

Adam Gawryluk¹, Monika Kulisz², Agnieszka Komor^{3*}

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Katedra Łąkarstwa i Kształtowania Krajobrazu

Zakład Studiów Krajobrazowych i Gospodarki Przestrzennej

adam.gawryluk@up.lublin.pl,  <https://orcid.org/0000-0002-8911-7533>

² Politechnika Lubelska, Wydział Zarządzania, Katedra Organizacji Przedsiębiorstwa

m.kulisz@pollub.pl,  <https://orcid.org/0000-0002-8111-2316>

³ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Katedra Zarządzania i Marketingu

Pracownia Zarządzania i Analiz Rynkowych

agnieszka.komor@up.lublin.pl,  <https://orcid.org/0000-0002-7532-3141>

* autor korespondencyjny

Modelowanie salda migracji dla miasta Poznania z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych

Zarys treści: W opracowaniu przeprowadzono modelowanie salda migracji wewnętrznych dla miasta Poznania w zależności od wybranych wskaźników (tj. liczby i powierzchni istniejących mieszkań, liczby izb w mieszkaniu, przeciętnej powierzchni użytkowej mieszkania na 1 osobę, salda migracji wewnętrznych, zmiany liczby ludności na 1000 mieszkańców, liczby ludności ogółem, z podziałem na kobiety i mężczyzn, oraz gęstości zaludnienia na 1 km²) charakteryzujących Miejski Obszar Funkcjonalny Poznania (łącznie 22 gminy) w latach 2005–2020 na podstawie danych statystycznych pochodzących z Banku Danych Lokalnych GUS. Wykazano, że wskaźniki te w istotny sposób wpływają na saldo migracji ludności miasta Poznania, a co za tym idzie – mogą być wykorzystywane do prognozowania salda migracji dla tego miasta. Ponadto opracowano eksperymentalny model sztucznej sieci neuronowej do przewidywania salda migracji dla miasta Poznania na 1 rok oraz na 2 lata do przodu. Stwierdzono, że możliwe jest wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do trafnego prognozowania salda migracji dla Poznania. Otrzymane wyniki potwierdzają utrzymanie się ujemnego salda migracji dla miasta Poznania z tendencją zmniejszania się tego trendu oraz dodatnie saldo migracji w gminach ościennych z tendencją zmniejszania się.

Słowa kluczowe: migracje ludności, sztuczne sieci neuronowe, prognozowanie migracji, suburbanizacja, Poznań

Wprowadzenie

Migracje są wieloaspektowym procesem przestrzennym, który wpływa na funkcjonowanie społeczeństwa i gospodarki na danym terenie. Przedmiotem badań w niniejszym opracowaniu były migracje wewnętrzne. Oddziałują one m.in. na wielkość i strukturę zasobów ludzkich, rynek pracy oraz dochody jednostek samorządu terytorialnego. Mają one więc wymiar nie tylko demograficzny, ale także ekonomiczny, przez co w istotny sposób mogą wpływać na rozwój regionu. Migracje wewnętrzne są zjawiskiem bardzo złożonym oraz uwarunkowanym wieloma czynnikami m.in. o charakterze rodzinnym, ekonomicznym, zdrowotnym, kulturowym, społecznym czy środowiskowym. Zjawisko migracji implikuje wiele skutków, zarówno pozytywnych, jak i negatywnych, dla osób migrujących, społeczności lokalnych oraz dla całych jednostek osadniczych (Paddison 2001).

Zdaniem Śleszyńskiego (2019) współcześnie w Polsce migracje, w tym przymieszczenia nierejestrowane, stanowią podstawę współwystępowania trzech rodzajów procesów demograficzno-osadniczych:

- depopulacji głównie regionów peryferyjnych, która jest związana przede wszystkim z odpływem ludności, w tym nierejestrowanym, a także z ujemnym saldem urodzeń i zgonów,
- koncentracji ludności w najbardziej atrakcyjnych aglomeracjach,
- suburbanizacji, tj. wewnętrznej dekoncentracji aglomeracji.

Autor zwraca uwagę, że po 1989 r. wzrastał odsetek napływu ludności do metropolii tzw. „wielkiej piątki”, tj. Warszawa, Kraków, Poznań, Trójmiasto i Wrocław. Wniosek ten potwierdzają również badania Okrasy (2019). Stąd obszar badawczy obejmował jedno z tych miast – Poznań oraz gminy powiązane z nim funkcjonalnie, tworzące Miejski Obszar Funkcjonalny (MOF) Poznania (nazywany także Metropolią Poznań). Należy podkreślić, że obszary metropolitalne wpływają na rozwój i konkurencyjność macierzystego regionu, a także na otoczenie dalsze m.in. poprzez oddziaływanie na przepływy produktów, usług, kapitału i zasobów ludzkich, wywołując ruchy migracyjne ludności.

W artykule zrealizowano dwa cele. Pierwszym celem było modelowanie salda migracji wewnętrznych dla miasta Poznania w zależności od wybranych czynników, tj. liczby i powierzchni istniejących mieszkań, liczby izb w mieszkaniu, przeciętnej powierzchni użytkowej mieszkania na 1 osobę, salda migracji wewnętrznych, zmiany liczby ludności na 1000 mieszkańców, liczby ludności ogółem, z podziałem na kobiety i mężczyzn, oraz gęstości zaludnienia na 1 km² pozyskanych z 22 gmin tworzących razem z miastem Poznaniem MOF Poznania. Obszar ten obejmuje terytorium miasta Poznania i 17 gmin powiatu poznańskiego oraz 4 gminy z powiatów ościennych. Kolejnym celem badawczym było opracowanie eksperymentalnego modelu sztucznej sieci neuronowej do przewidywania salda migracji dla miasta Poznania w dwóch punktach czasowych – na 1 rok oraz na 2 lata do przodu. Warto podkreślić, że w opracowaniu zastosowano sztuczne sieci neuronowe, co jest podejściem metodycznym relatywnie rzadko wykorzystywanym w literaturze do tego celu.

W opracowaniu postawiono następujące pytania badawcze:

1. Jakie wskaźniki ekonomiczno-społeczne mogą stanowić parametry do przewidywania salda migracji dla miasta Poznania?
2. Czy możliwe jest wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do przewidywania salda migracji (na przykładzie miasta Poznania)?
3. Jaki będzie poziom salda migracji dla miasta Poznania w 2021 i 2022 r.?

Należy zwrócić uwagę, że w badaniach wyjaśniających migracje wewnętrzne w kontekście społeczno-gospodarczym bardzo często wykorzystuje się modelowanie ekonometryczne lub metody polegające na badaniu relacji między określoną zmienną ekonomiczną (np. stopa bezrobocia) a wielkością migracji (Ghatak i in. 2008). Z uwagi na złożoność i wielowymiarowość problematyki migracji, do jej analizy powinno się stosować zróżnicowane metody i podejścia badawcze, tak aby w kompleksowy sposób ująć specyfikę tego dynamicznie zmieniającego się zjawiska (Matusik i in. 2012, Pietrzak, Wilk 2013). Dlatego pierwszym celem niniejszej pracy było modelowanie salda migracji wewnętrznych dla miasta Poznania w zależności od wybranych czynników z wykorzystaniem eksperymentalnego modelu sztucznej sieci neuronowej.

Analizy procesu suburbanizacji oraz prognozowanie jego poziomu w przyszłości jest niezwykle ważne z punktu widzenia rozwoju regionu i planowania przestrzennego. Znajomość kształtowania się przyszłych zjawisk demograficznych daje podstawę do określenia wielu społeczno-ekonomicznych konsekwencji, a co za tym idzie – efektywnego zarządzania rozwojem w skali lokalnej i regionalnej. Prognozowanie zjawisk demograficznych, w tym rozrodczości, umieralności oraz migracji, jest procesem bardzo trudnym ze względu na wielość i różnorodność czynników je kształtujących oraz jakość i dostępność danych statystycznych. Szczególnie ważnym problemem jest nierejestrowana migracja, która stanowi pewne ograniczenie badawcze w niniejszej pracy. W Polsce prognozy dotyczące liczby ludności prezentuje Główny Urząd Statystyczny. Problematyka dotycząca prognozowania demograficznego w odniesieniu do Poznania została przedstawiona np. w pracach Paradysza (2006, 2012).

Zdaniem Zborowskiego (2001) prognozowanie migracji jest jednym z najtrudniejszych elementów prognozowania demograficznego ze względu na dużą złożoność tego zjawiska i uwarunkowanie różnorodnymi czynnikami. Wśród metod wykorzystywanych do prognozowania migracji wymienić można m.in. metodę opartą na badaniach ankietowych czy modele regresji wielokrotnej (Kałuża-Kopias 2014). W niniejszej pracy dokonano próby wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do prognozowania salda migracji na przykładzie miasta Poznania. Stąd drugim celem opracowania było sporządzenie eksperymentalnego modelu sztucznej sieci neuronowej do przewidywania salda migracji dla miasta Poznania w dwóch punktach czasowych – na 1 rok oraz na 2 lata do przodu.

Warto podkreślić, że w opracowaniu zastosowano sztuczne sieci neuronowe do prognozowania salda migracji wewnętrznych, co jest podejściem metodycznym rzadko wykorzystywanym do tego celu w literaturze. W literaturze światowej można wskazać nieliczne przypadki zastosowania sztucznych sieci neuronowych do prognozowania migracji zagranicznych ludności na przykładzie mieszkańców regionu Chmielnickiego (Ovchynnikova i in. 2021) czy ludności Fidżi (Qiokata,

Khan 2015). Natomiast w polskiej literaturze przedmiotu w pracy Beima (2009) można odnaleźć próbę wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do modelowania procesu suburbanizacji w aglomeracji poznańskiej.

Przegląd literatury

W literaturze wyróżnia się trzy podejścia do badań układów osadniczych dużych miast (Zborowski 2005):

- podejście strukturalne, w którym podkreśla się jednorodność przestrzenną jednostki, co implikuje brak badań dotyczących relacji zachodzących pomiędzy poszczególnymi częściami obszaru zurbanizowanego;
- podejście hierarchiczno-funkcjonalne, którego głównym założeniem jest występowanie nierównoprawnych powiązań funkcjonalnych wewnątrz obszarów wielkomiejskich, co skutkuje istnieniem centrum i podporządkowanych mu peryferii; zróżnicowane przestrzennie natężenie powiązań, interakcji i kontaktów miasta z jego otoczeniem prowadzi do formowania się różnego typu stref pozostających w polu wzajemnego oddziaływania centrum i jego zaplecza;
- podejście sieciowe, które opiera się na poszukiwaniu współzależności funkcjonalnych oraz interakcji w przestrzeni wewnątrzmetropolitalnej opartych na sieci przepływów pomiędzy różnymi podmiotami (np. przedsiębiorstwa, uczelnie, ośrodki naukowo-badawcze, władze lokalne i regionalne, instytucje finansowe i okołobiznesowe).

Do podejścia hierarchiczno-funkcjonalnego w badaniach wielkomiejskich układów osadniczych nawiązuje rozumienie i analizowanie procesu urbanizacji poprzez pryzmat etapów rozwoju miasta. Zgodnie z tą koncepcją miasto w swoim cyklu życia przechodzi od fazy wzrostu do fazy stabilności lub upadku, w miarę jak pierwotne zalety lokalizacyjne obszaru stają się mniej istotne i ulegają zmianie (Birch 1971, Rust 1975). Hall (1971) zaproponował czteroetapowy model rozwoju obszaru metropolitalnego rozpoczynający się okresem centralizacji, przechodzącym w okres decentralizacji, a następnie znacznej utraty populacji przez rdzeń na rzecz pierścienia, i kończącym się etapem przejścia obszaru metropolitalnego jako całości do fazy zmniejszania się. W literaturze wskazuje się modelowe ujęcia stadiów rozwoju miasta związane z teorią cyklu życia miejskiego (Klaassen, Paelinck 1979, van den Berg i in. 1982). Podkreśla się w nich, że miasta w swoim rozwoju przechodzą przez cztery etapy, tj. urbanizację, suburbanizację, dezurbanizację i reurbanizację. Suburbanizacja charakteryzuje się przyrostem liczby mieszkańców zewnętrznych stref aglomeracji (przedmieść i stref peryferyjnych) oraz zabudowy na tych terenach, natomiast w miastach centralnych przyrost populacji nie jest już tak dynamiczny jak w pierwszym etapie urbanizacji lub nawet ujemny. W szczególności jeśli tempo wzrostu obszarów podmiejskich jest szybsze niż centrum miasta, można mówić o względnej suburbanizacji, a jeśli liczba mieszkańców centrum miasta zaczyna się zmniejszać przy dalszym wzroście przedmieść, etap ten określa się jako absolutną suburbanizację (van den Berg i in. 1982). Warto zwrócić uwagę, że w wyniku procesu suburbanizacji

zmniejszenie liczby ludności ma miejsce głównie w centralnych częściach miasta oraz w osiedlach wielkopłytowych. Równocześnie może dochodzić do wzrostu liczby ludności w peryferyjnych dzielnicach miasta, leżących w jego granicach administracyjnych (*intra-urban suburbanisation*). Proces ten zmniejsza negatywne skutki depopulacji i związanych z nią innych problemów zachodzących w centralnych częściach miast, a dualizm procesów społeczno-gospodarczych w obrębie miasta stanowi jednocześnie wyzwanie dla planowania i zarządzania miastem (Szmytkie 2021).

Warto zauważyć, że w Polsce w początkowej fazie okresu transformacji dominowały migracje stałe wewnętrzne ze wsi do miast. W 2000 r. nastąpiło odwrócenie kierunku migracji wewnętrznych (Nowotnik 2012), co doprowadziło do nasilenia procesu suburbanizacji, w którym kluczową rolę odgrywają miasta wraz z terenami podmiejskimi, tworzącymi obszary metropolitalne.

Proces suburbanizacji na obszarze metropolitalnym Poznania podlegał licznym badaniom, co znajduje swoje odzwierciedlenie w literaturze. Badania koncentrowały się głównie na analizie wybranych wskaźników demograficznych oraz dotyczących rynku mieszkaniowego. W przypadku Poznania rozwój strefy podmiejskiej rozpoczął się jeszcze przed okresem przemian społeczno-gospodarczych, do czego przyczyniło się posiadanie statusu miasta zamkniętego w czasach PRL (Marcinowicz 2000a). W okresie transformacji ustrojowej w latach 1995–2012 odpływ ludności z miast centralnych do stref podmiejskich w Polsce nastąpił relatywnie szybko w Poznaniu oraz w innych ośrodkach miejskich, które pomyślnie przeszły od gospodarki komunistycznej do gospodarki rynkowej (tj. w Warszawie i Trójmieście) (Gałka, Warych-Juras 2018). Wyniki badań Łodygi (2011) dotyczące niektórych zmian demograficznych w aglomeracji poznańskiej (miasto Poznań i powiat poznański) w latach 1988–2007 wskazywały na rosnącą atrakcyjność migracyjną tego obszaru w skali kraju i na nasilające się na tym terenie procesy suburbanizacji. Postępujący proces suburbanizacji w wybranych gminach aglomeracji poznańskiej stwierdzono w pracy Zydronia i Szczepańskiego (2014). W badaniach tych analizom poddano zmiany w trzech kategoriach: ludności, budownictwa mieszkaniowego i miejsc pracy. Wdowicka i Mierzejewska (2020) przeprowadziły analizę procesów suburbanizacji w strefie podmiejskiej Poznania w latach 2000–2019, której wyniki wskazują na postępujący wzrost atrakcyjności obszarów podmiejskich względem miasta centralnego.

W pracy Beima (2009) wykorzystano sztuczne sieci neuronowe do modelowania procesu suburbanizacji w aglomeracji poznańskiej. Zaproponowano połączenie automatów komórkowych ze sztucznymi sieciami neuronowymi w postaci modelu hybrydowego. W pierwszym etapie badawczym przeprowadzona została analiza czynników wpływających na atrakcyjność zasiedlania się na obszarze aglomeracji poznańskiej, a następnie dokonano symulacji sztucznymi sieciami neuronowymi. Wykazano, że najważniejszymi czynnikami wpływającymi na atrakcyjność zasiedlania się były bliskość stacji kolejowych oraz klasy gleb, a w dalszej kolejności bliskość wód oraz terenów chronionych, w tym zwłaszcza rezerwatów. Bliskość lotnisk, objęcie obszaru poligonem, a także bliskość istniejącej zabudowy należały do głównych czynników zniechęcających do osiedlania

się. Prognozy zmian gęstości zaludnienia opracowane dla lat 2010, 2015 oraz 2020 wskazały na znaczne zmniejszenie gęstości zaludnienia w śródmieściu miasta Poznania i w miastach położonych wokół Poznania oraz na dalszy wzrost liczby osób mieszkających na obszarach wokół Poznania. W kolejnej symulacji wykazano, że przemieszczanie ludności będzie intensywniej – w stosunku do pierwszej symulacji – następować na obszary peryferyjne w granicach miasta Poznania. Obie symulacje prognozowały wzrost tempa procesów suburbanizacji Poznania. W pracy wykazano, że zastosowany model hybrydowy ma duży potencjał w symulacjach procesu suburbanizacji i może stać się przydatnym narzędziem analizy i prognozowania rozwoju innych aglomeracji w Polsce i na świecie. Jednakże problematyka wykorzystania sztucznych sieci neuronowych w badaniach nad procesem suburbanizacji nie została pogłębiona w pracach innych autorów, chociaż Radło-Kulisiewicz (2015) wskazuje sztuczne sieci neuronowe jako jedną z ważniejszych technik stosowanych w modelowaniu rozwoju miast.

Wśród motywów migracji z Poznania na suburbia wymienia się głównie nieodpowiednią powierzchnię mieszkaniową, zmianę sytuacji rodzinnej, poprawę sytuacji finansowej i warunki środowiska (np. poziom hałasu w poprzednim miejscu zamieszkania czy zanieczyszczenie powietrza) (Beim, Tölle 2008). Wasztek (2014) podkreśla, że dynamiczny rozwój aglomeracji poznańskiej stanowi jednocześnie przyczynę i skutek nasilonego procesu migracji wewnętrznych na tym terenie. Rozwój gospodarczy aglomeracji związany był m.in. z lokalizacją nowych firm na terenach podmiejskich i migracją mieszkańców w pobliże miejsca pracy, rozwój społeczny obejmował m.in. wzrost kapitału społecznego i odmłodzenie demograficzne w gminach podmiejskich dzięki migracjom głównie młodych i wykształconych ludzi, natomiast rozwój przestrzenny dotyczył rozwoju terenów mieszkaniowych i migracji na obszary oceniane jako bardziej atrakcyjne.

Tanaś (2012) dowodziła, że w latach 1995–2010 przepływy migracyjne w aglomeracji poznańskiej wskazywały na silne powiązania Poznania i gmin powiatu poznańskiego. Tendencje do migracji na krótkie odległości potwierdził Marciniowicz (2000b) na przykładzie Poznania, gdzie większość migracji miała charakter wewnątrzmiejski lub zamykała się w strefie podmiejskiej. W badaniach wykazano, że w latach 2002–2017 główną przyczyną zmniejszania się liczby mieszkańców Poznania był odpływ migracyjny przy jednoczesnej dużej sile tendencji suburbanizacyjnych – więcej osób niż w innych dużych miastach poszukiwało nowych domów na przyległych terenach podmiejskich (Kałuża-Kopias, Palma 2019). Znajduje to potwierdzenie w późniejszych badaniach wskazujących, że proces wyludniania się Poznania przy jednoczesnym dynamicznym wzroście zaludnienia gmin podmiejskich (mający miejsce od początku lat 90. XX w. i kontynuowany również w latach 2010–2018) był skutkiem głównie migracji rezydenckalnych mieszkańców Poznania na teren powiatu poznańskiego (Kaczmarek i in. 2020). Wspomniani autorzy podkreślają jednak, że po roku 2004 suburbanizacji rezydenckalnej Poznania towarzyszy suburbanizacja gospodarcza związana w dużej mierze z inwestycjami przedsiębiorstw zagranicznych. Badania Gołaty (2015) wskazują, że główną przyczyną zmniejszania się liczby ludności Poznania w latach 1999–2013 był postępujący proces suburbanizacji (a dokładniej absolutnej

suburbanizacji według faz rozwoju van den Berga), któremu towarzyszyła zmiana charakteru zabudowy i zagospodarowania obszarów podmiejskich, a także zmniejszanie się różnic oraz upodobnianie się charakterystyk demograficznych ludności centrum miasta oraz jego najbliższego sąsiedztwa.

W literaturze przeprowadzono również analizy zmian w strukturze wiekowej mieszkańców śródmieścia Poznania oraz w zasobach mieszkaniowych i liczbie mieszkańców w jednym mieszkaniu z uwzględnieniem rodzaju budownictwa w latach 2008 i 2013 (Trojanek i in. 2016). Z badań wynika, że w pierwszej dekadzie XXI w. do suburbiów Poznania migrowały osoby przeciętnie starsze od migrantów napływających na teren miasta (Zborowski, Raźniak 2013). Jancz (2016) badała zróżnicowanie przestrzenne skutków i perspektyw suburbanizacji w gminach aglomeracji poznańskiej pod kątem wyposażenia infrastrukturalnego, zagospodarowania przestrzennego i sytuacji mieszkaniowej. Zagadnienie suburbanizacji rozpatrywanej z perspektywy rynku mieszkaniowego w aglomeracji poznańskiej skłoniło do stwierdzenia, że obszar ten stanowi przykład najbardziej dynamicznego i intensywnego procesu suburbanizacji w Polsce (Kaczmarek, Miłkuła 2019). Podobne kwestie dotyczące rozwoju budownictwa mieszkaniowego w Poznaniu i okolicach jako odzwierciedlenie procesów suburbanizacji były rozpatrywane w pracy Tanaś (2014).

Ze względu na intensywność procesów suburbanizacji w aglomeracji poznańskiej oraz złożoność i wieloaspektowość tego zjawiska w opracowaniach naukowych problematykę tę rozpatrywano również z innych punktów widzenia. Dla przykładu Bajerski (2010) podjął próbę odpowiedzi na pytanie, w jaki sposób proces suburbanizacji Poznania jako dużego miasta wpływał na funkcjonowanie oświaty lokalnej i politykę oświatową gmin w aglomeracji poznańskiej. Badania dotyczyły również pochodzenia terytorialnego studentów (migracje studentów o zasięgu regionalnym i ponadregionalnym) jako miernika powiązań społecznych miasta Poznania z jego otoczeniem oraz sposobu delimitacji makroregionów (Czyż i in. 1996). Natomiast w pracy Radzimskiego (2015) badaniami objęto związek pomiędzy procesem suburbanizacji a powstawaniem nowych parafii katolickich.

Jednym z głównych negatywnych efektów suburbanizacji jest niekontrolowane rozrastanie się miast (*urban sprawl*). Walaszek (2014) stwierdziła, że obszary silnie suburbanizujące się stanowiły główny cel migracji rezydencjalnych mieszkańców Poznania, co wskazuje na zachodzenie w aglomeracji poznańskiej intensywnej suburbanizacji w jej niekorzystnej postaci, tj. *urban sprawl*. Potwierdzenie zaawansowanego i dynamicznego procesu suburbanizacji w metropolii Poznań w latach 2007–2016 w formie *urban sprawl* można odnaleźć w badaniach Budnera (2018). Wdowicka i Mierzejewska (2012) dokonały analizy przejawów chaosu przestrzennego w strefie podmiejskiej Poznania, wywołanego procesem żywiłowej suburbanizacji. Ocena polityki przestrzennej wybranych gmin wiejskich (tj. Komorniki i Dopiewo), poddanych presji suburbanizacji związanej z położeniem w sąsiedztwie Poznania, wykazała, że grunty rolne nie były objęte miejscowymi planami zagospodarowania przestrzennego. Skutkowało to brakiem ich ochrony przed presją inwestycyjną i stwarzało warunki do wydawania na tych terenach decyzji administracyjnych, mogących negatywnie wpływać na rozwój

zrównoważony tych jednostek i ład przestrzenny (Mrozik, Noskowiak 2018). W celu zminimalizowania negatywnych efektów suburbanizacji konieczna jest zmiana modelu zarządzania z tradycyjnego opartego na konkurencji na rzecz koordynacji i integracji zgodnie z zasadami nowego regionalizmu (Kaczmarek i in. 2020). W aglomeracji poznańskiej można zauważyć w niektórych dziedzinach sieciowych (np. transport publiczny) przejawy procesów współpracy i integracji w relacji miasto–gminy podmiejskie, ale wymagają one pogłębienia.

Proces suburbanizacji wywołuje również negatywne skutki dla miasta centralnego. Kotus (2006), obserwując rozlewanie się miasta Poznania na tereny podmiejskie i migrację jego mieszkańców na te tereny, zauważa też zagęszczanie wewnętrznej zabudowy miasta, nadmierną komercjalizację i przeinwestowanie w centralnej części. Zdaniem Palickiego (2017) w celu ograniczenia negatywnych skutków suburbanizacji dla miasta centralnego władze Poznania mogą podjąć różnorodne działania, m.in. związane ze zmianami na rynku nieruchomości, mające służyć podniesieniu atrakcyjności miasta, tj. poprawie stanu technicznego budynków, zwiększeniu liczby elementów małej architektury na terenach mieszkaniowych, rozbudowie sieci tramwajowej, zwiększeniu czytelności informacji o planowanych inwestycjach w przestrzeni wokół osiedli mieszkaniowych.

Warto wspomnieć, że współcześnie w literaturze można odnaleźć elementy krytycznej oceny idei cyklu życia miasta. Jadach-Sepiolo i Legutko-Kobus (2021) wnioskuje na podstawie przeglądu literatury, że obecnie etapy urbanizacji nie następują sekwencyjnie, mogą współwystępować jednocześnie w odniesieniu zwłaszcza do dużego miasta i jego stref podmiejskich, a granica pomiędzy etapami jest płynna. Ponadto wskazują na inne koncepcje dotyczące rozwoju strefy podmiejskiej, które są związane ze zmianą stylu życia, przejściowością użytkowania ziemi i zagospodarowania lub charakterem powiązań i oddziaływań miejsko-wiejskich, tworzeniem przestrzeni publicznych i ich znaczeniem, rozwojem infrastruktury transportowej i budownictwa mieszkaniowego. Ponadto w krajach wysoko rozwiniętych (np. USA) podkreśla się, że rozróżnienie pomiędzy „miejskim” a „podmiejskim” staje się coraz trudniejsze ze względu na dynamicznie postępujące procesy urbanizacji przedmieść (Paddison 2001). Krytyczną ocenę idei cyklu życia miasta zaprezentowano w pracy Roberts (1991). Kaczmarek (2020) zwraca uwagę na współczesną ewolucję procesu suburbanizacji oraz relacji pomiędzy miastem centralnym i strefą podmiejską określaną mianem postsuburbanizacji. Polega ona na ewolucji części przedmieść w wielofunkcyjne i wielokulturowe ośrodki o coraz bardziej samowystarczalnym charakterze, w których powstają duże rynki pracy przyciągające pracowników z terenów przyległych, w tym także z miast centralnych stających się częściowo sypialniami dla swoich przedmieść.

Metoda badawcza i źródła danych

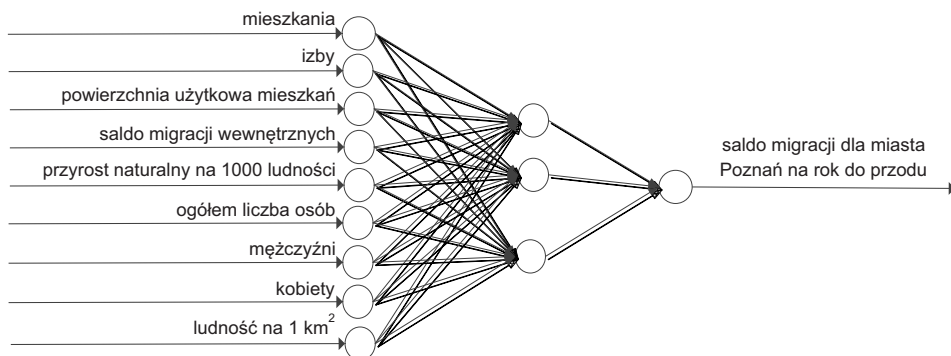
Pierwszym etapem analiz było wyznaczenie parametrów wejściowych do modelowania SSN. W tym celu zastosowano analizę korelacji za pomocą programu Statistica 13.1 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA). Następnie

przeprowadzono modelowanie z wykorzystaniem oprogramowania Matlab 2022a – Neural Network App (The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States). Dane do opracowania modelu sztucznej sieci neuronowej obejmowały lata 2005–2020 i pozyskano je z Banku Danych Lokalnych (BDL) Głównego Urzędu Statystycznego (GUS). Jako parametry wejściowe do modelowania wykorzystano wskaźniki charakteryzujące zasób mieszkaniowy (liczbę i powierzchnię istniejących mieszkań, liczbę izb w mieszkaniu, przeciętną powierzchnię użytkową mieszkania na 1 osobę) oraz sytuację demograficzną (saldo migracji wewnętrznych, zmiany liczby ludności na 1000 mieszkańców, liczbę ludności ogółem, z podziałem na kobiety i mężczyzn, oraz gęstość zaludnienia na 1 km²) w 22 gminach tworzących razem z miastem Poznaniem Miejski Obszar Funkcjonalny Poznań (MOF). W doborze parametrów kierowano się informacjami z Ankiety Migracyjnej pt. „Migracje długookresowe ludności w latach 1989–2002 na podstawie Ankiety Migracyjnej 2002” (Kostrzewa, Stańczak 2004), z której wynika, że warunki mieszkaniowe były wymieniane zaraz po sprawach rodzinnych jako druga co do ważności przyczyna migracji. Fakt, że zasób mieszkaniowy w istotny sposób wpływa na wybór miejsca osiedlania się, potwierdzają też badania takich autorów, jak Kałuża (2010), Harańczyk (2015), Sasin (2021). Z kolei badania Józefowicz (2020) dowodzą, że gęstość zaludnienia jest powiązana z poziomem migracji w sposób istotny statystycznie.

Saldo migracji wewnętrznych jest definiowane jako różnica pomiędzy liczbą osób przybyłych w danym okresie do danej jednostki administracyjnej z innych miejscowości w kraju i liczby osób, które w tym okresie opuściły tę jednostkę, przenosząc się do innych miejscowości w kraju (GUS 2022). Należy zwrócić uwagę, że w bieżącej statystyce migracji na pobyt stały, opartej na administracyjnych źródłach danych, liczba osób przybyłych do danej jednostki administracyjnej oznacza liczbę osób, które zameldowały się w danym okresie na pobyt stały w tej jednostce; natomiast liczba osób, które opuściły tę jednostkę, oznacza liczbę osób, które zameldowały się w innych jednostkach na pobyt stały, a poprzednio były zameldowane w tej jednostce. Warto zwrócić uwagę, że wiarygodna ocena procesów demograficznych, w tym migracyjnych, w Polsce jest znacznie utrudniona ze względu na poważne braki w identyfikacji statystycznej, związane głównie z problemem nierejestrowanej migracji trwałej (Jończy 2019, Śleszyński 2019.), co stanowi pewne ograniczenie badawcze w niniejszej pracy.

Jako neuron wyjściowy modelowano saldo migracji dla miasta Poznania na rok do przodu (ryc. 1).

Do modelowania wykorzystano płytką sieć neuronową z jedną warstwą ukrytą, liczba neuronów została dobrana eksperymentalnie w zakresie od 2 do 10, zaś do uczenia testowano trzy rodzaje algorytmów uczących: algorytm Levenberga-Marquardta, algorytm regularyzacji Bayesa (*Bayesian regularization algorithm*) oraz skalowany algorytm gradientu sprzężonego (*Scaled conjugate gradient algorithm*). Zbiór danych podzielono w proporcji 75%:25% (dane uczące : dane walidacyjne). Pominięto zbiór testowy ze względu na małą ilość danych (Zagórski i in. 2019). Jakość sieci określono na podstawie wartości regresji R (współczynnik korelacji), która mierzy korelację między danymi wyjściowymi i wejściowymi:



Ryc. 1. Schematyczne przedstawienie sztucznej sieci neuronowej (SSN) dla analizy parametrów procesu salda migracji dla miasta Poznania na rok do przodu
Źródło: opracowanie własne.

$$R(y', y^*) = \frac{\text{cov}(y', y^*)}{\sigma_{y'}\sigma_{y^*}} \quad R \in < 0,1 >$$

gdzie:

$\sigma_{y'}$ – odchylenie standardowe wartości referencyjnych,

σ_{y^*} – odchylenie standardowe wartości przewidywanych.

W pracy przyjęto za Kulisz i Kujawską (2021), że wartość regresji $R > 0,85$ świadczy o dobrym dopasowaniu sieci i wysokim poziomie zgodności punktów pomiarowych. Dodatkowo podczas wyboru najlepszej sieci poza wartością współczynnika regresji R brano pod uwagę wartość błędu średniokwadratowego (Mean Squared Error – MSE), liczoną jako:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2$$

gdzie:

y_i – jest rzeczywistą wartością poziomu salda migracji dla miasta Poznania,

\hat{y}_i – oznacza wartość poziomu salda migracji dla miasta Poznania dla i -tej obserwacji otrzymanej z modelu.

Wyniki badań

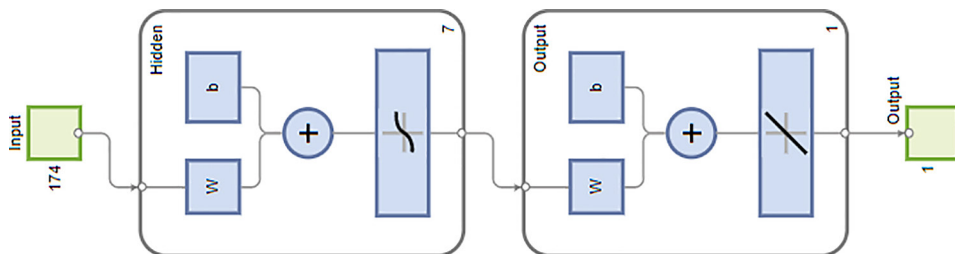
Modelowanie salda migracji dla wszystkich parametrów wejściowych na rok do przodu

Modelowanie salda migracji dla miasta Poznania rozpoczęto od zestawienia 10 analizowanych wskaźników (takich jak: liczba i powierzchnia istniejących mieszkań, liczba izb w mieszkaniu, przeciętna powierzchnia użytkowa mieszkania na

1 osobę, saldo migracji wewnętrznych, liczba ludności z podziałem na kobiety i mężczyzn, zmiany liczby ludności na 1000 mieszkańców oraz gęstość zaludnienia) dla miasta Poznania i pozostałych 21 gmin (Luboń, Puszczykowo, Buk, Czerwonak, Dopiewo, Kleszczewo, Komorniki, Kostrzyn, Kórnik, Mosina, Murowana Goślina, Pobiedziska, Rokietnica, Stęszew, Suchy Las, Swarzędz, Tarnowo Podgórne, Oborniki, Szamotuły, Śrem, Skoki) tworzących razem z miastem Poznaniem Miejski Obszar Funkcjonalny Poznania (MOF). Łącznie otrzymano 220 wskaźników, które analizowano za okres 16 lat (2005–2020). Na początku konieczne było przygotowanie danych wejściowych do modelowania poprzez poddanie standaryzacji zebranych danych. Standaryzacja polegała na odjęciu od wartości zmiennej średniej z analizowanego rodzaju danych, a następnie podzieleniu jej przez odchylenie standardowe. W wyniku takiego działania otrzymano nowe dane ze średnią wartością oczekiwaną 0 i odchyleniem standardowym 1. Następnie w programie STATISTICA (version 13.1) dokonano obróbki statystycznej odpowiednio przygotowanych danych. Biorąc pod uwagę współczynnik korelacji liniowej Pearsona, wyeliminowano wskaźniki, dla których współczynnik korelacji liniowej Pearsona był większy od 0,99. W efekcie przeprowadzonej analizy zbior danych wejściowych z 220 wskaźników ograniczono do 174 zmiennych wejściowych do modelu.

Z kolei dokonano modelowania salda migracji dla miasta Poznania z wykorzystaniem trzech różnych algorytmów uczenia (modele A1, A2 i A3), których celem była prognoza salda migracji dla miasta Poznania na kolejny rok (do przodu).

W pierwszym kroku wykorzystano algorytm uczenia Lavenberg-Marquard, dla którego najlepsze rezultaty otrzymano dla sieci z 7 neuronami (ryc. 2). W związku z tym dla pozostałych algorytmów uczenia również wykorzystano 7 neuronów w warstwie ukrytej. W tabeli 1 przedstawiono wyniki modelowania danych



Ryc. 2. Struktura sieci ANN w modelu A1

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 1. Wyniki modelowania danych walidacyjnych dla modeli A1, A2, A3

Model	Algorytm uczenia	Liczba iteracji	Podział danych	Liczba obserwacji	MSE	R
A1	Lavenberg-Marquard	5	Validation set	4	0,0038	0,9494
A2	regularyzacja Bayesa	91	Validation set	4	0,0720	0,8555
A3	gradientu sprzężonego	87	Validation set	4	0,0037	0,9515

„MSE” – błąd średniokwadratowy

„R” – współczynnik korelacji

Źródło: opracowanie własne.

walidacyjnych dla modeli A1, A2, A3 oraz liczbę iteracji, w jakiej wyuczono model. Dla zbioru uczącego wartość MSE wyniosła 0,000, współczynnik korelacji $R = 1$, a liczba obserwacji 11. Wartość współczynnika korelacji dla całego zestawu danych dla poszczególnych modeli przedstawiono w tabeli 2.

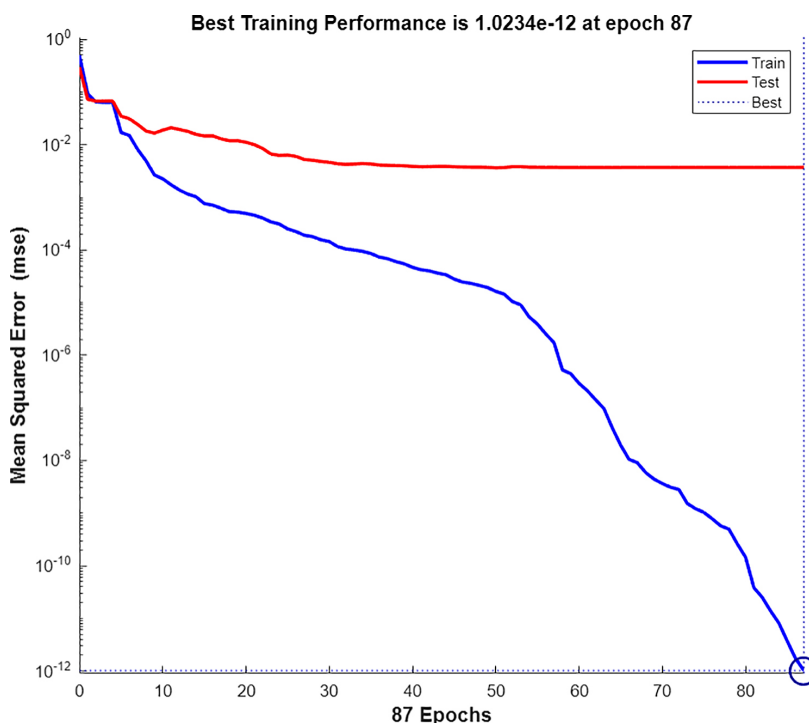
Tabela 2. Wartość współczynnika korelacji dla całego zestawu danych dla modeli A1, A2 i A3

Model	Algorytm uczenia	Liczba iteracji	R
A1	Lavenberg-Marquard	5	0,9823
A2	regularyzacja Bayesa	91	0,9489
A3	gradientu sprzężonego	87	0,9870

„R” – współczynnik korelacji
Źródło: opracowanie własne.

Biorąc pod uwagę współczynnik korelacji R dla poszczególnych zbiorów oraz dla całości danych, jak również wartość MSE, najlepsze wyniki otrzymano dla algorytmu uczenia gradientu sprzężonego – model A3.

Na rycinie 3 przedstawiono najlepszą wydajność uczenia i walidacji dla modelu A3, która dla zbioru uczącego wyniosła $1,023 \cdot 10^{-12}$. Statystyki

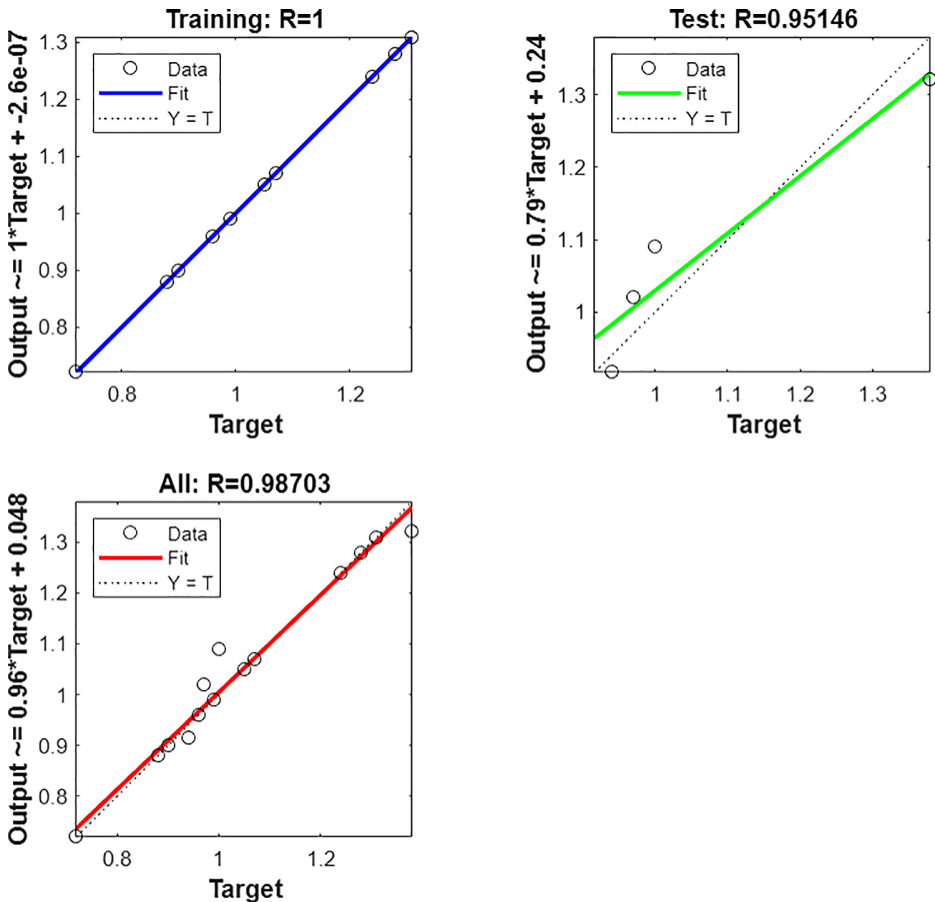


Ryc. 3. Najlepsza wydajność uczenia i walidacji (Best Training Performance) dla modelu A3 z algorytmem uczenia gradientu sprzężonego

Źródło: opracowanie własne.

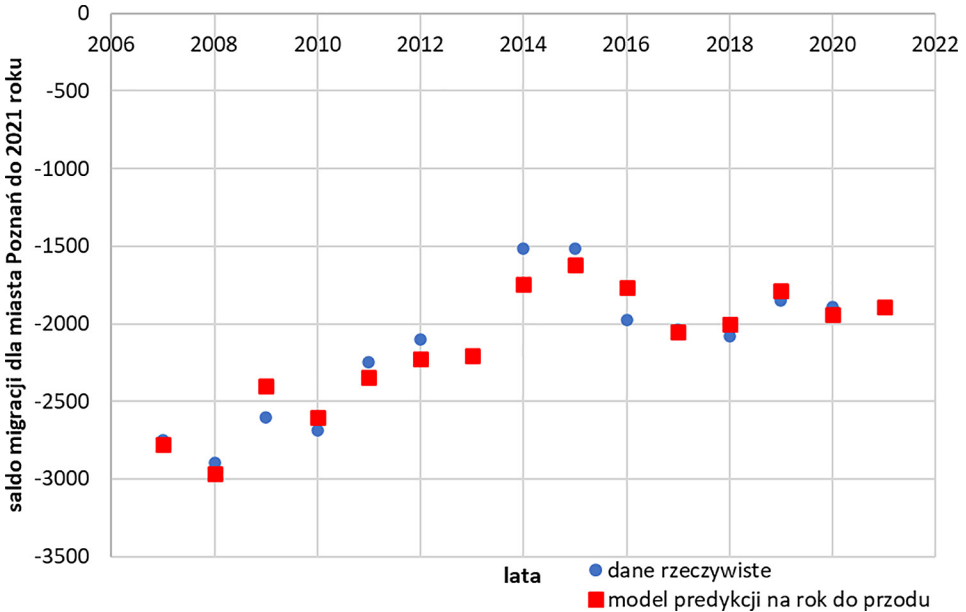
korelacji dla modelu A3 pokazano na rycinie 4, dla poszczególnych podzbiorów przedstawiają się one następująco: dla zbioru uczącego $R = 1$, zaś dla testowego (walidacyjnego) $R = 0,951$. Ogólna korelacja wyniosła $R = 0,987$, co oznacza stopień pokrywania się punktów pomiarowych i linii dopasowania z idealną linią predykcji $Y = T$. Wyniki te przekraczają wartość $R > 0,85$, co świadczy o dobrym dopasowaniu sieci i wysokim poziomie zgodności punktów pomiarowych.

Biorąc pod uwagę modelowanie wartości salda migracji, otrzymaną jakość sieci oraz wielkości MSE, należy stwierdzić, że model A3 można stosować jako wiarygodny predyktor salda migracji dla miasta Poznania, który może być stosowany jako narzędzie wspierające procesy decyzje. Porównanie danych rzeczywistych oraz danych uzyskanych w wyniku predykcji, jak również predykcję salda migracji dla miasta Poznania na rok do przodu przedstawiono na rycinie 5.



Ryc. 4. Statystyki korelacji dla zbioru uczącego (Training), testowego (Test) i ogólnego (All) dla modelu A3

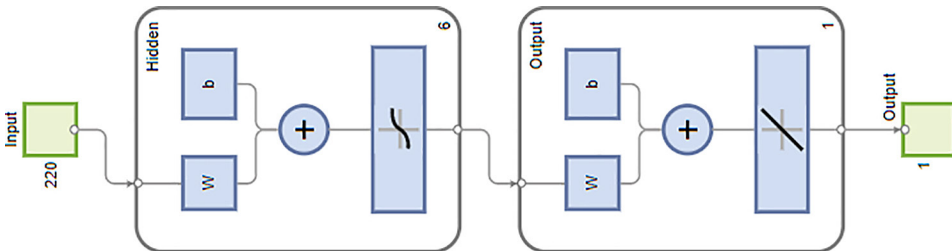
Źródło: opracowanie własne.



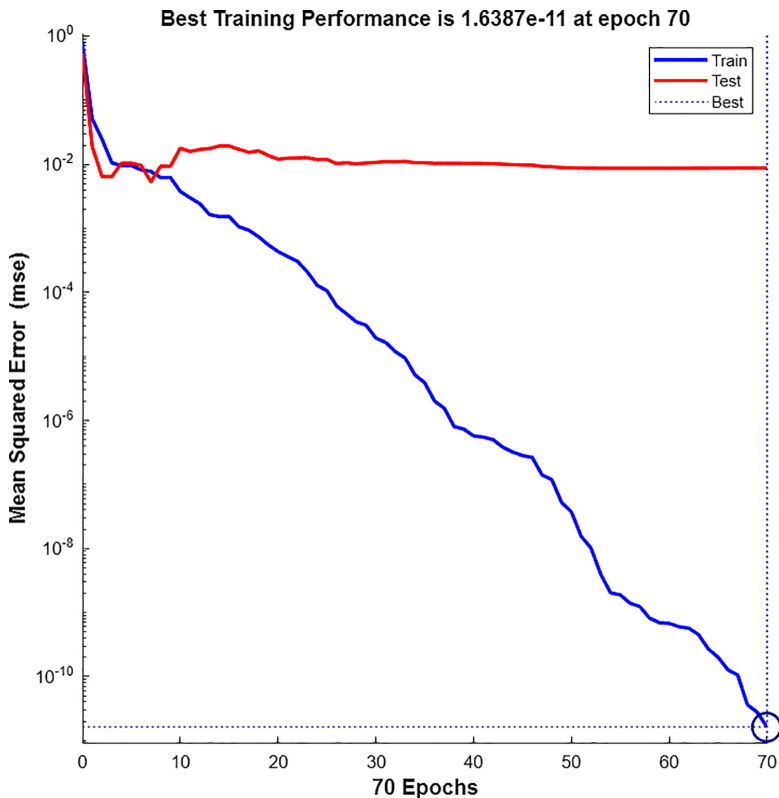
Ryc. 5. Porównanie danych rzeczywistych oraz danych uzyskanych w wyniku predykcji
Źródło: opracowanie własne.

Modelowanie salda migracji dla miasta Poznania na 2 lata do przodu

Najlepsze wyniki modelowania salda migracji dla miasta Poznania na kolejny rok otrzymano dla modelu z algorytmem uczenia gradientu sprzężonego, dlatego do uczenia modelu A4 wykorzystano ten właśnie algorytm. Model ten miał za zadanie prognozowanie salda migracji dla miasta Poznania na 2 kolejne lata (do przodu). Najlepsze rezultaty otrzymano dla sieci z 6 neuronami, którą uzyskano w 70 iteracjach (ryc. 6). Błąd MSE dla zbioru uczącego wyniósł 0,000, zaś dla zbioru testowego 0,0087. Najlepszą wydajność dla zbioru uczącego ($1,639 \cdot 10^{-11}$) otrzymano w 70 epoce (ryc. 7).



Ryc. 6. Struktura sieci ANN w modelu A4
Źródło: opracowanie własne.

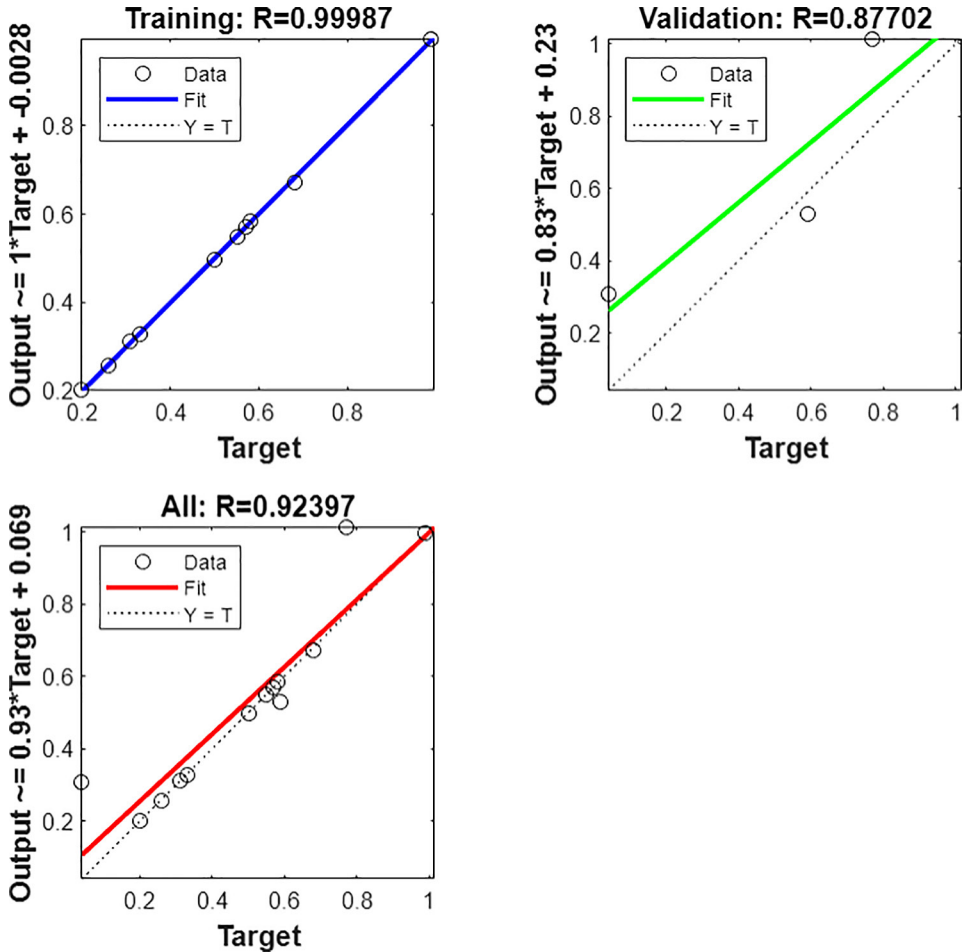


Ryc. 7. Najlepsza wydajność uczenia i walidacji (Best Training Performance) dla modelu A4
Źródło: opracowanie własne.

Statystyki korelacji dla poszczególnych podzbiorów – uczącego $R = 1$ i testowego $R = 0,975$ oraz ogólną korelację $R = 0,977$ – przedstawiono na rycinie 8. Wyniki te przekraczają wartość $R > 0,85$, co świadczy o dobrym dopasowaniu sieci i wysokim poziomie zgodności punktów pomiarowych.

Porównanie danych rzeczywistych oraz danych uzyskanych w wyniku predykcji, jak również predykcję salda migracji na rok do przodu (model A3) oraz predykcję salda migracji dla miasta Poznania na dwa lata do przodu (model A4) przedstawiono na rycinie 9. Analiza wyników prognozy prowadzi do stwierdzenia, że różnice pomiędzy prognozowanym saldem migracji (modele A3 i A4) a rzeczywistymi danymi są niewielkie, co sugeruje, że dane uzyskane w wyniku predykcji w dużym stopniu odwzorowują dane rzeczywiste. W efekcie predykcji dla dwóch kolejnych lat (2021 i 2022) zaobserwowano stały wzrost salda migracji. Zestawienie uzyskanych danych z danymi wyjściowymi wykazuje przy tym wysoką korelację, wartość $R = 0,975$.

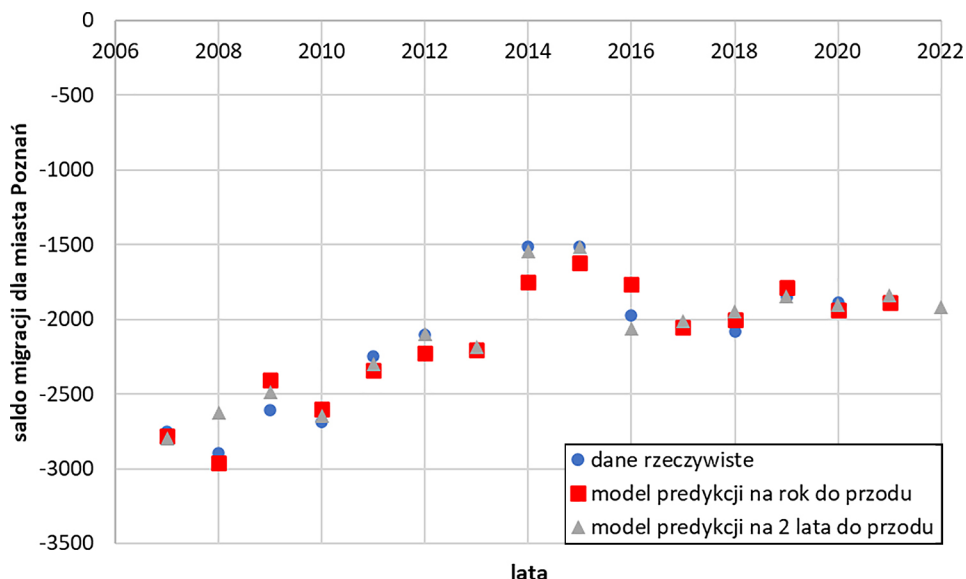
Podsumowując, można stwierdzić, że zarówno model A3, jak i A4 charakteryzują się akceptowalnym poziomem błędów i można je stosować jako wiarygodne predyktory salda migracji dla miasta Poznania, które mogą być stosowane jako narzędzie wspierające procesy decyzje. Należy podkreślić, że prognozowanie



Ryc. 8. Statystyki korelacji dla zbioru uczącego (Training), testowego (Validation) i ogólnego (All) dla modelu A4

Źródło: opracowanie własne.

salda migracji jest oparte na danych rejestrowanych w statystyce publicznej bez uwzględnienia nierejestrowanej migracji trwałej, co stanowi pewne ograniczenie badawcze w tej pracy. Ze względu na ułomność danych statystycznych wyniki badań nadają się w ograniczonym zakresie do wykorzystania w praktyce planistycznej władz samorządowych. Natomiast można je wykorzystać do planowania np. dochodów podatkowych. Dzięki informacjom zebranych z testowanych modeli będzie można łatwiej przewidzieć decyzje migracyjne mieszkańców miasta (Howley i in. 2009), promować ideę Poznania jako miasta zwarteo, planować działania rewitalizacyjne w mieście poprzez podniesienie atrakcyjności tkanki miejskiej i wybór stylu życia, który, jak podają Ærø (2006) i Atkinson-Palombo (2010), może być jednym z ważniejszych czynników wpływających na wybór miejsca zamieszkania.



Ryc. 9. Porównanie danych rzeczywistych oraz danych uzyskanych w wyniku predykcji na rok oraz na 2 lata do przodu

Źródło: opracowanie własne.

Dyskusja

Rezultaty predykcji dla modelu A3 oraz modelu A4 są zbliżone do siebie (tab. 3). Charakteryzują się one akceptowalnym poziomem błędów średniokwadratowych (MSE) i można je stosować jako wiarygodne predyktory salda migracji dla miasta Poznania. Wynik ten wskazuje, że możliwe jest wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do przewidywania salda migracji dla miasta Poznania.

W literaturze w badaniach migracji wykorzystywana jest m.in. metoda samoorganizujących się sieci neuronowych Kohonena (Kiniorska, Brambert 2021). Są to jednak sieci samoorganizujące się bez nauczyciela, natomiast w niniejszym artykule zastosowano sieci neuronowe z nauczycielem (polegają one na podawaniu sieci przykładów poprawnego działania, które sieć powinna naśladować). Warto zwrócić uwagę, że w pracy Beima (2009) sztuczne sieci neuronowe zostały wykorzystane do modelowania procesu suburbanizacji w aglomeracji poznańskiej na podstawie prognozowania zmian w gęstości zaludnienia w różnych strefach aglomeracji. Cel wykorzystania sztucznych sieci neuronowych w niniejszym artykule był inny: metoda ta posłużyła do przewidywania salda migracji dla miasta Poznania w dwóch punktach czasowych – na 1 rok oraz na 2 lata do przodu. W efekcie na wyjściu uzyskano konkretną wartość salda migracji wewnętrznych dla Poznania.

Prognoza salda migracji wewnętrznych dla miasta Poznania na lata 2021 i 2022 wskazuje przede wszystkim na utrzymanie się ujemnego salda migracji dla

Tabela 3. Wyniki modelowania sieci z wykorzystaniem algorytmu uczenia gradientu sprzężonego

Rok	Dane rzeczywiste dla Poznania	Model A3	Model A4
		model z 174 zmiennymi	
2007	-2751	-2780	-2800
2008	-2898	-2963	-2629
2009	-2604	-2403	-2487
2010	-2688	-2600	-2649
2011	-2247	-2342	-2300
2012	-2100	-2227	-2097
2013	-2205	-2203	-2183
2014	-1512	-1748	-1543
2015	-1512	-1621	-1515
2016	-1974	-1765	-2066
2017	-2037	-2053	-2016
2018	-2079	-2000	-1951
2019	-1848	-1784	-1851
2020	-1890	-1940	-1907
2021	-	-1890	-1837
2022	-	-	-1921

„-” – brak danych

Źródło: opracowanie własne.

miasta Poznania z tendencją zmniejszania się tego trendu oraz dodatniego salda migracji w gminach ościennych również z tendencją do zmniejszania się. Badania wykazały bowiem, że w 2021 r. w mieście Poznaniu wewnętrzne saldo migracji będzie kształtowało się na poziomie od -1837 osób (model A4) do -1890 osób (model A3), natomiast w 2022 r. wartość ta wyniesie -1920,50 osoby. Potwierdzają to wyniki prognozy demograficznej dla miasta Poznania i powiatu poznańskiego do 2035 r., z której wynika, że ujemne saldo migracji w Poznaniu utrzyma się nieprzerwanie do 2035 r., jednak będzie ono stopniowo maleć. Badania aglomeracji poznańskiej przez Szmytkie (2022) wykazały ujemne saldo migracji dla miasta Poznania, które w jego ocenie może być spowodowane zaawansowaniem procesów suburbanizacji w jego otoczeniu. Również Szmytkie i Sikorski (2020) potwierdzili słabą ujemną korelację między liczbą ludności w Poznaniu a jego strefą podmiejską, co oznacza spadek liczby ludności w mieście centralnym i wzrost w jego miastach satelickich. Z kolei z badania Frenkel (2016) wynika, że w miastach zaraz po ujemnym przyroście naturalnym głównym czynnikiem spadku liczby ludności jest ujemne saldo migracji wewnętrznych.

Wykonane analizy salda migracji dla gmin MOF Poznania w latach 2005–2022 wykazały, że migracje z Poznania jako centralnego ośrodka MOF na obszary podmiejskie będą nadal miały miejsce, co z kolei przełoży się na dalszy wzrost liczby ludności w gminach przyległych do miasta. Potwierdzają to badania Paradysz (2012), z których wynika, że liczba mieszkańców Poznania do 2035 r. będzie się sukcesywnie zmniejszać. Również w badaniach Trzepacz i in. (2019) wykazano,

że współczynnik migracji netto pomiędzy strefą zewnętrzną a miastem centralnym (rdzeniem) MOF Poznania przyjmował najwyższe wartości wśród badanych miejskich obszarów funkcjonalnych. Otrzymane wyniki są spójne z rezultatami innych badaczy, którzy uważają, że w efekcie postępującej dynamicznie metropolizacji dużych ośrodków miejskich w Polsce można spodziewać się, że migracje z wielkich miast na obszary podmiejskie będą przebiegać w przyszłości równie intensywnie co obecnie (Markowski, Marszał 2007, Raźniak 2007, Mikulec 2008, Kałuża-Kopias 2014).

Podsumowanie i wnioski

Badania pozwoliły odpowiedzieć na postawione w pracy pytania badawcze. Odpowiadając na drugie pytanie badawcze wykazano, że możliwe jest wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych jako narzędzia do trafnego prognozowania salda migracji dla miasta Poznania, tzn. różnicy pomiędzy rejestrowaną liczbą zameldowań i wymeldowań. Ponieważ liczba danych jest mocno ograniczona (modelowanie tylko do dwóch lat do przodu), uzyskane wyniki należy traktować jako wstęp do dalszych, bardziej szczegółowych badań, uwzględniających z każdym kolejnym rokiem nowe dane do modelu, co umożliwi wykonanie predykcji na dłuższy okres. Ponadto pewnym ograniczeniem badawczym w niniejszej pracy jest ułomność dostępnych danych statystycznych, związana głównie z problemem nierejestrowanej migracji trwałej.

W odpowiedzi na pierwsze pytanie badawcze wykazano, że analizowane czynniki ekonomiczno-społeczne dla gmin wchodzących w skład MOF Poznania, tj.: liczba i powierzchnia istniejących mieszkań, liczba izb w mieszkaniu, przeciętna powierzchnia użytkowa mieszkania na 1 osobę, saldo migracji wewnętrznych, zmiany liczby ludności na 1000 mieszkańców, liczba ludności ogółem, z podziałem na kobiety i mężczyzn, oraz gęstość zaludnienia na 1 km², w istotny sposób wpływają na saldo migracji ludności miasta Poznania, a co za tym idzie – mogą być wykorzystywane do prognozowania salda migracji.

Badania wykazały, że w 2021 r. w Poznaniu wewnętrzne saldo migracji będzie na poziomie od -1837 (model A4) do -1890 osób (model A3), natomiast w 2022 r. wartość ta wyniesie -1921 osób. Otrzymane wyniki potwierdzają utrzymanie się ujemnego salda migracji dla miasta Poznania z tendencją zmniejszania się tego trendu oraz dodatniego salda migracji w gminach ościennych z tendencją zmniejszania się, stanowiąc jednocześnie odpowiedź na trzecie pytanie badawcze.

Na podstawie uzyskanych wyników modelowania sieci można stwierdzić, że zaproponowane modele predykcji można zastosować do prognozowania salda migracji dla miasta Poznania. Jednak należy pamiętać, że ze względu na ogólny charakter informacji statystycznych dostępnych w BDL otrzymane rezultaty trzeba traktować jako wstęp do dalszych, bardziej pogłębionych badań. Wyniki otrzymane z sieci neuronowych dotyczące salda migracji można wykorzystać do prognozowania zmiany liczby ludności Poznania oraz kierunków i tempa procesu suburbanizacji w obrębie MOF Poznań.

Literatura

- Ærø T. 2006. Residential choice from a lifestyle perspective. *Housing, Theory and Society*, 23(2): 109–130.
- Atkinson-Palombo C. 2010. New housing construction in Phoenix: evidence of „new suburbanism”? *Cities*, 27: 77–86.
- Bajerski A. 2010. How suburbanization affects functioning and governing of education at the local level. The evidence from Poznań metropolitan region (Poland). [W:] M. Šumberová (red.), *Geografie pro život ve 21. století: Sborník příspěvků z XXII. Sjezdu České geografické společnosti. Ostravská Univerzita v Ostravě, Ostrava*, s. 449–456.
- Beim M. 2009. Modelowanie procesu suburbanizacji w aglomeracji poznańskiej. *Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań*.
- Beim M., Tölle A. 2008. Motywacje migracji rezydencjalnych w obszarze aglomeracji poznańskiej. [W:] T. Kaczmarek, A. Mizgajski (red.), *Jakość przestrzeni i jakość życia. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań*, s. 121–138.
- Birch D.L. 1971. Towards a stage theory of urban growth. *Journal of the American Institute of Planners*, 37(2): 78–87.
- Budner W. 2018. Suburbanizacja w obszarze metropolii Poznań. *Biuletyn Stowarzyszenia Rzeczoznawców Majątkowych Województwa Wielkopolskiego*, 49(1): 26–34.
- Czyż T., Churski P., Spychała-Szyska H. 1996. Weryfikacja makroregionu poznańskiego w świetle migracji studentów. [W:] T. Czyż (red.), *Podstawy regionalizacji geograficznej. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań*, s. 69–95.
- Frenkel I. 2016. Prognoza demograficzna Polski do 2050 roku ze szczególnym uwzględnieniem obszarów wiejskich. *Wieś i Rolnictwo*, 1(170): 19–58. <https://doi.org/10.53098/wir012016/03>
- Gałka J., Warych-Juras A. 2018. Suburbanization and migration in Polish metropolitan areas during political transition. *Acta Geographica Slovenica*, 58–2: 63–72. (<https://doi.org/10.3986/AGS.2256>)
- Ghatak S., Mulhern A., Watson J. 2008. Inter-regional migration in transition economies. The case of Poland. *Review of Development Economics*, 12(1): 209–222.
- Gołata E. 2015. Demograficzne uwarunkowania rozwoju miasta Poznania. *Ruch Prawniczy, Ekonomiczny i Socjologiczny*, 77(1): 57–77.
- GUS. 2022. Saldo migracji wewnętrznych. Pojęcia stosowane w statystyce publicznej (<https://stat.gov.pl/metainformacje/sloownik-pojec/pojecia-stosowane-w-statystyce-publicznej/3222,pojecie.html?pdf=1>; dostęp: 12.11.2022).
- Hall P. 1971. Spatial structure of metropolitan England and Wales. [W:] M. Chisholm, G. Manners (red.), *Spatial Policy Problems of the British Economy. Cambridge University Press, Cambridge*, s. 96–125.
- Harańczyk A. 2015. Procesy suburbanizacji w Krakowskim Obszarze Funkcjonalnym. *Studia Miejskie*, 18: 85–102.
- Howley P., Scott M., Redmond D. 2009. An examination of residential preferences for less sustainable housing: Exploring future mobility among Dublin central city residents. *Cities*, 26: 1–8.
- Jadach-Sepioło A., Legutko-Kobus P. 2021. Suburbanizacja – ujęcie teoretyczne i specyfika w krajach Europy Środkowo-Wschodniej. [W:] P. Śleszyński, M.J. Nowak, P. Legutko-Kobus, A. Hołuj, P. Lityński, A. Jadach-Sepioło, M. Błaszke, *Suburbanizacja w Polsce jako wyzwanie dla polityki rozwoju. Polska Akademia Nauk, Komitet Przestrzennego Zagospodarowania Kraju, Warszawa*, s. 11–28.
- Jancz A. 2016. Suburbanizacja a sytuacja mieszkaniowa w aglomeracji poznańskiej. *Świat Nieruchomości*, 95: 53–60.
- Jończy R. 2019. Migracje a sytuacja demograficzna Polski. [W:] J. Hryniewicz, J. Witkowski, A. Potrykowska (red.), *Migracje a sytuacja demograficzna Polski. Rządowa Rada Ludnościowa, Warszawa*, s. 37–59.
- Józefowicz K. 2020. Atrakcyjność migracyjna miast i obszarów wiejskich województwa wielkopolskiego. *Space–Society–Economy*, (31): 213–227.
- Kaczmarek T. 2020. Różne oblicza suburbanizacji. Od przedmieść w cieniu miasta do post-suburbów. *Prace i Studia Geograficzne*, 65(3): 103–113.
- Kaczmarek T., Mikuła Ł. 2019. The Housing Market in Poland in the Liberalized Spatial Planning System: the National Context and Metropolitan Dimension of the Poznań Agglomeration. [W:] R.

- Wehrhahn, J. Pohlen, C. Hannemann, F. Othengrafen, B. Schmidt-Lauber (red.), *Housing and Housing Politics in European Metropolises*. Jahrbuch StadtRegion. Springer VS, Wiesbaden, s. 71–92.
- Kaczmarek T., Mięka Ł., Bul R., Walaszek M., Wilk J. 2020. Między konkurencją a współpracą. Relacje miasto centralne–suburbia na przykładzie aglomeracji poznańskiej. *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, 50: 123–157.
- Kałuża D. 2010. Migracje wewnętrzne a poziom rozwoju społeczno-gospodarczego wybranych największych miast Polski. *Acta Universitatis Lodzianensis. Folia Oeconomica*, 237: 29–41.
- Kałuża-Kopias D. 2014. Trafność prognozowanego poziomu migracji w pracach GUS. *Space–Society–Economy*, 13: 75–90.
- Kałuża-Kopias D.M., Palma A. 2019. The impact of migration on the size and structure of populations in big cities. *Studia Miejskie*, 36: 45–55.
- Kiniorska I., Brambert P. 2021. Motywy opuszczenia miejsca zamieszkania w opinii licealistów z obszarów wiejskich województwa świętokrzyskiego [W:] I. Kiniorska, P. Brambert, *Migracje pomaturalne na obszarach wiejskich województwa świętokrzyskiego*. *Studia. Cykl Monografii*, 10/202. Komitet Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN, Warszawa, s. 99–124.
- Klaassen L.H., Paelinck J.H.P. 1979. The Future of Large Towns. *Environment and Planning. Economy and Space*, 11(10): 1095–1104.
- Kostrzewa Z., Stańczak J. 2004. Migracje długookresowe ludności w latach 1989–2002 na podstawie Ankiety Migracyjnej 2002. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Kotus J. 2006. Changes in the spatial structure of a large Polish city – The case of Poznań. *Cities*, 23(5): 364–381.
- Kulisz M., Kujawska J. 2021. Application of artificial neural network (ANN) for water quality index (WQI) prediction for the river Warta, Poland. *Journal of Physics Conference Series*, 2130(1): 012028. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2130/1/012028>
- Łodyga B. 2011. Demograficzne skutki suburbanizacji w aglomeracji poznańskiej. *Studia Miejskie*, 3: 113–137.
- Marcinowicz D. 2000a. Demograficzne źródła wzrostu ludności w strefie podmiejskiej wielkiego miasta (studium Poznania). *Biuletyn KPZK*, 192: 291–309.
- Marcinowicz D. 2000b. Przemiany mobilności ludności w okresie przemian ustrojowych na przykładzie miasta Poznania i jego strefy podmiejskiej. [W:] D. Szymańska (red.), *Procesy i formy ruchliwości przestrzennej ludności w okresie przemian ustrojowych*. Wydawnictwo UMK, Toruń, s. 227–242.
- Markowski T., Marszał T. 2007. Metropolie, obszary metropolitalne, metropolizacja. *Problemy i pojęcia podstawowe*. KPZK PAN, Warszawa.
- Matusik S., Pietrzak M.B., Wilk J. 2012. Ekonomiczne-społeczne uwarunkowania migracji wewnętrznych w Polsce w świetle metody drzew klasyfikacyjnych. *Studia Demograficzne*, 2(162): 3–28.
- Mikulec A. 2008. Próba delimitacji obszaru metropolitalnego Łodzi na podstawie ruchu wędrownego ludności w latach 1989–2007. *Urząd Statystyczny w Łodzi, Łódź*.
- Mrozik K., Noskowiak A. 2018. Suburbanizacja a możliwości zrównoważonego rozwoju przestrzennego wybranych gmin wiejskich Poznańskiego Obszaru Metropolitalnego. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, III/1: 755–769.
- Nowotnik D. 2012. Przestrzenne zróżnicowanie migracji w Polsce w ujęciu miast i gmin na przełomie XX i XXI wieku. *Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis, Studia Geographica*, 3: 138–152.
- Okrasa W. 2019. Migracje wewnętrzne a rozwój i dobrostan społeczności lokalnych – eksploracja przestrzennych aspektów zależności. [W:] J. Hrynkiewicz, J. Witkowski, A. Potrykowska (red.), *Migracje a sytuacja demograficzna Polski*. Rządowa Rada Ludnościowa, Warszawa, s. 117–136.
- Ovchynnikova O., Belovsky C., Khan O. 2021. Neural Network Forecasting of International Population Migration. In 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), IEEE, s. 147–152. <https://doi.org/10.1109/ACIT52158.2021.9548420>
- Paddison R. (red.) 2001. *Handbook of urban studies*. Sage Publications, London–Thousand Oaks–New Delhi.
- Palicki S. 2017. Housing Resources and Needs in Light of Modern Urban Transformations: the Case of Poznan. *Real Estate Management and Valuation*, 25(2): 72–78.

- Paradysz J. 2006. Prognozowanie demograficzne dla małych obszarów na przykładzie miasta Poznania w latach 2005–2030. *Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu*, 1142: 17–33.
- Paradysz J. 2012. Prognoza demograficzna dla Poznania i powiatu poznańskiego do 2035 roku. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu*, 245: 37–54.
- Pietrzak M.B., Wilk J. 2013. Obszary metropolitalne Polski południowej a ruch migracyjny ludności. *Ekonomia i Prawo*, 12(3): 489–506.
- Qiókata V., Khan M.G.M. 2015. Modeling emigration of Fiji's population using Artificial Neural Network. In 2015 2nd Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering (APWC on CSE). IEEE, s. 1–8. <https://doi.org/10.1109/APWCCSE.2015.7476240>
- Radło-Kulisiewicz M. 2015. Przegląd wybranych podejść w zakresie prognozowania rozwoju obszarów miast. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 27: 109–122.
- Radzimski A. 2015. Proces suburbanizacji a powstawanie nowych parafii. Przykład aglomeracji poznańskiej. *Peregrinus Cracoviensis*, 26(1): 5–20.
- Rażniak P. 2007. Migration processes in Polish selected metropolitan areas in the years 2000–2005. *Bulletin of Geography. Socio-Economic series*, 8: 125–139.
- Roberts S. 1991. A critical evaluation of the city life cycle idea. *Urban Geography*, 12(5): 431–449.
- Rust E. 1975. *No Growth: Impacts on Metropolitan Areas*. Lexington Books, Lexington.
- Sasin M. 2021. Czynniki różnicujące migracje stałe w województwie zachodniopomorskim. *Zeszyty Naukowe Wydziału Nauk Ekonomicznych*, 1(14): 131–144.
- Szmytkie R. 2021. Suburbanisation processes within and outside the city: The development of intra-urban suburbs in Wrocław, Poland. *Moravian Geographical Reports*, 29(2): 149–165. <https://doi.org/https://doi.org/10.2478/mgr-2021-0012>
- Szmytkie R. 2022. Kierunki zmian ludnościowych w największych miastach Polski w latach 1980–2020 (Directions of population change in the largest Polish cities 1980–2020). *Przegląd Geograficzny*, 94(3): 307–325.
- Szmytkie R., Sikorski D. 2020. Zmiany ludnościowe małych miast w strefach zaplecza głównych aglomeracji miejskich w Polsce. *Space–Society–Economy*, (31): 7–24.
- Śleszyński P. 2019. Znaczenie migracji wewnętrznych w rozwoju społeczno-gospodarczym i terytorialnym Polski. [W:] J. Hrynkiewicz, J. Witkowski, A. Potrykowska (red.), *Migracje a sytuacja demograficzna Polski*. Rządowa Rada Ludnościowa, Warszawa, s. 60–73.
- Tanaś J. 2012. Kierunki migracji w aglomeracji poznańskiej w latach 1995–2010. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu*, 245: 171–185.
- Tanaś J. 2014. Development of housing construction in Poznań and its suburbs as the reflection of suburbanization processes. *Актуальні проблеми економіки*, 6: 291–300.
- Trojanek M., Tanaś J., Trojanek R. 2016. Changes in the Demographic Structure of the Central City in the Light of the Suburbanization Process (The Study of Poznań). [W:] *Smart City 360°*. Springer, Cham, s. 800–811.
- Trzepacz P., Janas K., Piech K. 2019. Migracje z udziałem ludności miast Polski w latach 2006–2016. [W:] *Przemiany demograficzne miast Polski. Wymiar krajowy, regionalny i lokalny*. Krajowy Instytut Polityki Przestrzennej i Mieszkalnictwa, Kraków, s. 47–61.
- van den Berg L., Drewett R., Klaassen L.H., Rossi A., Vijverberg C.H.T. 1982. *Urban Europe. A study of growth and decline*. Pergamon Press, Oxford.
- Walaszek M. 2014. Migracje wewnętrzne i zagraniczne w aglomeracji poznańskiej w latach 1990–2011. *Człowiek i Społeczeństwo*, 37: 75–90.
- Wdowicka M., Mierzejewska L. 2012. Chaos w zagospodarowaniu przestrzennym stref podmiejskich jako efekt braku zintegrowanego systemu planowania (na przykładzie strefy podmiejskiej Poznania). *Problemy Rozwoju Miast*, 1: 40–52.
- Wdowicka M., Mierzejewska L. 2020. Procesy suburbanizacji w strefie podmiejskiej Poznania. *Prace i Studia Geograficzne*, 65(3): 125–137.
- Zagórski I., Kulisz M., Kłonica M., Matuszak J. 2019. Trochoidal Milling and Neural Networks Simulation of Magnesium Alloys. *Materials*, 12(13): 2070. <https://doi.org/10.3390/ma12132070>
- Zborowski A. 2001. Prognoza demograficzna dla Krakowa – metoda badań. [W:] B. Kortus (red.), *Człowiek i przestrzeń*. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, s. 89–97.

- Zborowski A. 2005. Przemiany struktury społeczno-przestrzennej regionu miejskiego w okresie realnego socjalizmu i transformacji ustrojowej (na przykładzie Krakowa). Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Zborowski A., Raźniak P. 2013. Suburbanizacja rezydencjonalna w Polsce: ocena procesu. *Studia Miejskie*, 9: 37–50.
- Zydroń A., Szczepański P. 2014. Ocena procesu suburbanizacji na przykładzie wybranych gmin powiatu poznańskiego w latach 1999–2009. *Research Papers of the Wrocław University of Economics*, 339: 237–244.

Modeling the migration balance for the city of Poznań with the use of artificial neural networks

Abstract: In the article two goals were achieved. The first goal was to model the internal migration balance for the city of Poznań depending on selected economic and social factors (i.e. the number and area of existing apartments, the number of rooms in an apartment, the average usable floor space of an apartment per 1 person, internal migration balance, population change per 1000 inhabitants, total population, divided into women and men, and population density per square kilometer) in 2005–2020 based on statistical data from the Central Statistical Office. The research area covered 22 communes, which together with the city of Poznań formed the Urban Functional Area. Another research goal was to develop an experimental model of an artificial neural network to predict the migration balance for the city of Poznań at two time points – 1 year and 2 years ahead. It is worth noting that artificial neural networks were used in the study, which is a methodological approach that is relatively rarely used in the literature for this purpose.

This paper showed that it is possible to use artificial neural networks to accurately predict the migration balance for the city of Poznań. The research showed that the analyzed economic and social factors for the communes included in the Urban Functional Area of Poznań were significantly correlated with the migration balance of the population for the city of Poznań, and thus can be used to predict the migration balance for the city of Poznań. The obtained results confirm the maintenance of a negative migration balance for the city of Poznań with a decreasing trend and a positive migration balance in the neighboring communes with a decreasing tendency.

Key words: population migrations, artificial neural networks, migration prediction, suburbanization, Poznań