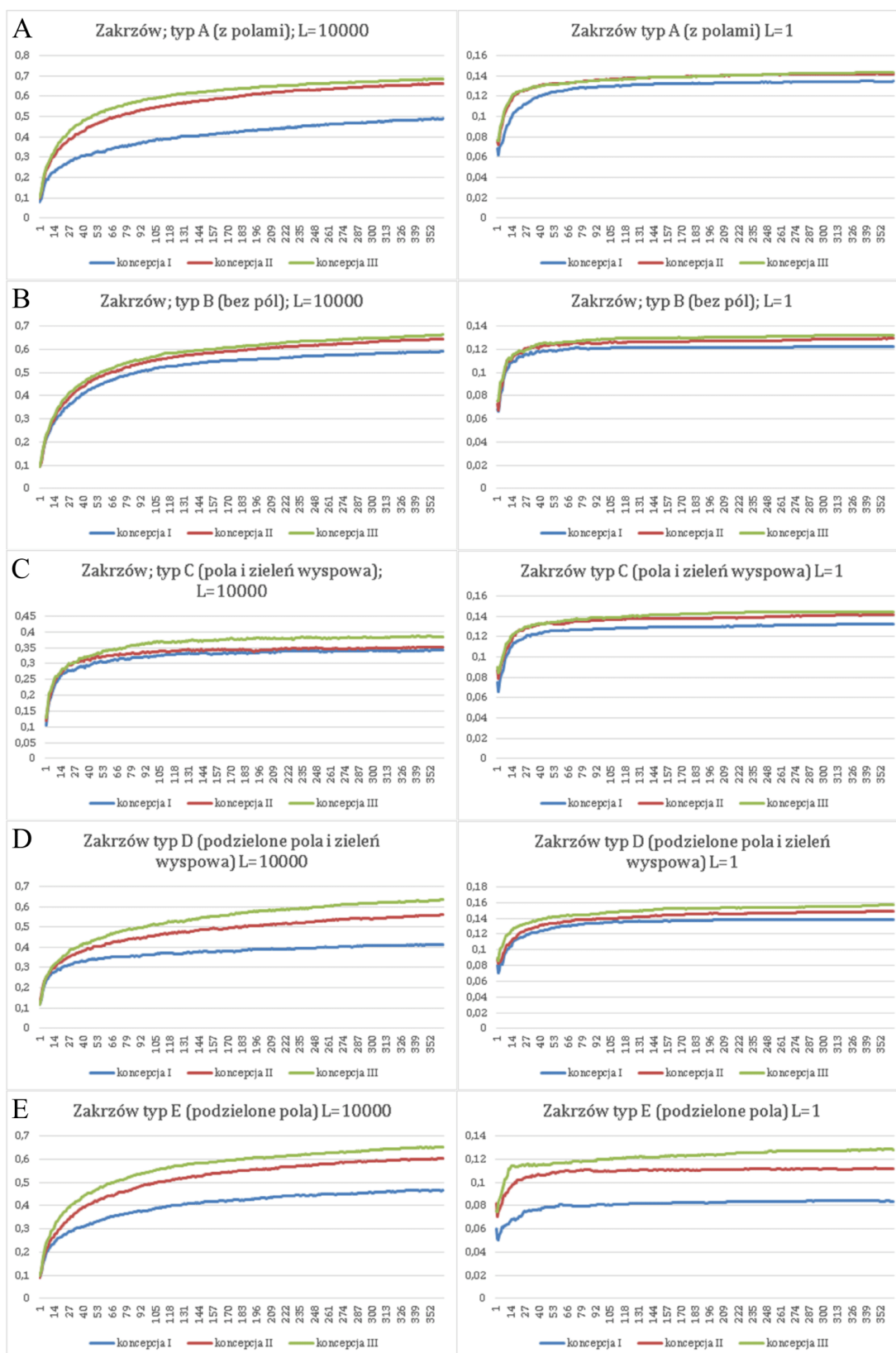
Rysunek 31 pokazuje zestawienie wyników symulacji w postaci wykresów procenta mieszkańców spacerujących powyżej 30 dziennie dla Zakrzowa, dla trzech wariantów przestrzennych parku. Hierarchia korzystności zdrowotnej wariantów I-III dla wszystkich pięciu rodzajów klasyfikacji terenów zielonych A-E jak i różnych wartości $L=1$ i $L=10000$ jest niezmienna przez cały okres trwania symulacji.

Zmienna klasyfikacja terenów zielonych i wartość parametru L wpływa jednak na różnice proporcji wyników otrzymywanych dla różnych wariantów przestrzennych. Wysoka wartość L powoduje większe różnice w wynikach dla trzech wariantów.



Rysunek 30

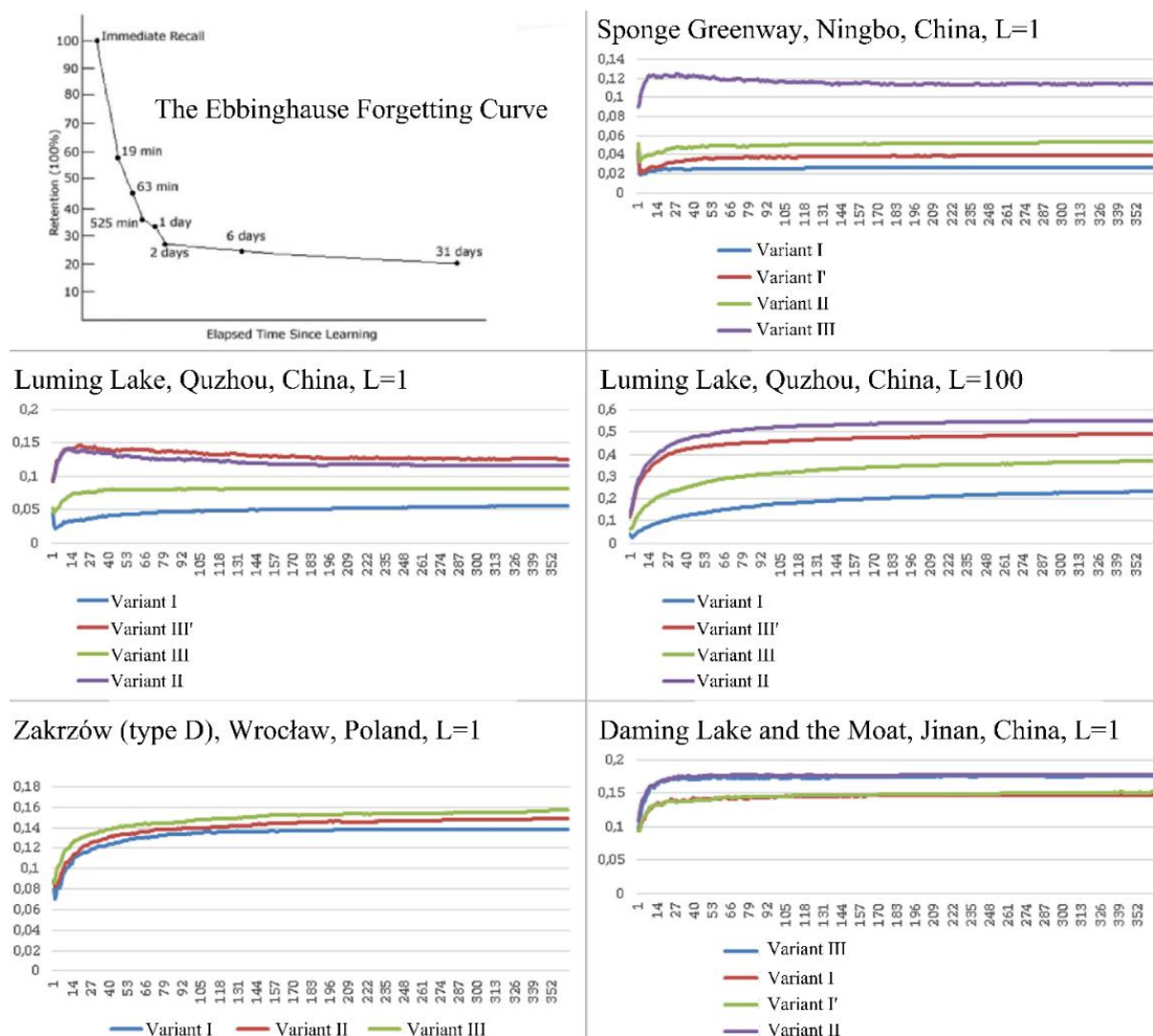
Zestawienie wyników pojedynczych symulacji dla Zakrzowa, dla 5 rodzajów klasyfikacji terenów zielonych (A,B,C,D,E), dla trzech różnych wariantów rozbudowy istniejącego parku (I, II, III); Wszystkie wyniki to stan na 365 dzień trwania symulacji dla L=10000, dla populacji równej 4000 agentów;
 źródło: własne.



Rysunek 31

Zestawienie wyników dla Zakrzowa we Wrocławiu w postaci wykresów mieszkańców spacerujących powyżej 30 minut dziennie dla L=1 i L=10000;

źródło: własne.

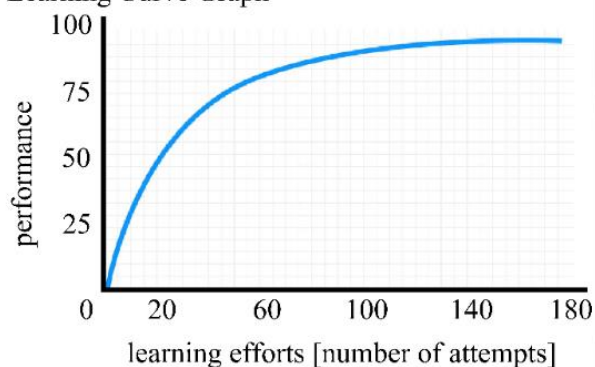


Rysunek 32

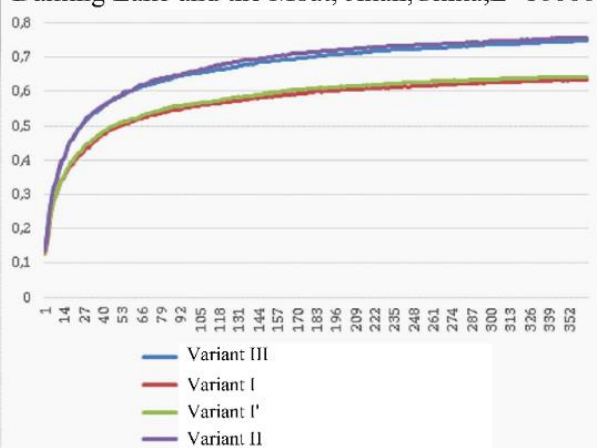
Wyniki procenta populacji spełniającej wymóg WHO dotyczący 30 minut spaceru dziennie na przestrzeni 365 dni symulacji dla niskich wartości parametru L z przedziału od 1 do 100, w zestawieniu z krzywą zapominania Ebbinghausea; źródło: własne.

Rysunek 32 prezentuje wyniki dla przyjętej małej wartości parametru szybkości uczenia się L prezentowały taką samą hierarchię wyników jak dla kilka rzędów wielkości większych wartości L. We wszystkich przypadkach krzywa uczenia była również widoczna, lecz jej charakter ulegał zwykle znacznemu wypłaszczeniu. Dla niektórych badanych przypadków zaobserwowano, że linie na wykresie po odpowiednim przeskalowaniu mogłyby odpowiadać krzywej zapominania Ebbinghausea, co jest procesem ściśle związanym z naturalnym uczeniem się. Agenci żyjący w środowisku wysokiej dostępności zieleni początkowo bardzo często wychodzą na spacer, lecz z powodu niskiej wartości parametru L część z nich nie zdąży wyrobić w sobie zdrowego nawyku i konieczność chodzenia do pracy lub szkoły z czasem powoduje zanik początkowego zachowania. Dlatego przyjmowanie niskiej wartości parametru L nieproporcjonalnie zwiększa wagę pierwszych wyborów podczas trwania symulacji. Agenci, którzy nie zdecydują się powtórzyć przyjemnego spaceru dostatecznie szybko, gwałtownie tracą szansę na wyrobienie w sobie pozytywnego nawyku wraz z upływem czasu symulacji.

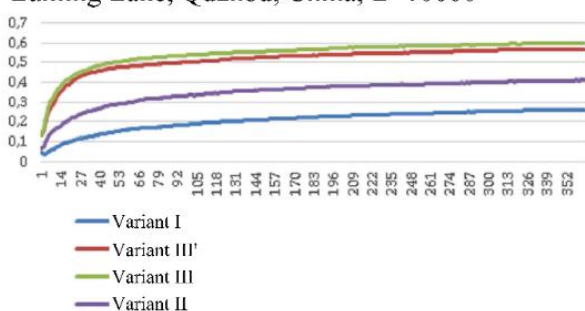
Learning Curve Graph



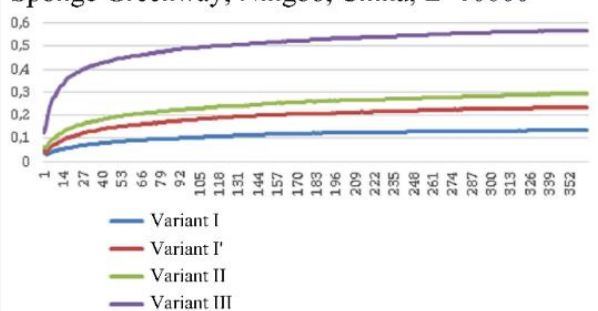
Daming Lake and the Moat, Jinan, China, $L=10000$



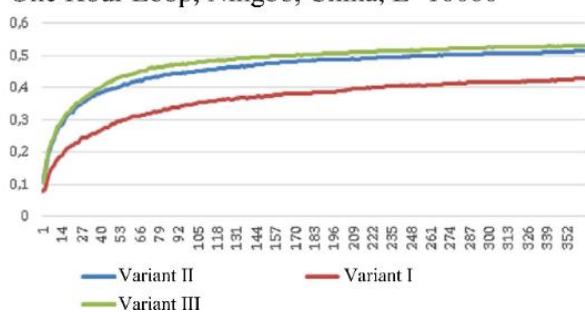
Luming Lake, Quzhou, China, $L=10000$



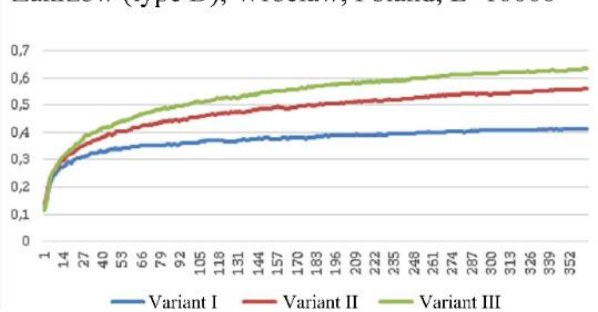
Sponge Greenway, Ningbo, China, $L=10000$



One Hour Loop, Ningbo, China, $L=10000$



Zakrzów (type D), Wrocław, Poland, $L=10000$

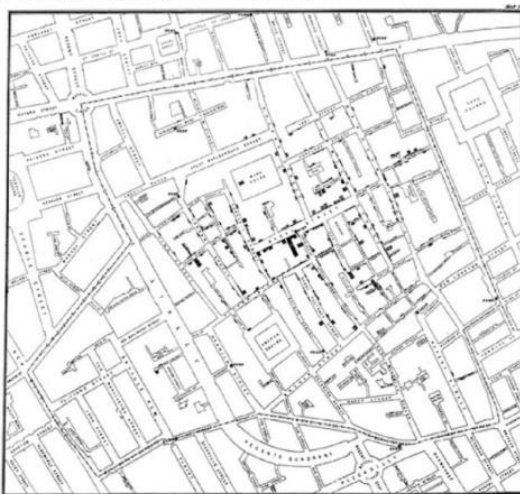


Rysunek 33

Wyniki % osób spełniających wymóg WHO dotyczący 30 minut spaceru dziennie dla $L=10000$ w zestawieniu z przykładową krzywą uczenia się (<https://i0.wp.com/kierownikprojektu.com/wp-content/uploads/2017/04/krzywa-3.jpg?resize=480%2C314&ssl=1>; (02.03.2023); źródło: własne.

Przyjmowanie wysokiej wartości dla parametru szybkości uczenia się L (np. $L=10000$) daje wyniki, które są bardziej zbliżone kształtem do klasycznej krzywej uczenia się (Rysunek 33). Dodatkowo duża wartość L zwiększa różnice pomiędzy badanymi wariantami. Można zauważyć, że parametr L może pełnić funkcję skalowania wyników symulacji w czasie. Większa wartość L może przykładowo pokazywać wyniki dla 30 lat symulacji na przestrzeni jednego roku.

Soho, London, John Snow, 1854



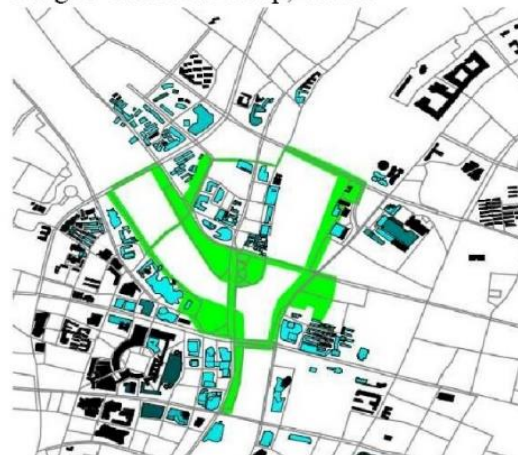
Ningbo Sponge Greenway, China:



Quzhou Luming Park, China:



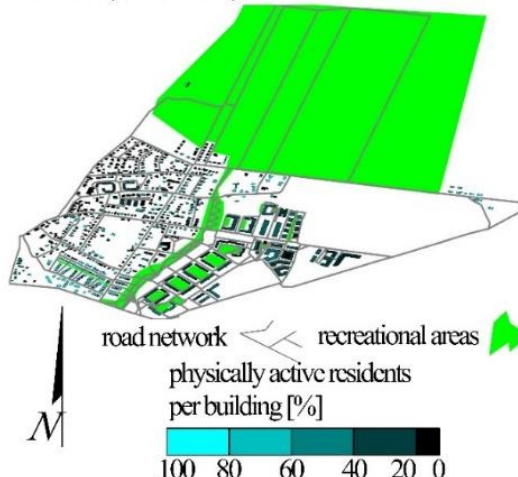
Ningbo One Hour Loop, China:



Jinan Daming Lake and the Moat, China:



Zakrzów, Wrocław, Poland:



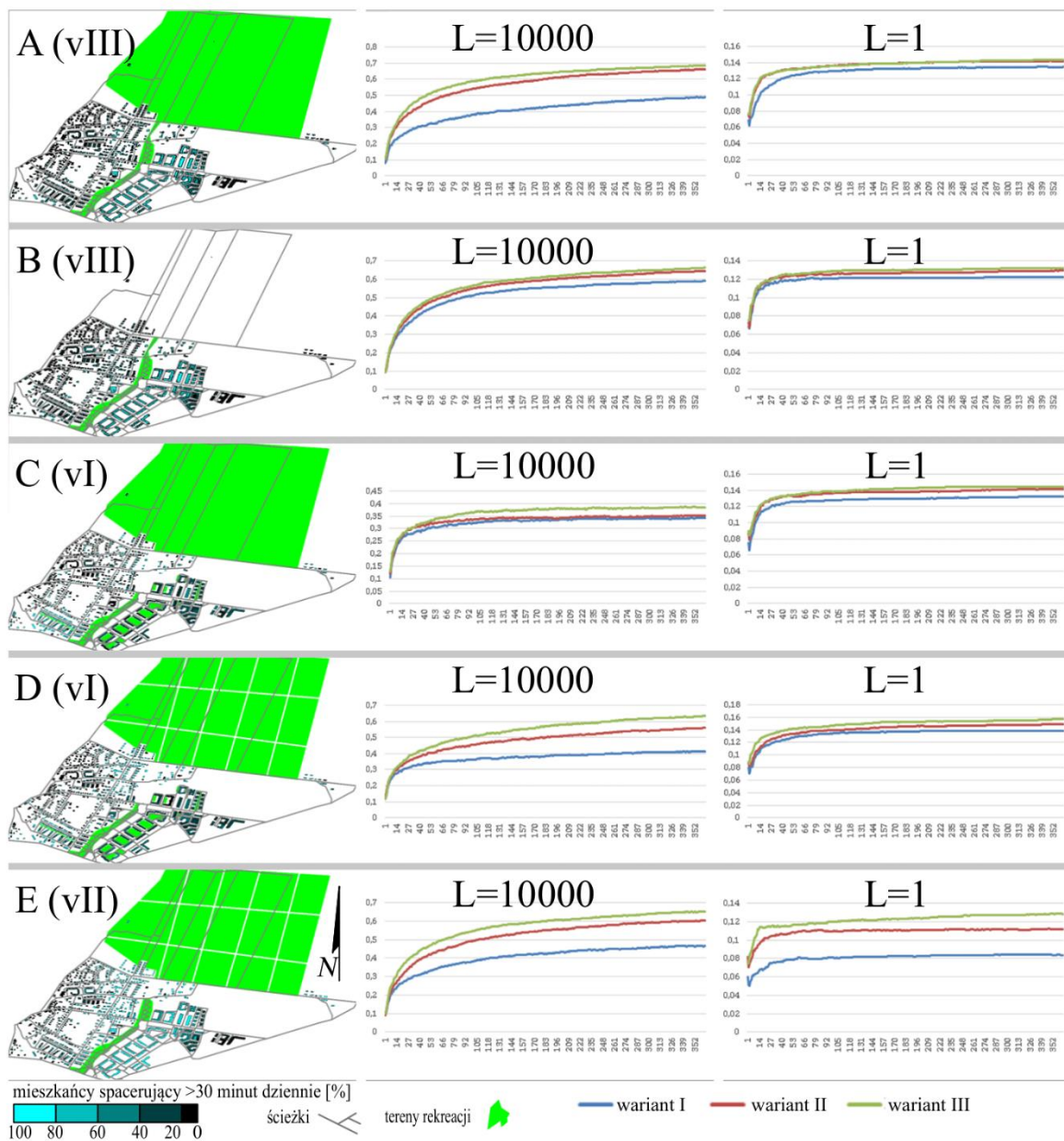
Rysunek 34

Mapy aktywności fizycznej dla wybranych obszarów; odcieniami błękitu oznaczono procent mieszkańców danego adresu, którzy spacerują minimum 30 minut dziennie; czarne adresy to zagrożenie zdrowia; źródło: własne.

Rysunek 34 pokazuje, że każdy wynik w postaci mapy aktywności fizycznej przedstawiał duże zróżnicowanie, a dane na wykresach miały charakter stabilny i różniły się tylko hierarchią wartości. Większe zróżnicowanie wyników graficznych w postaci map niedoborów aktywności fizycznej wynikało głównie z dużej gęstości adresów zamieszkania, które zostały zasiedlone w sposób losowy przez stosunkowo niską liczbę agentów. Dane na wykresie powstały w wyniku od 3 do 10 uśrednień za pomocą oddzielnych symulacji, a dane na mapie reprezentowały pojedynczą symulację. Elementem przyszłego usprawnienia mogłaby być rozbudowa funkcjonalności programu o tworzenie map końcowych w oparciu o dane uśrednione ze wszystkich otrzymanych map pojedynczych symulacji. Jednak na obecnym etapie symulator miał za zadanie pokazywać głównie hierarchię analizowanych wariantów zagospodarowania przestrzeni w kontekście aktywności fizycznej, a mapa aktywności miała charakter jedynie pomocniczy.

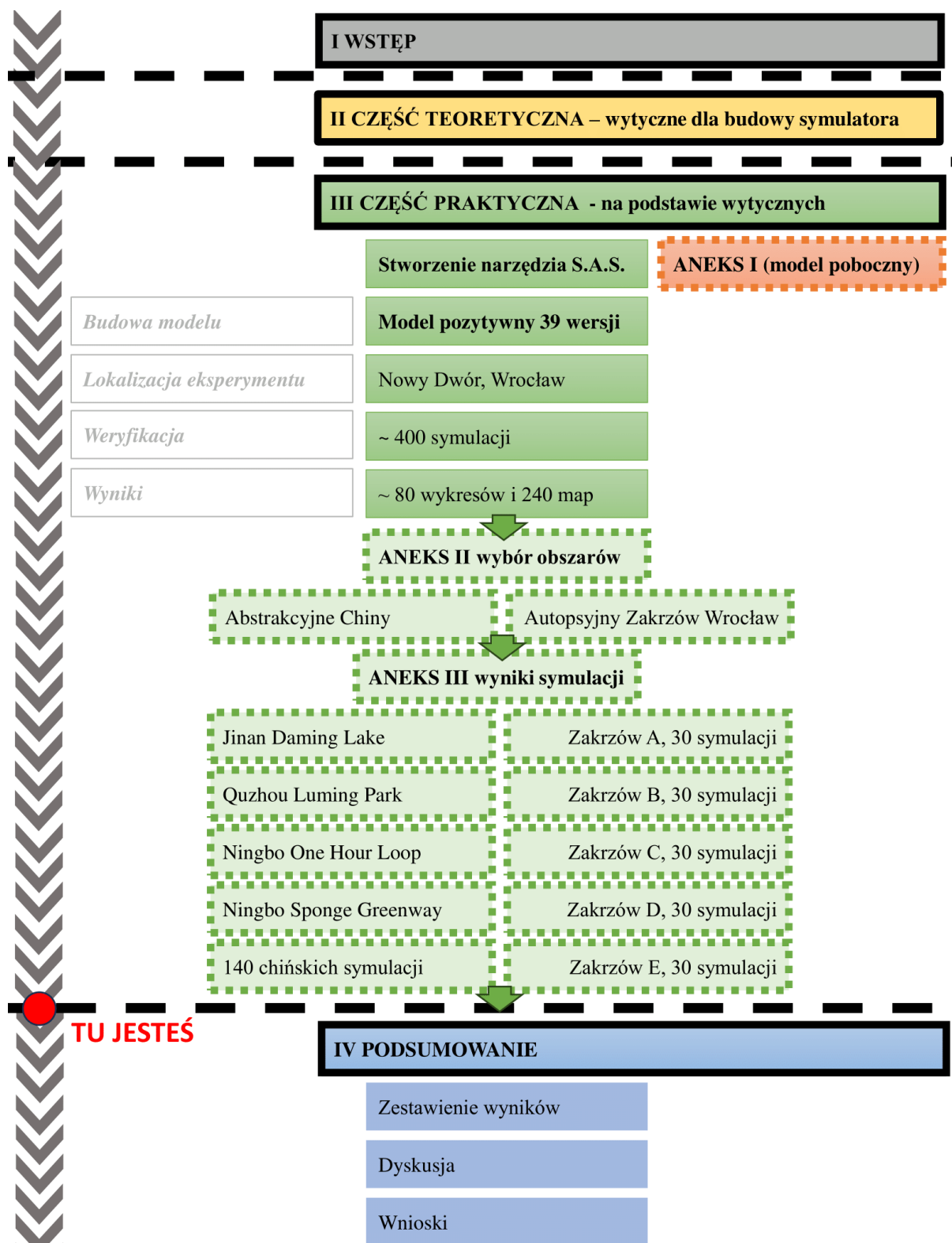
Rysunek 35 uwidacznia wpływ różnych sposobów klasyfikacji terenów zielonych na otrzymywane wyniki. Widoczna jest zależność od sposobu w/w klasyfikacji dla wyników zarówno na wykresach, jak i na mapach aktywności fizycznej. Podział terenów przekłada się bezpośrednio na prawdopodobieństwo wyboru danego celu przez agenta. W przypadku terenów zielonych o dużej powierzchni brak podziału powoduje zmniejszenie prawdopodobieństwa wyboru danego obszaru, przez co ich potencjał może nie być w pełni wykorzystywany. Z drugiej strony obszary zielone o charakterze rolniczym są często mniej atrakcyjne przy podejmowaniu decyzji spacerowej od parków o wysokim poziomie doinwestowania, co może znajdować odzwierciedlenie w wynikach niektórych symulacji.

Rysunek 35 unaocznia również, że uwzględnianie dużej liczby obszarów zieleni o rozproszonym charakterze znacząco zmniejsza różnice pomiędzy badanymi wariantami koncepcji przestrzennych. Wydłuża się również znacząco czas potrzebny do ustabilizowania wyników. Podsumowując uwzględnianie różnych obszarów zieleni nie ma znaczącego wpływu na wynik końcowy symulacji, a jedynie wydłuża czas potrzebny do osiągnięcia zbliżonych wyników.



Rysunek 35

Zestawienie wpływu różnych sposobów klasyfikacji terenów zielonych (A-E) na wyniki symulacji dla dwóch różnych wariantów przestrzennych rozbudowy istniejącego parku, gdzie wariant I to stan istniejący;
 źródło: własne.



Rysunek 36
Schemat struktury Aneksów II i III oraz rozdziału IV;
źródło: własne.

IV. Podsumowanie

W podsumowaniu zestawiono osiągnięte wyniki prac nad symulatorem (rozdział IV.1) oraz poddano dyskusji i autorefleksji przeprowadzony proces jego powstawania (rozdział VI.2). Wskazano potencjalne kierunki dalszego rozwoju symulatora i elementy do poprawy. Przedstawiono dotychczasowe sposoby wykorzystania oraz zarysowano prawdopodobne scenariusze użytkowania w przyszłości. Rozważania posłużyły jako punkt wyjścia do sformułowania końcowych wniosków (rozdział IV.4).

IV.1 Osiągnięte wyniki

Wyniki badań nad symulatorem pozwalają na systematykę osiągniętych wyników ze względu na następujące obszary: wspomaganie projektowania, medycyna prewencyjna i techniki symulacyjne.

IV.1.1 Wspomaganie projektowania architektoniczno-urbanistycznego

Nowe kryterium do analizy w fazie projektu koncepcyjnego

Wprowadzono podstawy dla przyszłych narzędzi inżynierskich w zakresie oceny projektów koncepcyjnych do symulacji wpływu środowiska zbudowanego na zdrowie człowieka. Stworzony symulator może stanowić początek do dyskusji na temat wpływu projektowanej przestrzeni na zmianę nawyków i zdrowie publiczne.

IV.1.2 Medycyna prewencyjna

Symulator związku poziomu aktywności fizycznej z systemem rekreacji

Symulator pokazuje bezpośredni związek między projektowaniem systemów rekreacji miejskiej a poziomem spontanicznej umiarkowanej aktywności fizycznej w lokalnych społecznościach. Głównym badanym parametrem jest dostępność infrastruktury rekreacyjnej z jak największej liczby miejsc zamieszkania. Lepsze rozwiązania przestrzenne to takie, które obsługują więcej potencjalnych użytkowników.

IV.1.3 Techniki symulacyjne

Symulator ruchu rekreacyjnego

Stworzony prototyp wyróżnia się w porównaniu z istniejącymi modelami badania aktywności fizycznej, gdyż pomija ruch w celach egzystencjalnych, takich jak wyjście do sklepu czy pracy. Dotychczasowe programy symulacyjne, oparte na modelu Helbinga i innych modelach używanych do planowania transportu dużych grup ludzi, nie są przystosowane do odwzorowywania rekreacyjnych spacerów.

Zamodelowanie pamięci i zmian motywacji użytkowników

Symulator odwzorowuje zjawisko uczenia się na podstawie doświadczeń spacerowych. Każdy agent w symulatorze posiada własną pamięć, odnoszącą się wyłącznie do doświadczeń związanych ze spacerami, co umożliwia działanie uproszczonego mechanizmu motywacji opartego na warunkowaniu pozytywnym. W wyniku mikrointerakcji człowieka z otoczeniem na przestrzeni czasu symulator odwzorowuje proces nabywania nawyków, korzystając z prostych wzorów matematycznych do modelowania tego zjawiska.

Prosty model jako baza do przyszłego rozwoju

Stworzono maksymalnie uproszczony symulator aktywności spacerowej (SAS) ludzi do porównywania koncepcji funkcjonalno-przestrzennych. Jedynym parametrem badanym w symulacjach jest zdrowie użytkowników, a jedynym uwzględnionym modyfikatorem zachowania jest uczenie się na podstawie warunkowania pozytywnego, gdzie jedyną zmienną jest otaczająca przestrzeń.

Stabilne powtarzalne wyniki i stała hierarchia korzystności zdrowotnej badanych wariantów

Wyniki symulacji otrzymywanych za pomocą symulatora są powtarzalne, a hierarchia badanych wariantów przestrzennych jest zależna wyłącznie od geometrii badanego rozwiązania. Pozostałe parametry i czynniki mają wpływ wyłącznie na skalę różnic między badanymi wariantami.

Realistyczność wyników

Podstawowe parametry graniczne w symulatorze (minimalne i maksymalne prawdopodobieństwa wyjścia na spacer i powrotu), określające wartości graniczne, okazały się w sposób wiarygodny odzwierciedlać stan istniejący. Na większości wykresów procent osób aktywnych fizycznie widoczna jest naturalna krzywa uczenia się, która wyraźnie wypłaszcza się po około 30 dniach, co odpowiada badaniom dotyczącym średniego czasu potrzebnego na wykształcenie nawyku. Zatem symulator wygenerował wyniki, które znajdują potwierdzenie w niezależnych badaniach, co uznaje się za silną stronę stworzonego narzędzia.

IV.2 Dyskusja

W trakcie tworzenia i rozwijania symulatora ujawniły się pewne ograniczenia wynikające z charakteru pracy nad modelem oraz procesu zdobywania nowych kompetencji. Autor, rozwijając swoją znajomość metod programowania i budowy modeli agentowych, na bieżąco adaptował kolejne, przydatne rozwiązania, co wpłynęło na ostateczny kształt narzędzia. Zdobyta wiedza i doświadczenie pozwoliły na autorefleksję, wskazując elementy symulatora, które można byłoby usprawnić, gdyby prace rozpoczynano od nowa. Takie podejście pozwala na sformułowanie rekomendacji zarówno dla dalszego rozwoju modelu, jak i dla przyszłych projektów opartych na podobnej metodologii.

Zostały one poniżej pogrupowane w zagadnienia dotyczące dalszej walidacji, modyfikacji algorytmu oraz możliwości standaryzacji.

IV.2.1 Dalsza walidacja

Usystematyzowanie doboru terenów opracowania dla symulatora

Symulator został stworzony z głównym naciskiem na budowę narzędzia, co ograniczyło systematyczne badanie jego działania na różnorodnych skalach przestrzennych. W wyniku tego podczas obróbki danych przestrzennych nie zastosowano określonych standardów planistycznych, a granice analizowanych obszarów wyznaczano na podstawie subiektywnych kryteriów autora, takich jak przebieg dróg szybkiego ruchu, cieków wodnych, linii kolejowych czy obszarów przemysłowych. W praktyce wpływ systemu rekreacji na użytkowników często wykracza poza precyzyjnie zdefiniowane granice, co celowo pominięto na tym etapie badań.

Porównanie wyników dla wybranych terenów przez inne narzędzia

Symulacje generowane przez opracowane narzędzie nie zostały porównane z wynikami uzyskiwanymi przy użyciu innych systemów symulacyjnych. Porównanie wyników z mapami aktywności fizycznej generowanymi przez alternatywne systemy do analizy transportu pieszego stanowi istotny kierunek przyszłych badań.

Przetestowanie symulatora na rzeczywistych danych o lokalnym ruchu rekreacyjnym

Z powodu braku dostępu do danych rzeczywistych symulacje miały charakter poglądowo-abstrakcyjny. W przyszłości należy przeprowadzić badania na podstawie szczegółowych danych przestrzennych, wizyt terenowych i istniejących narzędzi monitoringu.

Niepotwierdzone pole do manipulacji wyników za pomocą podziału terenów zielonych

Przy korzystaniu z symulatora należy mieć na uwadze, że prawdopodobnie możliwe jest manipulowanie końcowymi wynikami symulacji za pomocą podziału terenów zielonych, co należałoby przebadać w przyszłości. Ze względu na fakt losowości wyboru celu, agenci wybierają częściej tereny, które są podzielone na większą liczbę pod-terenów. Przykładowo duży powierzchniowo park bez żadnego podziału będzie statystycznie rzadziej wybierany na cel spaceru niż podobnej wielkości obszar rolniczy podzielony na dużą liczbę niw. Dlatego tak ważna jest ręczna klasyfikacja obszarów zielonych z całkowitą świadomością tej zależności wynikającej z prostoty zastosowanego algorytmu.

Możliwym rozwiązaniem tego problemu w przyszłości może być automatyczne dzielenie wprowadzanych obszarów według określonych parametrów powierzchniowych, na przykład na kwadraty o wymiarach metr na metr. Jednak nie ma tutaj jednoznacznej odpowiedzi, gdyż mogłoby to potęgować problem dużych powierzchniowo obszarów o relatywnie niskiej atrakcyjności względem zajmowanej powierzchni, jak na przykład obszary rolnicze włączane w system zieleni.

Dostęp do rzeczywistych danych o przestrzennym rozkładzie zachowań rekreacyjnych

Wykorzystanie SAS do realnego wsparcia decyzji w procesie projektowo-konkursowym, wymaga każdorazowej weryfikacji i skalibrowania za pomocą dostępnych danych. W tym celu mogą zostać użyte bazy informacyjne dotyczące tras ruchu pieszego rejestrowane przez lokalizatory znajdujące się w telefonach komórkowych. Inną formą kalibracji mogą być dane z monitoringu miejskiego. Najmniej wiarygodną metodą może być również badanie ankietowe dotyczące poziomów aktywności fizycznej z uwzględnieniem poszczególnych adresów zamieszkania. Wszystkie wymienione działania powinny znacznie obniżyć ryzyko błędów symulacyjnych.

IV.2.2 Modyfikacja algorytmu

Rozszerzenie procesu uczenia się agentów o bodźce negatywne

Obecny model ogranicza się do prostego mechanizmu motywacji pozytywnej. Rzeczywistość wskazuje jednak na bardziej złożony charakter procesów decyzyjnych, uwzględniających również bodźce negatywne. Rozbudowa algorytmu o te elementy mogłaby znacząco wzbogacić realizm symulacji.

Wzór na motywację i parametr L

Jednym z ograniczeń jest zastosowanie uogólnionego wzoru na motywację, który bazuje na uproszczonych założeniach teoretycznych. Choć takie podejście jest nieodzowne w modelowaniu komputerowym, może prowadzić do odchyleń względem rzeczywistości. Wyniki badań nad parametrem L (odpowiedzialnym za szybkość uczenia się) wykazały znaczący wpływ na polaryzację wyników w niskich wartościach tego parametru, co wskazuje na istnienie przejść fazowych w analizowanych scenariuszach. Złożoność interakcji między parametrem, a wynikami podkreśla konieczność dalszych badań, zwłaszcza w kontekście jego kalibracji do rzeczywistych danych.

Wybór celu spaceru przez agentów

Losowy wybór celu spaceru przez agentów został wzbogacony o świadomość okolicznych terenów rekreacyjnych, co wprowadza element warunkowania pozytywnego. Nie zbadano jednak, jak symulator działałby w przypadku całkowicie losowego podejścia, co stanowi interesujący temat przyszłych badań. Warto również rozważyć wprowadzenie granicznej odległości spaceru, na przykład w kontekście idei 15-minutowych społeczności, z uwzględnieniem różnych metod pomiaru odległości.

Odwzorowanie wpływu społecznego na decyzje spacerowe

Implementacja sieci społecznych do modelu umożliwiłaby analizę, jak decyzje agentów są modyfikowane przez interakcje społeczne. Wprowadzenie tego mechanizmu mogłoby stanowić istotne uzupełnienie przyszłych badań.

IV.2.3 Możliwości standaryzacji

Wyznaczanie terenów zielonych

Aktualna potrzeba ręcznego wyznaczania obszarów zielonych wpływających na użytkowników generuje trudności w ujednoliceniu wyników i ich kalibracji. Dalszy rozwój symulatora powinien uwzględnić automatyzację tego procesu, co umożliwi dokładniejsze odwzorowanie rzeczywistych warunków przestrzennych i scenariuszy różnic funkcjonalnych.

Zautomatyzowanie podziału budynków mieszkalnych względem adresów mieszkań

Ręczny podział budynków mieszkalnych na jednostki mieszkalne i kondygnacje wprowadza ryzyko błędów, które mogą znacząco wpłynąć na wyniki symulacji. W przyszłości należy zautomatyzować ten proces, aby lepiej odzwierciedlać lokalną gęstość zaludnienia i jej wpływ na aktywność mieszkańców.

Wyznaczanie granic obszaru opracowania

Wyznaczanie granic obszaru opracowania w obecnym modelu było prowadzone w sposób arbitralny, co szczególnie uwidoczniło się w przypadku miast chińskich, gdzie ograniczenia danych satelitarnych zmusiły autora do stosowania abstrakcyjnych granic. To podejście wskazuje na potrzebę opracowania bardziej uniwersalnych i standaryzowanych metod określania obszaru opracowania.

Ustandaryzowanie opisu modelu

Opis symulatora nie spełnia standardów stosowanych w modelowaniu agentowym, takich jak protokół ODD (Overview, Design concepts, Details). Wprowadzenie takiego opisu w przyszłych wersjach modelu zwiększyłoby jego przejrzystość i ułatwiło dalsze prace badawcze.

Przygotowanie podkładów mapowych

Aktualna wersja symulatora powoduje konieczność specyficznego przygotowania podkładów mapowych w formacie shapefile. Sieć ścieżek nie może posiadać żadnych ślepych uliczek oraz przeciętych linii, a każde skrzyżowanie musi się składać wyłącznie w trzech zbiegających się ścieżkach. Niezastosowanie się do wytycznych skutkuje błędnym działaniem programu. Powoduje to zagrożenie dla użytkowników, którzy nie są świadomi ograniczeń i mogą otrzymać błędne wyniki symulacji nie wiedząc o tym. Dlatego na obecnym etapie wszelkie próby użycia symulatora na innych lokalizacjach powinny być poprzedzone wnikliwą analizą danych GIS w celu uniknięcia wspomnianego zagrożenia.

IV.3 Opis dotychczasowego wykorzystania symulatora

Opracowany symulator SAS wspiera procesy projektowania urbanistycznego poprzez analizę wpływu przestrzeni publicznych na aktywność fizyczną mieszkańców. Jego potencjalne zastosowania obejmują dostarczanie lokalnym samorządom narzędzi do oceny skutków inwestycji w miejską infrastrukturę rekreacyjną oraz optymalizację rozwiązań projektowych. Obecna wersja narzędzia została wykorzystana we współpracy z Zarządem Zieleni Miejskiej we Wrocławiu, wspierając proces decyzyjny i wzmacniając argumentację na rzecz określonych – korzystniejszych inwestycji. Symulator umożliwia ocenę zarówno efektywności wariantów projektowych, jak i lokalizacji inwestycji, przyczyniając się do poprawy jakości życia mieszkańców.

SAS został udostępniony studentom w ramach koła naukowego Smart City Hub na Politechnice Wrocławskiej, gdzie wspiera analizy przypadków w pracach inżynierskich i magisterskich, między innymi Antona Semirenko i Kacpra Kaczmarka.

IV.4 Wnioski

Zaprezentowane badania, podzielone na studia literatury przedmiotu w części teoretycznej oraz proces budowy symulatora w części praktycznej, zaprezentowany bliżej także w aneksach, pozwalają na sformułowanie wniosków końcowych.

W pracy zrealizowano założone cele i potwierdzono sformułowane tezy. Główny cel, jakim było wykazanie możliwości poprawy kondycji zdrowotnej społeczeństwa dzięki zwiększeniu efektywności rekreacyjnej rozwiązań przestrzennych w miastach, został osiągnięty. Opracowany symulator aktywności spacerowej (SAS) pozwolił na analizę wpływu przestrzeni miejskiej na aktywność fizyczną mieszkańców, co wypełniło lukę w badaniach nad uwarunkowaniami rekreacyjnej aktywności w terenach zurbanizowanych.

Interdyscyplinarna analiza zagadnień z zakresu medycyny, psychologii i symulacji agentowych pozwoliła na określenie uwarunkowań i parametrów niezbędnych do opracowania narzędzia symulacyjnego. Realizacja tego celu przyczyniła się zarówno do osiągnięcia pobocznego celu pracy, jak i uniwersalnego celu, którym było stworzenie kompendium wiedzy z pogranicza czterech dyscyplin. Kompendium to ma służyć dalszemu rozwojowi narzędzi tego typu, wyznaczając kierunki przyszłych badań oraz umożliwiając tworzenie nowych narzędzi symulacyjnych i analizowanie kolejnych przypadków przestrzennych z ich zastosowaniem.

Cel szczegółowy, polegający na wyposażeniu narzędzia w funkcjonalności generowania map i wykresów aktywności fizycznej, został zrealizowany.

Potwierdzono obie tezy pracy. Stworzenie SAS, bazującego na wiedzy z medycyny, psychologii i symulacji komputerowych, okazało się możliwe, a narzędzie umożliwiło ocenę wpływu układu przestrzeni zbudowanej na aktywność fizyczną. Wyniki symulacji cechowały się stabilnością i powtarzalnością, co umożliwiło jednoznaczną ocenę porównawczą różnych wariantów projektowych oraz rzetelną ocenę projektów urbanistycznych.

Dla większej spójności i czytelności wywodu, większość eksperymentów związanych z częścią praktyczną pracy została przeniesiona do aneksów, zawartych w osobnym tomie.

Przeprowadzone badania wskazały również potencjalne kierunki rozwoju oraz możliwe rozszerzenie funkcjonalności symulatora aktywności spacerowej (SAS) o analizę innych aspektów ruchu pieszego czy zastosowanie go do nowych zagadnień związanych z mobilnością miejską.

Biorąc pod uwagę aktualność i problematykę pracy oraz poziom realizacji celów i tez dysertacji, można stwierdzić, że praca wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny architektura i urbanistyka, proponując nowatorskie narzędzie wspierające kreowanie prozdrowotnego środowiska miejskiego.

V. Słownik pojęć

Agent i populacja agentów

Agent to indywidualna jednostka w modelu symulacyjnym, która podejmuje decyzje i wchodzi w interakcje z innymi agentami lub środowiskiem. Populacja agentów to zbiór wszystkich takich jednostek w danym systemie.

Atraktor

Atraktor to element w przestrzeni, które jest atrakcyjny i przyciąga ruch spacerowy.

Automatyzm behawioru

Automatyzm behawioru to reakcje, które jednostka wykonuje bez świadomego zaangażowania. Są to nawyki lub wyuczone zachowania, które mogą być automatyczne i nie wymagają świadomej decyzji.

Behawior

Behawior to obserwowalne zachowanie jednostki. W psychologii behawioralnej odnosi się do sposobu, w jaki organizmy reagują na bodźce w środowisku.

Behawioryzm

Pojęcie behawioryzmu (Watson J. B., 2017; Skinner, Radical Behaviorism, 2014) wywodzi się z języka angielskiego – od słowa behavior, które oznacza zachowanie. W dziedzinie psychologii, behawioryzm to kierunek, który wyłonił się na początku XX wieku, jako teoria zachowania, teoria s-r (skrót od stimulus-reaction) lub inaczej teoria bodźca-reakcji. Behawioryści skupiali się głównie na badaniu zachowań człowieka w różnorodnych sytuacjach. Behawioryzm rozwinął się głównie w Stanach Zjednoczonych i stanowił przeciwwagę dla ówczesnych dominujących nurtów psychologicznych, które opierały się na analizie treści świadomości (jak np. psychoanaliza), do których dostęp miał wyłącznie sam podmiot. W behawioryzmie zdefiniowano zachowanie jako zmiany fizjologiczne i reakcje ruchowe, będące odpowiedzią organizmu na konkretne zdarzenia (czyli bodźce, jakie wywołują się zarówno z otoczenia społecznego, jak i naturalnego). Psychologia behawioralna zakłada, że należy badać powiązania pomiędzy reakcjami a bodźcami. Cel tego rodzaju badań to zdolność przewidywania i ostatecznie wpływania na zachowanie. W dalszej części pracy przyjęto przytoczoną teorię jako podstawę do dalszego przeglądu stanu badań.

Chodzenie w celach transportowych

Czyli tak zwany „commuting”, chodzenie w celu zaspokojenia innych potrzeb życiowych, takich jak praca, szkoła, zakupy.

Chodzenie rekreacyjne

Chodzenie dla chodzenia, w celach wyłącznie relaksacyjnych, nie wiążące się z wypełnianiem pozostałych obowiązków życiowych.

Infrastruktura miejska

W pracy to pojęcie znajduje się w kontekście wszelkiej infrastruktury transportu pieszego, w postaci dróg, chodników, ścieżek i ciągów pieszo-rowerowych.

Kalibracja wyników

Kalibracja wyników polega na dostosowaniu parametrów modelu symulacyjnego tak, aby jak najdokładniej odzwierciedlał rzeczywistość. Kalibracja zwiększa wiarygodność prognoz symulatora.

Korzystność zdrowotna

Korzystność zdrowotna odnosi się do pozytywnego wpływu określonego działania, zachowania lub interwencji na zdrowie jednostki lub grupy. Może dotyczyć zarówno fizycznego i psychicznego dobrostanu, jak i ekonomicznych korzyści wynikających z zapobieganiu konieczności hospitalizacji.

Krok czasowy

Krok czasowy w symulacjach agentowych to najmniejsza, z góry zdefiniowana jednostka czasu, w której wykonywane są wszystkie operacje i interakcje w ramach symulacji. W każdym kroku czasowym agenci (indywidualne jednostki symulacji) podejmują decyzje, aktualizują swoje stany i wchodzi w interakcje z otoczeniem oraz innymi agentami, zgodnie z regułami określonymi w modelu.

Krzywa uczenia się

Krzywa uczenia to wykres przedstawiający szybkość przyswajania nowych informacji w czasie.

Krzywa zapominania

Krzywa zapominania pokazuje, jak szybko nabyta wiedza lub umiejętności są traczone w czasie, jeśli nie są regularnie utrwalane.

Makroskala

Makroskala odnosi się do dużych, zbiorowych zjawisk lub procesów, które obejmują wielu agentów lub wielkie przestrzenie. W symulacji może to odnosić się do ogólnej dynamiki całej populacji, w przeciwieństwie do jednostkowych działań agentów.

Mikrointerakcja

Mikrointerakcja to krótka, ograniczona interakcja między dwoma agentami lub między agentem a systemem, często o małym zasięgu czasowym lub przestrzennym, ale istotna dla zrozumienia dynamiki systemu.

Model (symulacyjny)/ symulator/narzędzie (symulacyjne)/model agentowy

Autor używa w pracy zamiennie powyższych pojęć. Model symulacyjny to narzędzie analityczne, które służy do badania złożonych zjawisk poprzez odtworzenie świata rzeczywistego w świecie wirtualnym. Symulacje komputerowe pozwalają na imitacje

rzeczywistych procesów, umożliwiając badanie ich dynamiki w różnych scenariuszach bez konieczności przeprowadzania eksperymentów w rzeczywistości.

Modelowanie agentowe (wieloagentowe, Agent-Based Modeling, ABM)

Modelowanie agentowe to technika symulacji komputerowej, która modeluje systemy złożone jako zbiór autonomicznych, interaktywnych agentów. Każdy agent w modelu działa według określonych reguł i podejmuje decyzje na podstawie lokalnych informacji oraz interakcji z innymi agentami i otoczeniem. Modelowanie agentowe jest stosowane w szczególności do badania systemów, w których globalne zachowania wynikają z interakcji na poziomie jednostkowym.

Motywacja pozytywna

Motywacja pozytywna to proces psychologiczny, w którym jednostka dąży do osiągnięcia celu lub wykonania działania, kierując się oczekiwaniem nagrody, korzyści lub przyjemności związanej z rezultatem. Jest to mechanizm napędzający zachowanie, oparty na perspektywie uzyskania pozytywnych efektów, takich jak satysfakcja, uznanie, poprawa samopoczucia czy zdobycie określonych dóbr. W kontekście warunkowania pozytywnego motywacja pozytywna wynika z powtarzających się doświadczeń, gdzie określone działania są wzmacniane przez przyjemne konsekwencje, co zwiększa prawdopodobieństwo ich powtórzenia w przyszłości.

Narzędzie symulacyjne

Autor używa w pracy pojęcia „model symulacyjny” zamiennie z pojęciem „symulator” oraz „narzędzie symulacyjne”. Patrz „Model (symulacyjny)”.

Parametr szybkości uczenia się L

Parametr szybkości uczenia się L opisuje, jak szybko agenci dostosowują swoje zachowanie w odpowiedzi na bodźce zewnętrzne.

Perypatetyk

Perypatetyk to osoba, która porusza się pieszo, często w celach edukacyjnych lub rekreacyjnych. Termin pochodzi od starożytnej szkoły filozofii Arystotelesa, której uczniowie dyskutowali na temat filozofii, spacerując.

Pętla decyzyjne

Pętla decyzyjna w modelowaniu agentowym to cykliczny proces, w którym agenci symulacji dokonują wyborów na podstawie dostępnych informacji o swoim stanie wewnętrznym, otoczeniu i interakcjach z innymi agentami. W każdej iteracji pętli agenci: Odbierają informacje – gromadzą dane o bieżącej sytuacji z otoczenia i/lub od innych agentów. Analizują dane – przetwarzają zebrane informacje w kontekście swoich celów, reguł działania i strategii. Podejmują decyzje – wybierają określone działania w odpowiedzi na zidentyfikowane okoliczności. Wykonują działania – wdrażają wybrane decyzje, wpływając na otoczenie lub inne jednostki. Pętla decyzyjna powtarza się w każdym kroku czasowym symulacji, umożliwiając dynamiczne i adaptacyjne zachowanie agentów oraz ewolucję całego systemu w czasie.

Podmioty i przedmioty w symulatorze

W symulacji, podmioty to ludzie, którzy podejmują decyzje i wpływają na symulowane środowisko, natomiast przedmioty to pasywne elementy, które są częścią tego środowiska, ale nie podejmują samodzielnych działań, czyli ścieżki, tereny zielone i adresy zamieszkania/budynki.

Prawdopodobieństwo graniczne

Prawdopodobieństwo graniczne to przyjęta z góry wartość maksymalna lub minimalna, którą może osiągnąć wybrany parametr prawdopodobieństwa w równaniu.

Proces uczenia

Proces uczenia się ze stopniowo kumulowanych pozytywnych doświadczeń spacerowych agenta został opisany w algorytmie za pomocą wzoru na motywację (M). Motywacja to wewnętrzna lub zewnętrzna siła napędzająca jednostkę do podejmowania działań związanych z zdobywaniem wiedzy, umiejętności lub doświadczeń. Motywacja określa poziom zaangażowania, wytrwałości i kierunku wysiłków podejmowanych podczas nauki.

Proksemika

Nauka o stosunkach przestrzennych między osobami oraz między osobami a środowiskiem zewnętrznym. Ojcem proksemiki był E. T. Hall.

Ruch transportowy i rekreacyjny

Ruch transportowy to przepływ ludzi lub towarów w celu przemieszczenia się z jednego miejsca do drugiego, natomiast ruch rekreacyjny odnosi się do aktywności fizycznych podejmowanych w celach rekreacyjnych, takich jak spacer czy jazda na rowerze.

Schemat Bernoulliego

Schemat Bernoulliego to model matematyczny, w którym wykonywana jest seria niezależnych eksperymentów, z których każdy ma dwa możliwe wyniki (np. sukces i porażka), z prawdopodobieństwem takim samym dla każdego eksperymentu.

Spacer rekreacyjny

Ruch pieszy, niezwiązany z zaspokajaniem innych potrzeb niż rekreacyjne.

Symulator

Autor używa w pracy pojęcia „model symulacyjny” zamiennie z pojęciem „symulator” oraz „narzędzie symulacyjne”. Patrz „Model (symulacyjny)”.

Systemowe podejście

To w rozumieniu autora metoda działania oparta na holistycznym spojrzeniu na projektowanie i planowanie, uwzględniając zależności i interakcje pomiędzy różnymi elementami przestrzeni, które wykraczają daleko poza standardowy obszar opracowania.

Tereny rekreacyjne

W pracy tereny rekreacyjne są rozumiane jako publiczne tereny spacerowe, a za główny indikator uznano obecność zieleni (ale model może badać również tereny niezielone).

Walidacja

To proces testowania użyteczności narzędzia na różnych zestawach danych w celu sprawdzenia czy symulator modeluje założone zjawiska w sposób zbliżony do rzeczywistości i czy może być używany do podejmowania wiarygodnych decyzji.

Weryfikacja

To proces sprawdzenia czy symulator jest poprawnie zbudowany, czy działa zgodnie z założonymi algorytmami i czy nie zawiera błędów technicznych.

Wzmocnienie behawioralne

Wzmocnienie behawioralne to proces, w którym określone zachowanie jest wzmacniane (częściej wykonywane) poprzez pozytywne lub negatywne konsekwencje, które zwiększają lub zmniejszają prawdopodobieństwo jego powtórzenia w przyszłości.

Wzmocnienie/warunkowanie pozytywne i negatywne

Wzmocnienie/warunkowanie pozytywne to proces nagradzania jednostki za określone zachowanie, co zwiększa prawdopodobieństwo jego powtórzenia. Wzmocnienie negatywne to proces, w którym usunięcie nieprzyjemnego bodźca zwiększa szansę na powtórzenie danego zachowania.

VI. Spis ilustracji

Rysunek 1 Wykres przedstawiający spadek jakości życia po około 40 latach życia; źródło: Torrance, 1987, str 593.	5
Rysunek 2 Schemat procesu myślowego, który posłużył do wyznaczenia wytycznych dla narzędzia symulacyjnego; źródło: własne.	7
Rysunek 3 Schemat struktury pracy; źródło: własne.	12
Rysunek 4 Wiodące przyczyny śmierci, stan na rok 2000 i 2019, według WHO Global Health Estimates; źródło: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death (03.07.2023).	15
Rysunek 5 Prawdopodobieństwo zgonu z jakiegokolwiek przyczyny w zależności od stanu aktywności fizycznej oraz stadium cukrzycy w okresie od 1 stycznia 1984 do 31 grudnia 1996 (Smith, Wingard, Smith, Kritz-Silverstein i Barrett-Connor, 2007); źródło: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/instance/2542980/bin/nihms-23383-f0001.jpg (17.08.2023).	18
Rysunek 6 Krzywa uczenia się; źródło: https://i0.wp.com/kierownikprojektu.com/wp-content/uploads/2017/04/krzywa-3.jpg?resize=480%2C314&ssl=1 (23.02.2022).	28
Rysunek 7 Krzywa zapominania Ebbinghausa, prezentująca procent zapamiętanych sylab w czasie 30 dni; źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/12/Ebbinghaus_forgetting_Curve_PL.svg/1200px-Ebbinghaus_forgetting_Curve_PL.svg.png (10.02.2021).	29
Rysunek 8 Schematyczny wykres produkcji kortyzolu w zależności od poziomu adrenaliny; źródło: https://www.caremanagementmatters.co.uk/wp-content/uploads/2020/11/Adrenaline-and-Cortisol-graph.jpg (20.03.2020).	33
Rysunek 9 Podział na cztery dystanse według teorii E. T. Halla; źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b1/Personal_Space_POL.png (18.11.2022).	35
Rysunek 10 Rysunek poglądowy przedstawiający agentów reprezentujących określone elementy rzeczywistości i interakcje między nimi; źródło: https://www.jasss.org/12/1/1/fig1.jpg (23.02.2023).	39
Rysunek 11 Wizualizacja różnych sieci Barabasięgo-Alberta na przykładzie modelu opinii binarnej (tak/nie), gdzie wielkość agenta jest zależna od liczby znajomych danej osoby; źródło: (Sznajd-Weron, Szwabiński i Weron, Is the person-situation debate important for agent-based modeling and vice-versa?, 2014).	40
Rysunek 12 Po lewej prawdziwe zachowanie stada ptaków, po prawej odwzorowanie za pomocą modelu „boidów” Reynoldsa w 2D; źródło: https://www.lemondedupc.fr/assets/uploads/850621ef7244ef17b4253423ea8251ba.png (18.02.2023).	41
Rysunek 13 Stan względnej równowagi systemu dla rosnącej nietolerancji; kolory czerwony i niebieski reprezentują dwie różne rasy, białe miejsca są puste i w zależności od parametrów modelu obserwujemy klastry o różnej wielkości; źródło: (Mingarelli, 2021).	42
Rysunek 14 Mapa obrazująca rozmieszczenie narodowości dla Chicago, stan z 2010 roku; źródło: (Mingarelli, 2021).	43

Rysunek 15 Przykład symulacji dewastacji środowiska przez rabunkową gospodarkę starożytnej cywilizacji Majów (Heckbert, 2013); Na czerwono zaznaczono obszary zdegradowane środowiskowo, na biało obszary na których nie wystąpiła degradacja; źródło: https://www.jasss.org/16/4/11/Figure3.png (25.02.2023).	44
Rysunek 16 Przykład modelu Helbinga zastosowanego do zachowania pieszych w grupie (Huang i inni, 2018); źródło: https://www.mdpi.com/ijgi/ijgi-07-00079/article_deploy/html/images/ijgi-07-00079-g009.png (25.02.2023).	45
Rysunek 17 Eksperyment badający wpływ rodzaju i lokalizacji przeszkody przy wyjściu na zachowanie wychodzącego z pomieszczenia tłumu; źródło: https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0925753518300675-gr2.jpg (26.02.2023).	46
Rysunek 18 Wizualizacja przemieszczania tłumu ludzi w budynku na przykładzie narzędzia Oasys MassMotion; źródło: https://develop3d.com/aec/wp-content/uploads/2015/12/Oasys-MassMotion-8.0-VisionMap.png (26.02.2023).	48
Rysunek 19 Wizualizacja z modelu agentowego z 2013 roku, gdzie widać różną intensywność ruchu pieszego przypisaną do wybranych odcinków drogi (Badland i inni, 2013); źródło: https://www.researchgate.net/profile/Christopher-Pettit/publication/259316108/figure/fig1/AS:195808482861056@1423695788314/Screenshots-showing-the-vector-editing-functionality-of-the-simple-agent-based-modelling_Q320.jpg (26.02.2023).	49
Rysunek 20 Środowisko wirtualne (po prawej) z poszczególnymi warstwami i funkcjami (po lewej) (Cheliotis, 2020); źródło: https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0198971519302261-gr1.jpg (21.02.2023).	50
Rysunek 21 Schemat struktury rozdziału III; źródło: własne.	57
Rysunek 22 Schemat działania modelu agentowego opartego na procesie uczenia się, który jest warunkowany przez interakcję z otaczającym światem; źródło: własne.	59
Rysunek 23 Schemat algorytmu przyrostu motywacji, z M+ (przyrostem motywacji) oraz M0 (zero, brak przyrostu); źródło: własne.	63
Rysunek 24 Schemat przedstawiający przyjęte wartości maksymalne, minimalne i średnie dla czasu aktywności fizycznej; źródło: własne.	65
Rysunek 25 Schemat procedury działania prototypowego narzędzia opartego na modelu agentowym; źródło: własne.	67
Rysunek 26 Nowy Dwór, trzy warianty rozwiązania dojść do parku: Variant I (stan istniejący); Variant II (dodanie przejścia pod torami); Variant III (przejście pod torami bez przejścia w istniejącej lokalizacji). Adresy zamieszkania są zróżnicowane za pomocą skali odcieni czerwieni, która pokazuje procent mieszkańców danego adresu spacerujących powyżej 30 minut dziennie. Tereny rekreacyjne są oznaczone gamą żółci i zieleni, odpowiadając jasnością liczbę odwiedzających. Na fioletowo zaznaczono główne wejścia do parku; źródło: własne.	68
Rysunek 27 Wykres procenta osób spacerujących powyżej 30 minut dziennie na przestrzeni 365 dni symulacji; źródło: własne.	69
Rysunek 28 Zestawienie 15 miniatur wariantów geometrii parków chińskich; źródło: własne.	71

Rysunek 29 Zestawienie 7 miniatur wykresów (dla 4 chińskich parków) obrazujących hierarchię wyników procenta ludzi spacerujących powyżej 30 minut dziennie; wyniki w większej skali są zawarte w aneksie; źródło: własne.	72
Rysunek 30 Zestawienie wyników pojedynczych symulacji dla Zakrzowa, dla 5 rodzajów klasyfikacji terenów zielonych (A,B,C,D,E), dla trzech różnych wariantów rozbudowy istniejącego parku (I, II, III); Wszystkie wyniki to stan na 365 dzień trwania symulacji dla L=10000, dla populacji równej 4000 agentów; źródło: własne.	74
Rysunek 31 Zestawienie wyników dla Zakrzowa we Wrocławiu w postaci wykresów mieszkańców spacerujących powyżej 30 minut dziennie dla L=1 i L=10000; źródło: własne.	75
Rysunek 32 Wyniki procenta populacji spełniającej wymóg WHO dotyczący 30 minut spaceru dziennie na przestrzeni 365 dni symulacji dla niskich wartości parametru L z przedziału od 1 do 100, w zestawieniu z krzywą zapomnienia Ebbinghausea; źródło: własne.	76
Rysunek 33 Wyniki % osób spełniających wymóg WHO dotyczący 30 minut spaceru dziennie dla L=10000 w zestawieniu z przykładową krzywą uczenia się (https://i0.wp.com/kierownikprojektu.com/wp-content/uploads/2017/04/krzywa-3.jpg?resize=480%2C314&ssl=1 ; (02.03.2023); źródło: własne.	77
Rysunek 34 Mapy aktywności fizycznej dla wybranych obszarów; odcieniami błękitu oznaczono procent mieszkańców danego adresu, którzy spacerują minimum 30 minut dziennie; czarne adresy to zagrożenie zdrowia; źródło: własne.	78
Rysunek 35 Zestawienie wpływu różnych sposobów klasyfikacji terenów zielonych (A-E) na wyniki symulacji dla dwóch różnych wariantów przestrzennych rozbudowy istniejącego parku, gdzie wariant I to stan istniejący; źródło: własne.	80
Rysunek 36 Schemat struktury Aneksów II i III oraz rozdziału IV; źródło: własne.	81

VII. Bibliografia

- Abellán, J. (2017). *Water supply and sanitation services in modern Europe: developments in 19th-20th centuries*. INTERNATIONAL CONGRESS OF THE SPANISH ASSOCIATION OF ECONOMIC HISTORY (Vol. 12, pp. 6-9).
- Abelt, K. i McLafferty, S. (2017). Green streets: urban green and birth outcomes. *International journal of environmental research and public health*, 14(7), 771.
- Achtien, R., van Lieshout, J., Wensing, M., van der Sanden, M. N. i Staal, J. B. (2019). Symptoms of depression are associated with physical inactivity but not modified by gender or the presence of a cardiovascular disease; a cross-sectional study. *BMC cardiovascular disorders*, 19, strony 1-7.
- Ackerknecht, E. H. (1965). *History and Geography of the Most Important Diseases*. History and Geography of the Most Important Diseases.
- Akpama, J. (2022). *Organized Brisk Walking Exercise and Its Effect on Depression in Adults (Doctoral dissertation, University of Massachusetts Global)*. Pobrano 2 11, 2023 z lokalizacji <https://www.proquest.com/openview/0ff99a991e7f3e3f0be4c2748619ed48/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Alaliyat, S., Yndestad, H. i Sanfilippo, F. (2014). Optimisation Of Boids Swarm Model Based On Genetic Algorithm And Particle Swarm Optimisation Algorithm (Comparative Study). In *ECMS*, strony 643-650.
- Ali, A. M. i Kunugi, H. (2020). COVID-19: A pandemic that threatens physical and mental health by promoting physical inactivity. *Sports Medicine and Health Science*, 2(4), strony 221-223.
- Alter, A. (2017). *Irresistible: The Rise of Addictive Technology and the Business of Keeping Us Hooked*. Penguin Press.
- AmericanDiabetesAssociation. (2023). *diabetes.org*. Pobrano 2 11, 2023 z lokalizacji <https://diabetes.org/healthy-living/fitness/benefits-walking>
- AmericanHeartAssociationEPI. (2020, 3 20). *For older adults, more physical activity could mean longer, healthier lives*. Pobrano z lokalizacji <https://newsroom.heart.org/news/for-older-adults-more-physical-activity-could-mean-longer-healthier-lives?preview=4222>
- Amistadi, L., Balducci, V., Bradecki, T., Prandi, E., & Schröder, U. (Eds.). (2021). *Mapping urban spaces: Designing the European city*. Routledge.
- Anderson, R. B. (1997). Artifactual power curves in forgetting. *Memory & Cognition*, 25, strony 724-730.
- Arsanjani, J. J. (2013). Spatiotemporal simulation of urban growth patterns using agent-based modeling: The case of Tehran. *Cities*, 32, strony 33-42.
- Assenza, T. G. (2015). Emergent dynamics of a macroeconomic agent based model with capital and credit. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 50, strony 5-28.
- Association, A. D. (2003). Physical activity/exercise and diabetes mellitus. *Diabetes care*, 26(suppl_1), strony 73-77.
- Ayotte, B. J., Margrett, J. A. i Hicks-Patrick, J. (2010). Physical activity in middle-aged and young-old adults: the roles of self-efficacy, barriers, outcome expectancies, self-

- regulatory behaviors and social support. *Journal of health psychology*, 15(2), strony 173-185.
- Aziz, H. M., Park, B., Morton, A., Stewart, R., Hilliard, M. i Maness, M. (2018). A high resolution agent-based model to support walk-bicycle infrastructure investment decisions: A case study with New York City. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 86, strony 280-299.
- BaĆ, Z., (2018). Theory of Habitat: the Contemporary Context. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*.
- BaĆ, A. (2014). Idea zrównoważenia i jej wybrane przejawy. *Architectus*.
- Badland, H., White, M., MacAulay, G., Eagleson, S., Mavoa, S., Pettit, C. i Giles-Corti, B. (2013). Using simple agent-based modeling to inform and enhance neighborhood walkability. *Int J Health Geogr* 12, 58 (2013).
- Balcerzak, J., Cierniak-Piotrowska, M., Hausman-Czerwińska, J., Kostrzewa, Z., Medolińska, K. i Morze, M. (2017). *ATLAS DEMOGRAFICZNY POLSKI*. Warszawa: Druk Zakład Wydawnictw Statystycznych.
- Bancroft, C., Joshi, S., Rundle, A., Hutson, M., Chong, C., Weiss, C. C. i ... & Lovasi, G. (2015). Association of proximity and density of parks and objectively measured physical activity in the United States: A systematic review. *Social science & medicine*, 138, strony 22-30.
- Barabási, A. L. i Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286(5439), strony 509-512.
- Barnes, D. S. (2006). *The great stink of Paris and the nineteenth-century struggle against filth and germs*. JHU Press.
- Bates, J. H. (1993). The history of tuberculosis as a global epidemic. *The Medical Clinics of North America*, 77(6), strony 1205-1217.
- Bauman, A. E., Reis, R. S., Sallis, J. F., Wells, J. C., Loos, R. J., Martin, B. W. i Group, L. P. (2005). The significance of parks to physical activity and public health: a conceptual model. *American Journal of Preventive Medicine*, 28, strony 159-168.
- Bedimo-Rung, A. L., Mowen, A. J. i Cohen, D. A. (2005). The significance of parks to physical activity and public health: a conceptual model. *American journal of preventive medicine*, 28(2), strony 159-168.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the national academy of sciences*, 99(suppl_3), strony 7280-7287.
- Bower, J. (2006). Management of cancer-related fatigue. *Clinical advances in hematology & oncology: H&O*, 4(11), strony 828-829.
- Brownson, R. C., Hoehner, C. M., Day, K., Forsyth, A. i & Sallis, J. F. (2009). Measuring the built environment for physical activity: state of the science. *American journal of preventive medicine*, 36(4), strony 99-123.
- Brush, S. G. (1967). History of the Lenz-Ising model. *Reviews of modern physics*, 39(4), 883.
- Burrell, T. (2016). Force of habit. *New Scientist*, 229(3056), strony 30-34.
- Bushman, B. A. (2019). Physical activity guidelines for Americans: The relationship between physical activity and health. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 23(3), strony 5-9.

- Caillou, P., Gaudou, B., Grignard, A., Truong, C. Q. i Taillandier, P. (2017). A simple-to-use BDI architecture for agent-based modeling and simulation. *In Advances in Social Simulation 2015*, strony 15-28.
- Campbell, K. L., Winters-Stone, K., Wiskemann, J., May, A. M., Schwartz, A. L., Courneya, K. S. i ... & Schmitz, K. H. (2019). Exercise guidelines for cancer survivors: consensus statement from international multidisciplinary roundtable. *Medicine and science in sports and exercise*, 51(11), 2375.
- Campbell, M. (2005). What tuberculosis did for modernism: the influence of a curative environment on modernist design and architecture. *Medical history*, 49(4), strony 463-488.
- Cannioto, R., LaMonte, M. J., Risch, H. A., Hong, C. C., Sucheston-Campbell, L. E., Eng, K. H. i ... & Moysich, K. B. (2016). Chronic recreational physical inactivity and epithelial ovarian cancer risk: evidence from the Ovarian Cancer Association Consortium. *Cancer epidemiology, biomarkers & prevention*, 25(7), strony 1114-1124.
- Carrillo-Álvarez, E., Kawachi, I. i Riera-Romaní, J. (2019). Neighbourhood social capital and obesity: a systematic review of the literature. *Obesity reviews*, 20(1), strony 119-141.
- Cheliotis, K. (2020). An agent-based model of public space use. *Computers, Environment and Urban Systems*, 81, 101476.
- Chokhachian, A., Santucci, D. i Auer, T. (2017). A human-centered approach to enhance urban resilience, implications and application to improve outdoor comfort in dense urban spaces. *Buildings*, 7(4), 113.
- Christiana, R. W. (2017). The Role of Competition in Leisure-Time Physical Activity Among Middle School Youth: Implications for Park and Recreation Professionals. *Journal of Park and Recreation Administration*, 35(3).
- Chu, I. H., Buckworth, J., Kirby, T. E. i Emery, C. F. (2009). Effect of exercise intensity on depressive symptoms in women. *Mental Health and Physical Activity*, 2(1), strony 37-43.
- Chu, Y., Liu, Z., Liu, T., Zhao, Y. i Chai, Y. (2022). Seismic evacuation simulation in a dynamic indoor environment. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 33(3-4), e2074.
- Cipra, B. A. (1987). An introduction to the Ising model. *The American Mathematical Monthly*, 94(10), , strony 937-959.
- Comito, T. (1971). Renaissance gardens and the discovery of paradise. *Journal of the History of Ideas*, 32(4), strony 483-506.
- Cotter, K. A. i Lachman, M. E. (2010). No strain, no gain: psychosocial predictors of physical activity across the adult lifespan. *Journal of Physical Activity and Health*, 7(5), strony 584-594.
- Crooks, A., Croitoru, A., Lu, X., Wise, S., Irvine, J. i & Stefanidis, A. (2015). Walk This Way: Improving Pedestrian Agent-Based Models through Scene Activity Analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(3), strony 1627–1656.
- Cubukcu, E. (2013). Walking for sustainable living. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 85, strony 33-42.

- Cunningham, C., O'Sullivan, R., Caserotti, P. i Tully, M. A. (2020). Consequences of physical inactivity in older adults: A systematic review of reviews and meta-analyses. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 30(5), strony 816-827.
- Curigliano, G., Cardinale, D., Dent, S., Criscitiello, C., Aseyev, O., Lenihan, D. i Cipolla, C. M. (2016). Cardiotoxicity of anticancer treatments: epidemiology, detection, and management. *CA: a cancer journal for clinicians*, 66(4), strony 309-325.
- Dadvand, P., Nieuwenhuijsen, M. J., Esnaola, M., Forns, J., Basagaña, X., Alvarez-Pedrerol, M. i Sunyer, J. (2015). Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(26), strony 7937-7942.
- Daniel, T. M. (1994). History of tuberculosis. *Tuberculosis: pathogenesis, protection, and control*, strony 13-24.
- Day, R. (2008). Local environments and older people's health: dimensions from a comparative qualitative study in Scotland. *Health and Place*, 14, strony 299-312.
- De Sousa, R. A., Rocha-Dias, I., de Oliveira, L. R., Improtta-Caria, A. C., Monteiro-Junior, R. S. i Cassilhas, R. C. (2021). Molecular mechanisms of physical exercise on depression in the elderly: a systematic review. *Molecular Biology Reports*, 48, strony 3853-3862.
- Dickinson, P., Gerling, K., Hicks, K., Murray, J., Shearer, J. i Greenwood, J. (2019). Virtual reality crowd simulation: effects of agent density on user experience and behaviour. *Virtual Reality*, 23, strony 19-32.
- Dong, H. Z. (2019). State-of-the-art pedestrian and evacuation dynamics. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 21(5), strony 1849-1866.
- Dong, H., Zhou, M., Wang, Q., Yang, X. i Wang, F. Y. (2019). State-of-the-art pedestrian and evacuation dynamics. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 21(5), strony 1849-1866.
- Drogoul, A., Huynh, N. Q. i Truong, Q. C. (2016). Coupling environmental, social and economic models to understand land-use change dynamics in the Mekong Delta. *Frontiers in environmental science*, 4, 19.
- Eaton, S. B., Konner, M. i Shostak, M. (1988). Stone agers in the fast lane: chronic degenerative diseases in evolutionary perspective. *The American journal of medicine*, 84(4), strony 739-749.
- eg. (brak daty).
- Elsawy, B. i Higgins, K. (2010). Physical activity guidelines for older adults. *Am Fam Physician*. 2010;81(1), strony 55–9.
- Erickson, K. I. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the national academy of sciences*, 108(7), strony 3017-3022.
- Falck, R. S.-A. (2017). What is the association between sedentary behaviour and cognitive function? A systematic review. *British journal of sports medicine*, 51(10), strony 800-811.
- Ferlay, J., Colombet, M., Soerjomataram, I., Parkin, D. M., Piñeros, M., Znaor, A. i Bray, F. (2021). Cancer statistics for the year 2020: An overview. *International journal of cancer*, 149(4), strony 778-789.
- Ferrari, A. J., Charlson, F. J., Norman, R. E., Patten, S. B., Freedman, G., Murray, C. J. i ... & Whiteford, H. A. (2013). Burden of depressive disorders by country, sex, age, and year:

- findings from the global burden of disease study 2010. *PLoS medicine*, 10(11), e1001547.
- Fisher, K. J., Li, F., Michael, Y. i Cleveland, M. (2004). Neighborhood-level influences on physical activity among older adults: a multilevel analysis. *Journal of aging and physical activity*, 12(1), strony 45-63.
- Foster, C., Hillsdon, M. i Thorogood, M. (2004). Environmental perceptions and walking in English adults. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 58(11), strony 924-928.
- Foster, S., Giles-Corti, B. i Knuiman, M. (2014). Does fear of crime discourage walkers? A social-ecological exploration of fear as a deterrent to walking. *Environment and Behavior*, 46(6), strony 698-717.
- Funk, M. i Laurette Taylor, E. (2013). Pedometer-based walking interventions for free-living adults with type 2 diabetes: a systematic review. *Current diabetes reviews*, 9(6), strony 462-471.
- Furley, D. J. (2016). *Peripatetic school*. Oxford Research Encyclopedia of Classics.
- García, J. A. i Ruiz, B. (2015). Exploring the role of time perspective in leisure choices: What about the balanced time perspective? *Journal of Leisure Research*, 47(5), strony 515-537.
- Gardiner, J., Oben, J. i Sutcliffe, A. (2021). Obesity as a driver of international differences in COVID-19 death rates. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 23(7), strony 1463-1470.
- Gatrell, A. C. (2013). Therapeutic mobilities: walking and ‘steps’ to wellbeing and health. *Health & place*, 22, strony 98-106.
- Gaudou, B., Huynh, N. Q., Philippon, D., Brugière, A., Chapuis, K., Taillandier, P. i ... & Drogoul, A. (2020). Comokit: A modeling kit to understand, analyze, and compare the impacts of mitigation policies against the covid-19 epidemic at the scale of a city. *Frontiers in public health*, 8, 563247.
- Gawlak, A., Matuszewska, M., & Ptak, A. (2021). Inclusiveness of Urban space and tools for the assessment of the quality of Urban life—a critical approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), 4519.
- GBD. (2016). *Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years live with disability for 310 diseases and injuries, 1990-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015*. Lancet.
- Glass, A. L. (2016). *Cognition: A neuroscience approach*. Cambridge: Cambridge University Press.
- GlobalBurdenofDisease. (2016). *Mortality and Causes of Death Collaborators. Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015*. Lancet.
- Gordan, M. &. (2014). A review of BF Skinner’s ‘Reinforcement Theory of Motivation’. *International journal of research in education methodology*, 5(3), strony 680-688.
- Gorrini, A., Bandini, S. i Sarvi, M. (2014). Group dynamics in pedestrian crowds: Estimating proxemic behavior. *Transportation research record*, 2421(1), strony 51-56.
- Hall, E. T. (1963). A system for the notation of proxemic behavior. *American anthropologist*, 65(5), strony 1003-1026.

- Hall, E. T. (1973). *The silent language*. Anchor.
- Handy, S. L., Boarnet, M. G., Ewing, R. i Killingsworth, R. E. (2002). How the built environment affects physical activity: views from urban planning. *American journal of preventive medicine*, 23(2), strony 64-73.
- Hatna, E. i Benenson, I. (2012). The Schelling model of ethnic residential dynamics: Beyond the integrated-segregated dichotomy of patterns. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 15(1), 6.
- Haupt, P. (2014). Architecture vs. Nature—a reinvented relationship. *WIT Transactions on Ecology on the Built Environment*, 142, 37-45.
- Heath, G. W., Parra, D. C., Sarmiento, O. L., Andersen, L. B., Owen, N., Goenka, S. i Group, .. &. (2012). Evidence-based intervention in physical activity: lessons from around the world. *The lancet*, 380(9838), strony 272-2.
- Hebb, D. O. (2005). The organization of behavior: A neuropsychological theory. *Psychology press*.
- Heckbert, S. (2013). MayaSim: an agent-based model of the ancient Maya social-ecological system. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 16(4), 11.
- Helbing, D. i Molnar, P. (1995). Social force model for pedestrian dynamics. *Physical review E*, 51(5), 4282.
- Helbing, D., IJ, F., P, M. i T, V. (2002). Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations. *Pedestr Evacuation Dyn* 21(2), strony 21–58.
- Hu, F. B. i Manson, J. E. (2003). Walking: the best medicine for diabetes? *Archives of Internal Medicine*, 163(12), strony 1397-1398.
- Hu, F. i Manson, J. (2003). Walking: The Best Medicine for Diabetes? *Arch Intern Med*, 2003, 163(12), strony 1397–1398.
- Hu, Y., Liu, X., Wang, F. i Cheng, C. (2012). An overview of agent-based evacuation models for building fires. In *Proceedings of 2012 9th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control* (strony 382-386). IEEE.
- Huang, L., Gong, J., Li, W., Xu, T., Shen, S., Liang, J. i ... & Sun, J. (2018). Social force model-based group behavior simulation in virtual geographic environments. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(2), 79.
- Hull, C. L. (1930). Knowledge and purpose as habit mechanisms. *Psychological review*, 37(6), 511.
- Jaber, M. Y. (2016). *Learning curves: Theory, models, and applications*. CRC Press.
- Kaczmarek, L. D., Misiak, M., Behnke, M., Dziekan, M. i Guzik, P. (2017). The Pikachu effect: Social and health gaming motivations lead to greater benefits of Pokémon GO use. *Computers in Human Behavior*, 75, strony 356-363.
- Karimi, M. i Brazier, J. (2016). Health, health-related quality of life, and quality of life: what is the difference? *Pharmacoeconomics*, 34, strony 645-649.
- Karssemeijer, E. G. (2019). Exergaming as a physical exercise strategy reduces frailty in people with dementia: a randomized controlled trial. *Journal of the American Medical Directors Association*, 20(12), strony 1502-1508.
- Kaushal, N. R. (2017). The role of habit in different phases of exercise. *British Journal of Health Psychology*, 22(3), strony 429-448.

- Keeney, R. L. (2008). Personal decisions are the leading cause of death. *Operations Research*, 56(6), strony 1335-1347.
- Kemperman, A. D. i Timmermans, H. J. (2011). Children's recreational physical activity. *Leisure Sciences*, 33(3), strony 183-204.
- Kerr, J., Norman, G. J., Sallis, J. F. i Patrick, K. (2008). Exercise aids, neighborhood safety, and physical activity in adolescents and parents. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(7), strony 1244-1248.
- Khamzina, M., Parab, K. V., An, R., Bullard, T. i Grigsby-Toussaint, D. S. (2020). Impact of Pokémon Go on physical activity: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Preventive Medicine*, 58(2), strony 270-282.
- Kim, I., Kim, H., Chang, D., Jung, D. H., Sung, H. G., Park, S. K. i Choi, B. C. (2021). Emergency evacuation simulation of a floating LNG bunkering terminal considering the interaction between evacuees and CFD data. *Safety science*, 140, 105297.
- Konarska, J., Lindberg, F., Larsson, A., Thorsson, S. i Holmer, B. (2014). Transmissivity of solar radiation through crowns of single urban trees—application for outdoor thermal comfort modelling. *Theoretical and applied climatology*, 117, strony 363-376.
- Kosteli, M. C., Williams, S. E. i Cumming, J. (2016). Investigating the psychosocial determinants of physical activity in older adults: A qualitative approach. *Psychology & health*, 31(6), strony 730-749.
- Kremmydas, D. A. (2018). A review of agent based modeling for agricultural policy evaluation. *Agricultural systems*, 164, strony 95-106.
- Kruize, H., van der Vliet, N., Staatsen, B., Bell, R., Chiabai, A., Muiños, G. i ... & Stegeman, I. (2019). Urban Green Space: Creating a Triple Win for Environmental Sustainability, Health, and Health Equity through Behavior Change. *International journal of environmental research and public health*, 16(22), 4403.
- Kubiczek, F. i Jezierski, A. (1994). *Historia Polski w liczbach*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Kulak, T., Pater, M. i Wrzesiński, W. (2007). *Historia Uniwersytetu Wrocławskiego 1702-2002*. Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego.
- Lally, P. v. (2010). How are habits formed: Modelling habit formation in the real world. *European Journal of Social Psychology*, 40(6), strony 998-1009.
- Lally, P. V. (2010). How are habits formed: Modelling habit formation in the real world. *European journal of social psychology*, 40(6), strony 998-1009.
- Lally, P., Van Jaarsveld, C. H., Potts, H. W. i Wardle, J. (2010). How are habits formed: Modelling habit formation in the real world. *European journal of social psychology*, 40(6), strony 998-1009.
- LaMonte, M. J., Blair, S. N. i Church, T. S. (2005). Physical activity and diabetes prevention. *Journal of applied physiology*, 99(3), strony 1205-1213.
- Lautenschlager, N. T. (2008). Effect of physical activity on cognitive function in older adults at risk for Alzheimer disease: a randomized trial. *Jama*, 300(9), strony 1027-1037.
- Lee, S., Lee, C. i & An, J. (2020). Psycho-social correlates of leisure-time physical activity (LTPA) among older adults: A multivariate analysis. *European Review of Aging and Physical Activity*, 17(1), strony 1-7.

- Liu, Q., He, H., Yang, J., Feng, X., Zhao, F. i Lyu, J. (2020). Changes in the global burden of depression from 1990 to 2017: Findings from the Global Burden of Disease study. *Journal of psychiatric research*, 126, strony 134-140.
- Lo, R. H. (2009). Walkability: what is it? *Journal of Urbanism*, 2(2), strony 145-166.
- Lozano, R., Naghavi, M., Foreman, K., Lim, S., Shibuya, K., Aboyans, V. i ... & Remuzzi, G. (2012). Global and regional mortality from 235 causes of death for 20 age groups in 1990 and 2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The lancet*, 380(9859), strony 2095-2128.
- Luo, Y., Zhang, S., Zheng, R., Xu, L. i Wu, J. (2018). Effects of depression on heart rate variability in elderly patients with stable coronary artery disease. *Journal of Evidence-Based Medicine*, 11(4), strony 242-245.
- Lynch, B. M. i Leitzmann, M. F. (2017). An evaluation of the evidence relating to physical inactivity, sedentary behavior, and cancer incidence and mortality. *Current Epidemiology Reports*, 4, strony 221-231.
- Maas, J., Verheij, R. A., Groenewegen, P. P., De Vries, S. i Spreeuwenberg, P. (2006). Green space, urbanity, and health: how strong is the relation? *Journal of epidemiology & community health*, 60(7), strony 587-592.
- Mahan III, J. E., Seo, W. J., Jordan, J. S. i Funk, D. (2015). Exploring the impact of social networking sites on running involvement, running behavior, and social life satisfaction. *Sport Management Review*, 18(2), strony 182-192.
- Manson, J. E., Greenland, P., LaCroix, A. Z., Stefanick, M. L., Mouton, C. P., Oberman, A. i ... & Siscovick, D. S. (2002). Walking compared with vigorous exercise for the prevention of cardiovascular events in women. *New England journal of medicine*, 347(10), strony 716-725.
- Maugeri, G., Castrogiovanni, P., Battaglia, G., Pippi, R., D'Agata, V., Palma, A. i ... & Musumeci, G. (2020). The impact of physical activity on psychological health during Covid-19 pandemic in Italy. *Heliyon*, 6(6), e04315.
- Mazur, J. E. (1978). Learning as accumulation: a reexamination of the learning curve. *Psychological bulletin*, 85(6), 1256.
- Mc Namara, K., Alzubaidi, H. i Jackson, J. K. (2019). Cardiovascular disease as a leading cause of death: how are pharmacists getting involved? *Integrated pharmacy research and practice*, strony 1-11.
- McCormack, G. R., Rock, M., Toohey, A. M. i Hignell, D. (2010). Characteristics of urban parks associated with park use and physical activity: A review of qualitative research. *Health & place*, 16(4), strony 712-726.
- McCormack, G. R., Rock, M., Toohey, A. M. i Hignell, D. (2010). Characteristics of urban parks associated with park use and physical activity: A review of qualitative research. *Health & place*, 16(4), strony 712-726.
- McCoy, B. M. i Wu, T. T. (2014). The two-dimensional Ising model. Courier Corporation.
- McEwen, B. S. i Sapolsky, R. M. (1995). Stress and cognitive function. *Current opinion in neurobiology*, 5(2), strony 205-216.
- Mendonça, G., Cheng, L. A., Mélo, E. N. i de Farias Júnior, J. C. (2014). Physical activity and social support in adolescents: a systematic review. *Health education research*, 29(5), strony 822-839.

- Middleton, F. A. (2000). Basal ganglia and cerebellar loops: motor and cognitive circuits. *Brain research reviews*, 31(2-3), strony 236-250.
- Mingarelli, L. (2021, 9 1). *Schelling's Model of Racial Segregation - Implementation and analysis in Python and the emergence of quantisation*. Pobrano z lokalizacji <https://towardsdatascience.com/schellings-model-of-racial-segregation-4852fad06c13>
- MOFFITTCancerCenter. (2020, 6 20). *Tips for Cancer Patients: How to Start Daily Walking Program*. Pobrano 2 11, 2023 z lokalizacji <https://moffitt.org/taking-care-of-your-health/taking-care-of-your-health-story-archive/tips-for-cancer-patients-how-to-start-daily-walking-program/>
- Montag, C. L. (2019). Addictive features of social media/messenger platforms and freemium games against the background of psychological and economic theories. *Computers in Human Behavior*, 107, 106260.
- Morelle, K., Buchecker, M., Kienast, F. i Tobias, S. (2019). Nearby outdoor recreation modelling: An agent-based approach. *Urban Forestry & Urban Greening, Volume 40, 2019*, strony 286-298.
- Müller-Riemenschneider, F., Pereira, G., Villanueva, K., Christian, H., Knuiman, M., Giles-Corti, B. i Bull, F. C. (2013). Neighborhood walkability and cardiometabolic risk factors in Australian adults: an observational study. *BMC public health*, 13, strony 1-9.
- Murre, J. M. (2015). Replication and analysis of Ebbinghaus' forgetting curve. *PloS one*, 10(7), e0120644.
- Murtagh, E. M., Murphy, M. H. i Boone-Heinonen, J. (2010). Walking—the first steps in cardiovascular disease prevention. *Current opinion in cardiology*, 25(5), 490.
- Murtagh, E. M., Nichols, L., Mohammed, M. A., Holder, R., Nevill, A. M. i Murphy, M. H. (2015). The effect of walking on risk factors for cardiovascular disease: an updated systematic review and meta-analysis of randomised control trials. *Preventive medicine*, 72, strony 34-43.
- Nguyen, T. N., Chevaleyre, Y. i Zucker, J. D. (2012). Optimizing the Placement of Evacuation Signs on Road Network with Time and Casualties in case of a Tsunami. In *2012 IEEE 21st International Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises* (strony 394-396). IEEE.
- Nianogo, R. A. i Arah, O. A. (2015). Agent-based modeling of noncommunicable diseases: a systematic review. *American journal of public health*, 105(3), strony e20-e31.
- Olson, S. (2013). *Daily life in a medieval monastery*. ABC-CLIO.
- Omura, J. D., Ussery, E. N., Loustalot, F., Fulton, J. E. i Carlson, S. A. (2019). Peer Reviewed: Walking as an Opportunity for Cardiovascular Disease Prevention. *Preventing chronic disease*, 16.
- Omura, J. D., Ussery, E. N., Loustalot, F., Fulton, J. E. i Carlson, S. A. (2019). Peer Reviewed: Walking as an Opportunity for Cardiovascular Disease Prevention. *Preventing chronic disease*, 16.
- ó Gráda, C. (2010). *Famine: a short history*. Princeton University Press.
- Park, J. H. (2020). Sedentary lifestyle: overview of updated evidence of potential health risks. *Korean journal of family medicine*, 41(6), 365.
- Park, S. H., Petrunoff, N. A., Wang, N. X., van Dam, R. M., Sia, A., Tan, C. S. i Müller-Riemenschneider, F. (2022). Daily park use, physical activity, and psychological stress:

- A study using smartphone-based ecological momentary assessment amongst a multi-ethnic Asian cohort. *Mental Health and Physical Activity*, 22,100440.
- Pawlow, I. P. (1927). *Conditioned reflexes*. London: Oxford University Press.
- Perkins, D. F., Jacobs, J. E., Barber, B. L. i Eccles, J. S. (2004). Childhood and adolescent sports participation as predictors of participation in sports and physical fitness activities during young adulthood. *Youth & Society*, 35(4), strony 495-520.
- Ptak-Wojciechowska, A., Januchta-Szostak, A., Gawlak, A., & Matuszewska, M. (2021). The importance of water and climate-related aspects in the quality of urban life assessment. *Sustainability*, 13(12), 6573.
- Remland, M. S., Jones, T. S. i Brinkman, H. (1991). Proxemic and haptic behavior in three European countries. *Journal of nonverbal behavior*, 15, strony 215-232.
- Reynolds, C. W. (1987). Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. In *Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 25-34).
- Roux, A. V., Evenson, K. R., McGinn, A. P., Brown, D. G., Moore, L., Brines, S. i Jacobs Jr, D. R. (2007). Availability of recreational resources and physical activity in adults. *American journal of public health*, 97(3), strony 493-499.
- Rowinski, R., Dabrowski, A. i Kostka, T. (2015). Gardening as the dominant leisure time physical activity (LTPA) of older adults from a post-communist country. The results of the population-based PolSenior Project from Poland. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 60(3), strony 486-491.
- Sallis, J. F., Cerin, E., Conway, T. L., Adams, M. A., Frank, L. D., Pratt, M. i ... & Owen, N. (2016). Physical activity in relation to urban environments in 14 cities worldwide: a cross-sectional study. *The lancet*, 387(10034), strony 2207-2217.
- Sallis, J. F., Floyd, M. F., Rodríguez, D. A. i Saelens, B. E. (2012). Role of built environments in physical activity, obesity, and cardiovascular disease. *Circulation*, 125(5), strony 729-737.
- Sanderson, B., Littleton, M. i Pulley, L. V. (2002). Environmental, policy, and cultural factors related to physical activity among rural, African American women. *Women & health*, 36(2), strony 73-88.
- Sapolsky, R. M. (1990). Stress in the wild. *Scientific American*, 262(1), strony 116-123.
- Sapolsky, R. M. (2002). *Endocrinology of the stress-response*.
- Sapolsky, R. M. (2004). *Why zebras dont get ulcers The acclaimed guide to stress, stress-related diseases, and coping*. Holt paperbacks.
- Sapolsky, R. M. (2004). *Why zebras don't get ulcers: The acclaimed guide to stress, stress-related diseases, and coping*. Holt paperbacks.
- Sayyd, S. M. i Abuhassna, H. (2023). Factors affecting leisure-time physical activities to promote public health: a systematic literature review. *MOJ Sports Med*, 6(1), strony 7-12.
- Schelling, T. C. (1969). Models of segregation. *The American economic review*, 59(2), strony 488-493.
- Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Currency.

- Semirenko, A. (2022). *Sanatorium Wrocław. Symulacyjne, wieloagentowe badania wpływu dostępności terenów rekreacyjnych na bezpieczeństwo zdrowotne osiedli mieszkaniowych*. Wrocław: Politechnika Wrocławska.
- Shen, W. &. (1999). Agent-based systems for intelligent manufacturing: a state-of-the-art survey. *Knowledge and information systems, 1*, strony 129-156.
- Shiwakoti, N. i Sarvi, M. (2013). Understanding pedestrian crowd panic: a review on model organisms approach. *Journal of transport geography, 26*, strony 12-17.
- Shiwakoti, N. i Sarvi, M. (2013). Understanding pedestrian crowd panic: a review on model organisms approach. . *Journal of transport geography, 26*, strony 12-17.
- Shiwakoti, N. i Sarvi, M. (2013). Understanding pedestrian crowd panic: a review on model organisms approach. *Journal of transport geography, 26*, 12-17.
- Shiwakoti, N., Shi, X. i Ye, Z. (2019). A review on the performance of an obstacle near an exit on pedestrian crowd evacuation. *Safety science, 113*, strony 54-67.
- Shooshtarian, S., Rajagopalan, P. i Sagoo, A. (2018). A comprehensive review of thermal adaptive strategies in outdoor spaces. *Sustainable cities and society, 41*, strony 647-665.
- Sigal, R. J., Armstrong, M. J., Bacon, S. L., Boule, N. G., Dasgupta, K., Kenny, G. P. i Riddell, M. C. (2018). Physical activity and diabetes. *Canadian journal of diabetes, 42*, strony 54-63.
- Silva, L. R., Seguro, C. S., de Oliveira, C. G., Santos, P. O., de Oliveira, J. C., de Souza Filho, L. F. i ... & Rebelo, A. C. (2020). Physical inactivity is associated with increased levels of anxiety, depression, and stress in Brazilians during the COVID-19 pandemic: a cross-sectional study. *Frontiers in Psychiatry, 11*, 565291.
- Skinner, B. F. (1938). Conditioning and extinction. *The behavior of organisms: An experimental analysis*, strony 61-115.
- Skinner, B. F. (2014). Radical Behaviorism. W R. B. Ewen, *An Introduction to Theories of Personality* (strony 289-315). Psychology Press.
- Smith, T. C., Wingard, D. L., Smith, B., Kritz-Silverstein, D. i Barrett-Connor, E. (2007). Walking decreased risk of cardiovascular disease mortality in older adults with diabetes. *Journal of clinical epidemiology, 60*(3), strony 309-317.
- Solnit, R. (2001). *Wanderlust: A history of walking*. Penguin.
- Stathi, A., Gilbert, H., Fox, K. R., Coulson, J., Davis, M. i Thompson, J. L. (2012). Determinants of neighborhood activity of adults age 70 and over: A mixed-methods study. *Journal of aging and physical activity, 20*(2), strony 148-170.
- Stockwell, S., Trott, M., Tully, M., Shin, J., Barnett, Y., Butler, L. i ... & Smith, L. (2021). Changes in physical activity and sedentary behaviours from before to during the COVID-19 pandemic lockdown: a systematic review. *BMJ open sport & exercise medicine, 7*(1), e000960.
- Szewczenko, A., Lach, E., Bursiewicz, N., Chuchnowska, I., Widzisz-Pronobis, S., Sanigórska, M., ... & Ober, J. (2023). Urban Therapy—Urban Health Path as an Innovative Urban Function to Strengthen the Psycho-Physical Condition of the Elderly. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 20*(12), 6081.
- Sznajd-Weron, K., Sznajd, J. i Weron, T. (2021). A review on the Sznajd model—20 years after . *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 565*, 125537.

- Sznajd-Weron, K., Szwabiński, J. i Weron, R. (2014). Is the person-situation debate important for agent-based modeling and vice-versa? *PloS one*, 9(11), e112203.
- Taillandier, P., Gaudou, B., Grignard, A., Huynh, Q. N., Marilleau, N., Caillou, P. i ... & Drogoul, A. (2019). Building, composing and experimenting complex spatial models with the GAMA platform. *GeoInformatica*, 23, strony 299-322.
- Tan, Z., Lau, K. K. i Ng, E. (2016). Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. *Energy and Buildings*, 114, strony 265-274.
- Tao, Z., Shi, A. i Zhao, J. (2015). Epidemiological perspectives of diabetes. *Cell biochemistry and biophysics*, 73, strony 181-185.
- Torrance, G. W. (1987). Utility approach to measuring health-related quality of life. *Journal of chronic diseases*, 40(6), strony 593-600.
- Torre, L. A., Bray, F., Siegel, R. L., Ferlay, J., Lortet-Tieulent, J. i Jemal, A. (2015). Global cancer statistics, 2012. *CA: a cancer journal for clinicians*, 65(2), strony 87-108.
- Trost, S. G., Owen, N., Bauman, A. E., Sallis, J. F. i Brown, W. (2002). Correlates of adults' participation in physical activity: review and update. *Medicine & science in sports & exercise*, 34(12), 1996-2001.
- Tucker, J. M., Welk, G. J. i Beyler, N. K. (2011). Physical activity in US adults: compliance with the physical activity guidelines for Americans. *American journal of preventive medicine*, 40(4), strony 454-461.
- Tudor-Locke, C. i Bassett, D. R. (2004). How many steps/day are enough? Preliminary pedometer indices for public health. *Sports medicine*, 34, strony 1-8.
- Tudor-Locke, C., Craig, C. L., Aoyagi, Y., Bell, R. C., Croteau, K. A., De Bourdeaudhuij, I. i ... & Blair, S. N. (2011). How many steps/day are enough? For older adults and special populations. *International journal of behavioral nutrition and physical activity*, 8(1), strony 1-19.
- Vermuyten, H., Beliën, J., De Boeck, L., Reniers, G. i & Wauters, T. (2016). A review of optimisation models for pedestrian evacuation and design problems. *Safety science*, 87, strony 167-178.
- Villanueva, K., Knuiman, M., Nathan, A., Giles-Corti, B., Christian, H., Foster, S. i Bull, F. (2014). The impact of neighborhood walkability on walking: does it differ across adult life stage and does neighborhood buffer size matter? *Health & place*, 25.
- Vyas, Z. i Mankodi, A. (2016). Swarm Intelligence Techniques focusing on PSO and ACO.
- Warburton, D. E. i Bredin, S. S. (2017). Health benefits of physical activity: a systematic review of current systematic reviews. *Current opinion in cardiology*, 32(5), strony 541-556.
- Wasfi, R. A., Dasgupta, K., Orpana, H. i Ross, N. A. (2016). Neighborhood walkability and body mass index trajectories: longitudinal study of Canadians. *American journal of public health*, 106(5), strony 934-940.
- Watson, J. B. (2017). *Behaviorism*. Routledge.
- Watson, O. M. (2014). *Proxemic behavior: A cross-cultural study (Vol. 8)*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- Watts, D. J. i Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, 393(6684), 440.

- Wilbur, J., Chandler, P., Dancy, B., Choi, J. i Plonczynski, D. (2002). Environmental, policy, and cultural factors related to physical activity in urban, African–American women. *Women and Health*, 36(2), strony 17 - 28.
- Wilensky, U. i Rand, W. (2015). An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo. *Mit Press*.
- Williams, P. T. i Thompson, P. D. (2013). Walking versus running for hypertension, cholesterol, and diabetes mellitus risk reduction. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*, 33(5), strony 1085-1091.
- Wilson, L. F., Baade, P. D., Green, A. C., Jordan, S. J., Kendall, B. J., Neale, R. E. i ... & Whiteman, D. C. (2019). The impact of changing the prevalence of overweight/obesity and physical inactivity in Australia: an estimate of the proportion of potentially avoidable cancers 2013–2037. *International journal of cancer*, 144(9), strony 2088-2098.
- Winningham, M. L. (1991). Walking program for people with cancer: getting started. *Cancer nursing*, 14(5), strony 270-276.
- Wolfram, S. (1984). Cellular automata as models of complexity. *Nature*, 311(5985), strony 419-424.
- Wood, C. J., Clow, A., Hucklebridge, F., Law, R. i Smyth, N. (2018). Physical fitness and prior physical activity are both associated with less cortisol secretion during psychosocial stress. *Anxiety, Stress, & Coping*, 31(2), strony 135-145.
- WorldHealthOrganization. (2018). *Noncommunicable diseases*. Retrieved from.
- Xu, T., Nordin, N. A. i Aini, A. M. (2022). Urban green space and subjective well-being of older people: a systematic literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 14227.
- Yang, Y., Diez Roux, A. V., Auchincloss, A. H., Rodriguez, D. A. i & Brown, D. G. (2011). A spatial agent-based model for the simulation of adults' daily walking within a city. *American journal of preventive medicine*, 40(3), strony 353–361.
- Yin, L. (2013). Assessing Walkability in the City of Buffalo: An Application of Agent-Based Simulation. *Journal of Urban Planning and Development*, 139, strony 166-175.
- Zale, J. J. i Kar, B. (2012). A GIS-based football stadium evacuation model. *Southeastern Geographer*, 52(1), strony 70-89.
- Zenk, S. N., Schulz, A. J., Matthews, S. A., Odoms-Young, A., Wilbur, J., Wegrzyn, L. i ... & Stokes, C. (2011). Activity space environment and dietary and physical activity behaviors: a pilot study. *Health & place*, 17(5), strony 1150-1161.
- Zhang, Y., Mavoa, S., Zhao, J., Raphael, D. i Smith, M. (2020). The association between green space and adolescents' mental well-being: a systematic review. *International journal of environmental research and public health*, 17(18), 6640.
- Zhu, N. J. (2014). Cardiorespiratory fitness and cognitive function in middle age: the CARDIA study. *Neurology*, 82(15), strony 1339-1346.