

AGNIESZKA SZCZEPAŃSKA

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SIECI NEURONOWE A PROCESY DECYZYJNE W GOSPODARCE PRZESTRZENNEJ

Abstract: Spatial management requires making certain decisions at the stage of planning. Functions are assigned to space fragments as a consequence of the decision-making process. The main problem while developing the optimum spatial land use structure is to find homogenous (in terms of planning) areas, as this determines further directions of regional policy. Homogenous areas can be selected using neural networks. This is possible due to a regular correlation between land use forms and factors characterizing the space. Input data sets become bigger and bigger, following an increase in space complexity, so it seems that the decision-making process should be assisted by neural networks and other software tools.

Wprowadzenie

Podstawową rolę w kształtowaniu zagospodarowania przestrzeni odgrywa człowiek. Człowiek dąży bowiem do takiego zagospodarowania terenów, które w możliwie dużym stopniu spełniłoby poszczególne jego potrzeby. Potrzeby te ewoluują w sposób ciągły. Ewolucja potrzeb zmusza do stałej modyfikacji zagospodarowania, jednak konieczność angażowania poważnych środków i względnie długie cykle inwestycyjne powodują, że zmiany zagospodarowania przebiegają wolniej niż zmiany potrzeb społeczeństwa [17]. Dążenie do pozyskiwania terenów pod nowe funkcje, zmiana funkcji, szukanie alternatywnych rozwiązań dla lokalizacji inwestycji, potrzeba określenia właściwego kierunku przekształceń przestrzeni powodują konieczność stworzenia narzędzia, które wspomogłoby proces podejmowania decyzji o przekształcaniach funkcji przestrzeni.

Określenie prawidłowego sposobu zagospodarowania przestrzeni jest zadaniem trudnym. Decyzje w tej sprawie wymagają uwzględnienia

wielu elementów. Różnorodność tych elementów i duży zakres danych powodują, że jest to proces skomplikowany i długotrwały, a co za tym idzie obciążony dużym ryzykiem. Problemy decyzyjne są w praktyce rozwiązywane intuicyjnie i rutynowo [3]. Jeśli jednak chcemy traktować je bardziej rygorystycznie napotkamy wiele komplikacji. Jedną z ich przyczyn jest niepewność w sytuacjach decyzyjnych. Różne rodzaje i stopnie niepewności stworzyły impulsy do poszukiwania metod radzenia sobie z występującymi trudnościami. Planowanie i zagospodarowanie przestrzenne jest typowym przykładem procesu decyzyjnego. Projektowanie struktury przestrzennej jakiegoś obszaru jest pracą koncepcyjną, która wymaga talentu i twórczej wyobraźni. Trudno jest w tej dziedzinie ustalać reguły postępowania, można je tylko wspomóc [17]. Podstawą sukcesu w każdym działaniu jest zminimalizowanie ryzyka związanego z procesem podejmowania decyzji i umiejętnością przewidywania przyszłych zdarzeń. Wybieranie przyszłej funkcji terenu, dokonywane jest najczęściej na podstawie subiektywnych ocen ekspertów (ekspert dokonuje wyboru określonych funkcji). Wymaga to od niego dużej, opartej na doświadczeniu, wiedzy i możliwie szerokiego zakresu informacji o danym fragmencie przestrzeni. Decyzje podejmowane są w ściśle zastanej rzeczywistości, w danym momencie czasu. Na początku cały proces dotyczący planowania przestrzennego był przeprowadzany niejako „na piechotę”, następnie pierwsze komputery wspomagały kreowanie przestrzeni jako liczydło, aż do czasów terażniejszych, kiedy komputer może aktywnie wspomagać proces decyzyjny – GIS, sztuczna inteligencja. Należy podkreślić, że jest to tylko wspomaganie, bowiem mimo dużej dokładności danych, możliwości wielokrotnego ich przetwarzania, istnieje zawsze element nieprzewidywalności, mogący diametralnie zmienić efekt końcowy. Dlatego też „komputerowe” wspomaganie jest tylko pierwszą „przymiarką”, a ostateczny kształt i końcowy wynik zależy od człowieka.

Rozwój techniki i możliwości jej wykorzystania w podejmowaniu decyzji planistycznych powinny pomóc w optymalizacji procesów decyzyjnych dotyczących zagospodarowania przestrzeni. Utechnicznienie procesu decyzyjnego jest zatem nie tylko możliwością ułatwienia pracy, ale także szansą na zwiększenie skuteczności i szybkości działania. Proces tworzenia modeli – na podstawie sieci neuronowych – wymaga od użytkownika tylko wiedzy o czynnikach wpływających na rozwiązywane zadanie, bez znajomości zależności między nimi. Sieć neuronowa to instrument pozwalający na wspomaganie podejmowania decyzji co do zagospodarowania terenu, jest to czynnik, w pewnym sensie, kontrolujący pracę eksperta, pozwalający zweryfikować jego subiektywne oceny co do

przeznaczenia terenu. Duży subiektywizm przy podejmowaniu decyzji, może powodować błędne przypisanie funkcji obszarom. Niezależne, zobiektywizowane narzędzie może wspomagać ten proces, bowiem sieci neuronowe cechuje zdolność zobiektywizowanego przetwarzania.

Głównym celem podjętych badań było opracowanie technologii wykorzystania sieci neuronowych do wspomagania procesów decyzyjnych w gospodarce przestrzennej. Ze względu na dużą różnorodność problemów związanych z wprowadzeniem sieci neuronowych do planowania i zagospodarowania przestrzennego badania zostały ograniczone do wykorzystania sieci przy wyodrębnianiu obszarów jednorodnych pod względem wybranych cech i przypisania im określonych funkcji lub stanów zagospodarowania – jako element wspomagający proces sporządzania studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy.

1. Procesy decyzyjne w gospodarce przestrzennej

Termin *podejmowanie decyzji* oznacza wybór pewnego elementu $u \in U$, przy czym U jest zbiorem decyzji dopuszczalnych. Wybór ten, dokonywany z punktu widzenia określonych celów, ma zawsze pewną motywację. Mówiąc o podjęciu decyzji zakładamy zawsze istnienie pewnego celu (celów). Wybór dowolnego $u \in U$, tj. podjęcie decyzji, nie pozwala jednocześnie określić wyniku. Tak jest wtedy, gdy wynik zależy nie tylko od naszych działań. Można to zapisać w postaci funkcji dwóch zmiennych $F(u, v)$, przy czym $v \in V$. Parametr v charakteryzuje występującą nieokreśloność np. brak niezbędnej informacji, zakłócenia losowe [12].

Wiele wad, które szkodliwie wpływają na gospodarkę przestrzenną tkwi w sposobie podziału i zagospodarowania powierzchni ziemi [10]. Decyzje przestrzenne zmieniają strukturę przestrzenną. Strukturę tę można traktować jako system, systemy zaś mają tę właściwość, że zmiana jednego ich elementu pociąga za sobą zmiany we wszystkich pozostałych [17]. Utrwalona postać pojedynczego układu lokalizacji, czy też oddziaływań przestrzennych obserwowana w danej chwili jest wynikiem procesu, którego podstawowe cechy są izomorficzne w stosunku do innego procesu, wytwarzającego jakikolwiek układ lokalizacyjny lub układ oddziaływań przestrzennych [16]. Efektywność zjawisk jest podnoszona przez zmianę i unowocześnianie struktury [4]. W tym przypadku strukturą podlegającą zmianie jest struktura zagospodarowania przestrzeni.

Gospodarka przestrzenna wymaga podejmowania różnych decyzji; niektóre z nich są podejmowane na etapie tworzenia opracowań planistycznych. Przypisanie funkcji danemu fragmentowi przestrzeni następuje w wyniku realizacji procesu decyzyjnego. Podejmowanie decyzji jest nie tyle jednorazowym aktem wyboru, ile procesem, który polega na zbieraniu i przetwarzaniu informacji o przyszłym działaniu [2].

Wszelkie kierowanie, w tym kierowanie rozwojem przestrzeni, jest zarówno decydowaniem, jak i informowaniem, czyli procesem informacyjno-decyzyjnym. Za szczególną istotę kierowania należy uznać według Sienkiewicza [22] m.in. rozwiązywanie problemów decyzyjnych, powstających w trakcie podejmowania decyzji, czyli dokonywania świadomych wyborów i rozwiązywania szczegółowych zadań z racjonalizacją organizacji działań. Sytuacja decyzyjna powstaje wówczas, gdy spełnione są następujące warunki [22]:

- istnieje podmiot decyzji (planista);
- można określić wynik pożądaný przez podmiot (optymalne zagospodarowanie przestrzeni);
- istnieją co najmniej dwa różne sposoby działania prowadzące do uzyskania wyniku (różne funkcje na tym samym obszarze);
- zachodzi wątpliwość co do wyboru sposobu działania (którą funkcję wybrać);
- istnieje kontekst, czyli określone okoliczności i ograniczenia, na które decydent nie ma pełnego wpływu (np. cechy obszaru).

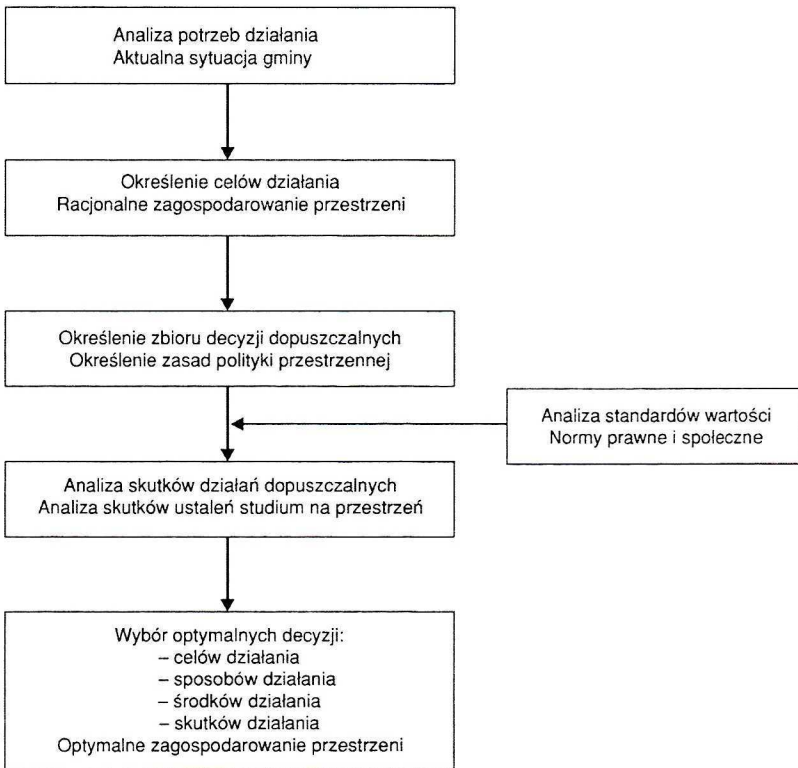
Optymalizacja jest metodą wyboru najlepszej decyzji w określonych warunkach. Jest to działalność, której celem jest uzyskanie najlepszego rezultatu w danych warunkach i przy określonym kryterium oceny. Optymalizacja jest to postępowanie, polegające na wyborze elementu z danego zbioru na podstawie relacji, ustalające pewien porządek w tym zbiorze [6]. Elementami zbioru są rozwiązania konkretnych problemów, w tym przypadku różne warianty zagospodarowania przestrzennego. Zbiór rozwiązań jest ograniczony przez różnorodne warunki uboczne, np. ochronę dóbr przyrody, dóbr kultury itp.

Przeważnie każdy rodzaj procesu lub projektu może powodować zmiany w otaczającym użytkowaniu ziemi. Niektóre procesy i projekty mają założony efekt, podczas gdy inne mogą powodować zmiany lub mieć wtórne działanie [1]. Dochodzenie do konsensusu w zagospodarowaniu przestrzennym następuje w trzech etapach [7]:

- identyfikacja stopnia, w którym obiektywne funkcje zaproponowane w procesie planowania użytkowania ziemi przez różnych ekspertów pokrywają się i przeciwstawiają sobie lub mogą być przyczyną konfliktu;

- optymalizacja wykorzystania ziemi na podstawie różnych, obiektywnych funkcji zaproponowanych przez różnych ekspertów i analiza zasięgu, która z zaproponowanych optymalizacji pełni funkcję przewodnią na podobnym modelu użytkowania terenu;
- rozwój i aplikowanie interaktywnych metod do maksymalizowania zasięgu konsensusu w modelu użytkowania ziemi.

Następstwo decyzji w określaniu najlepszego użytkowania ziemi przedstawia się następująco (ryc. 1):
 identyfikacja celów → identyfikacja opcji i ich potencjałów → wybór kompilacji opcji, która zoptymalizuje zdobycie celów.



Ryc. 1. Schemat sytuacji decyzyjnej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [21].

2. Sytuacje decyzyjne w *studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy*. Wskazanie możliwości zastosowania sieci neuronowych

Wszystkie omówione warunki są spełnione w procesie sporządzania *studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy*, którego celem jest określenie optymalnego zagospodarowanie przestrzeni, przy danej jej charakterystyce.

Podstawowe kroki w procesie planowania, a więc i w procesie sporządzania *studium* są następujące [1]:

- identyfikacja problemu i możliwości,
- inwentaryzacja i prognoza źródeł zagrożeń,
- formułowanie alternatywnych planów,
- ocena efektów,
- zestawienie (porównanie) alternatywnych planów,
- wybór planu.

Mając na uwadze powyższe, oraz po analizie ww. czynności pogrupowano je w fazy:

I Faza – postawienie problemu

II Faza – analiza danych

III Faza – sformułowanie wniosków (decyzje dotyczące preferencji i barier rozwoju)

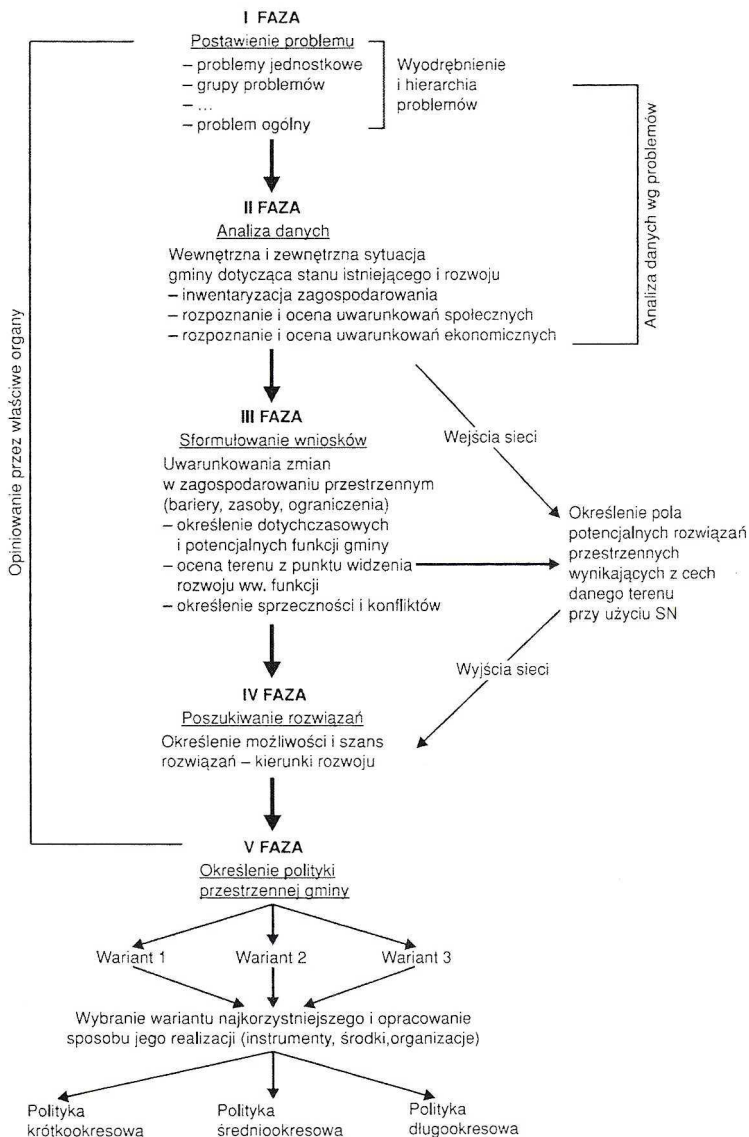
IV Faza – poszukiwanie rozwiązań (decyzje co do strategii rozwoju)

V Faza – określenie polityki przestrzennej (decyzje co do kierunków polityki przestrzennej i wybranie najkorzystniejszego wariantu) (ryc. 2).

Analizując poszczególne fazy tworzenia *studium* stwierdzono, że III, IV i V to fazy decyzyjne. Stwierdzono także, że możliwość utechnicznienia procesu decyzyjnego może mieć miejsce w fazie II, III i IV.

Jednym z elementów III fazy jest ocena terenu z punktu widzenia rozwoju funkcji i ocena lokalizacji. Jako pole rozwiązań przestrzennych rozumie się obszary potencjalnego rozwoju różnych funkcji, np. mieszkaniowo-usługowych, rekreacyjnych, rolniczych, przemysłowych [8]. Wyodrębnia się je w drodze eliminacji obszarów z różnych względów niedostępnych, chronionych lub nie nadających się do rozwoju danej funkcji i jednocześnie – przez wyodrębnianie obszarów wykazujących szczególne predyspozycje do rozwoju tej funkcji.

W toku czynności prowadzących do wyznaczania pola rozwiązań dają się wyróżnić trzy etapy:



Ryc. 2. Fazy prac nad studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy ze wskazaniem możliwości zastosowania sieci neuronowych

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [8, 17].

- przygotowania do wyznaczania pola rozwiązań, tj. tworzenie zbiorów danych o przestrzennych cechach danego obszaru opisywanych w kategoriach obiektywnych (chodzi o cechy, które w określonych warunkach mogą stanowić ograniczenia, lub preferencje rozwoju różnych funkcji);
- właściwego wyznaczenia pola rozwiązań, tj. interpretacji ww. danych pod kątem określonej funkcji, przetwarzania tych danych oraz interpretacji uzyskanych wyników (rozwiązania konkretnego, jednostkowego zadania);
- konfrontowania wyników uzyskanych przy rozwiązywaniu różnych zadań (wyróżnienie obszarów nakładających się zainteresowań różnych funkcji, obszarów jednofunkcyjnych i na tej podstawie – ustalenie zasad „dysponowania” obszarem gminy).

Delimitacja obszaru, dokonana z użyciem sieci neuronowych, pokazuje pola jednorodne pod względem przyjętych cech. Wyszukanie obszarów „jednorodnych planistycznie” jest głównym problemem przy opracowaniu *studium*, gdyż warunkuje to dalsze kierunki działań w polityce przestrzennej.

Celem delimitacji przestrzeni jest ograniczenie różnorodności rzeczywistości, co daje możliwość łatwiejszego jej poznania i sprawniejszego zarządzania. Rzeczywiście istniejąca przestrzeń jest bowiem nieskończenie zróżnicowana [15]. Otaczającą nas rzeczywistość pojąć możemy tylko posługując się modelami teoretycznymi, które są świadomym uproszczeniem badanych zjawisk i procesów [29]. To świadome uproszczenie wynika ze wzrostu złożoności przestrzeni, różnorodności elementów ją charakteryzujących oraz wzajemnych relacji i powiązań między nimi. Te nadmierne uproszczenia mogą prowadzić do lekceważenia czynników, które w rzeczywistości mogą mieć istotny wpływ na przebieg badanych procesów [17]. Rosnąca złożoność otoczenia i postęp techniczny, stworzyły nowe zróżnicowane i trudne zadania klasyfikacyjne. W wyniku tego do klasyfikacji zaczęto stosować różne narzędzia, w tym sieci neuronowe.

Konieczność klasyfikacji wynika z następujących przesłanek:

- metodologicznej, sprowadzającej się do uzyskiwania bardziej jednorodnych przedmiotów analizy, w których łatwiej wyodrębnić czynniki systematyczne oraz określić związki przyczynowo–skutkowe;
- poznawczej, polegającej na zredukowaniu dużej liczby informacji do kilku podstawowych kategorii, co upraszcza proces wnioskowania;
- ekonomicznej, pozwalającej na zmniejszenie nakładów pracy przez ograniczenie rozważań do typowych faktów, zjawisk, obiektów przy niewielkim zniekształceniu wyników badań.

Zagadnienie delimitacji jakiegokolwiek przestrzeni sprowadza się w zasadzie do wskazania zasięgu występowania określonej wartości cechy istotnej dla obserwatora. Delimitacja to umiejscowienie w przestrzeni zbioru podobnych lub identycznych, pod jakimś względem, przedmiotów.

3. Informatyczne wspomaganie procesów decyzyjnych

Jedną z podstawowych nowoczesnych form doskonalenia systemów kierowania jest informatyzacja, rozumiana jako proces informatycznego (komputerowego) wspomaganie procesów informacyjno-decyzyjnych. W ten sposób kształtuje się nowa „generacja” systemów kierowania. Informatycznym systemem kierowania nazywa się taki system kierowania, którego działanie opiera się na wykorzystaniu systemu informatycznego w sferze realizacji procesów informacyjnych i tych procesów decyzyjnych, których istotę stanowi podejmowanie decyzji – rozwiązań (decyzji programowanych). Z powyższego określenia wynika m.in., że decyzje – wybory (akty świadomego wyboru) pozostają w gestii decydentów. W wyniku zastosowania systemu informatycznego powinno wzrosnąć prawdopodobieństwo trafności decyzji (optymalizacja zagospodarowania przestrzennego) ze względu na oczekiwany wzrost wartości informacji udostępnianych decydentom przez system informatyczny [21].

Również sieci neuronowe są formą doskonalenia systemów kierowania. Mogą one bowiem stanowić wspomaganie procesów decyzyjnych podejmowanych w gospodarce przestrzennej.

4. Wybór technologii utechnicznienia – dlaczego wykorzystano sieci neuronowe

Wykorzystanie techniki, szczególnie komputerowej, w opracowaniu *studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy*, może być bardzo różnorodne i wielorakie. Może to dotyczyć zarówno procesu obliczeniowego, kartograficznego, jak i decyzyjnego (co było przedmiotem badań).

Badacz sieci neuronowych musi wiedzieć (lub przynajmniej mieć mocne podejrzenia), że istnieje zależność między proponowanymi, znanymi sygnałami (traktowanymi jako wejścia sieci) a nieznanymi wartościami.

ciami wynikowymi, które chciałby związać z jej wyjściami. Zależnośc ta może by c nieznaną co do swojego charakteru (to ustalą sama siec w trakcie procesu uczenia), a także w konkretnych przykładach zgromadzonych w formie zbioru uczącego może by c mało czytelna – jednak dla sensownego zastosowania sieci konieczne jest, żeby ta konkretna zależnośc istniała i miała charakter regularny i powtarzalny. Forma zagospodarowania przestrzeni zależy od wielu czynników. Zależnośc ta ma właśnie regularny i powtarzalny charakter, dlatego też możliwe jest zastosowanie sieci. Przesłanką do wykorzystania technologii sieci neuronowych w *studium* jest również konieczno c posługiwania się dużym zbiorem danych wejściowych, co zwiększa ryzyko popełnienia błedu przy podejmowaniu decyzji, zwiększa czasochłonno c opracowa i.

Dzięki możliwości uczenia się oraz swoistej strukturze, sztuczne sieci neuronowe cechuje zdolno c przetwarzania danych niekompletnych, możliwośc generowania przybli zonych danych wyjściowych, przetwarzanie równoległe, duża tolerancja na b edy, możliwośc przetwarzania informacji rozmytych, chaotycznych, niekompletnych, a nawet sprzecznych.

Ważną cechą sieci neuronowych jest to, że w wyniku procesu uczenia siec może nabyc zdolności przewidywania. Sieci neuronowe dzięki zdolnościom do uczenia, adaptacji i uogólniania doświadcze i, pozwalają zautomatyzować procesy wnioskowania na podstawie zgromadzonych danych.

Rodzajów sieci neuronowych jest dużo, ale na podstawie analizy ich możliwości, wykorzystano siec Kohonena, jako siec dokonującą klasyfikacji – delimitacji, oraz jako siec uczącą się w trybie bez nauczyciela (aby nie przenosić zaistniałych, a nie wykrytych błedów w zagospodarowaniu przestrzeni), bowiem w przypadku *studium* mamy do czynienia z problemem klasyfikacji jako podstaw  generowania propozycji decyzji.

Podstawową funkcj , jaką pełni siec Kohonena, jest odwzorowanie topologii danych wejściowych przez dużo mniejszą liczb  wsp rzednych wag neuronów tworzących siec. W związku z tym jednym z możliwych zastosowa i sieci tego typu jest eksploracyjna analiza danych. Siec Kohonena może nauczyc się np. rozpoznawania skupie i występujących w wejściowych danych i jednocześnie nauczyc si  kojarzenia podobnych klas danych – bez wzg du na to, jakie są kryteria podobieństwa danych (byc może nawet nie znane *a priori* twórcy algorytmu), a także bez wzg du na to, ile ich jest.

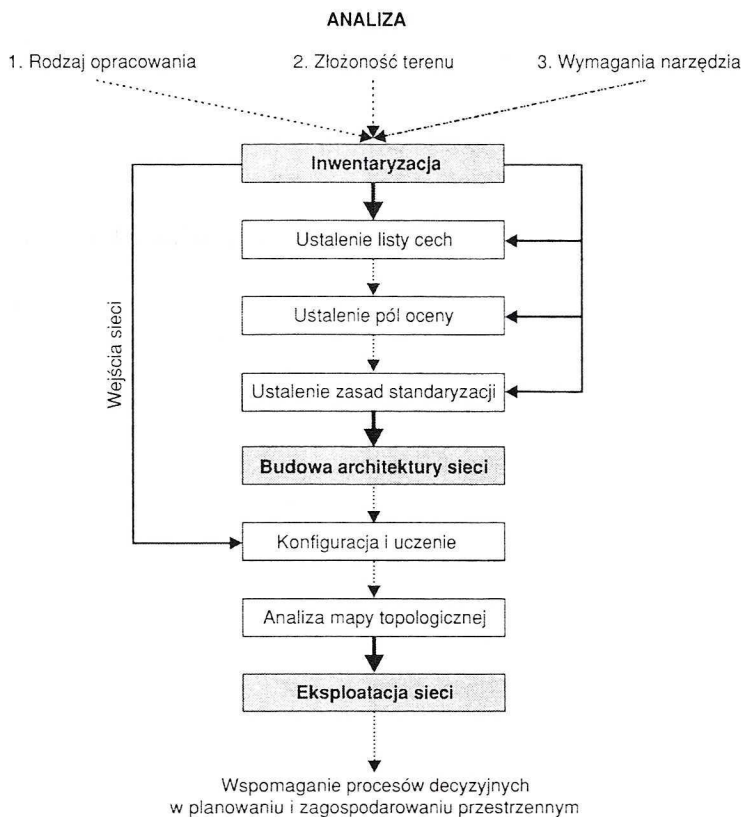
Dzięki projekcji wykonanej przez siec Kohonena użytkownik może w lepszym stopniu zrozumiec dane, co z kolei umożliwia ulepszenie procesu ich dalszej analizy i wykorzystania za pomocą tej samej

sieci neuronowej lub z wykorzystaniem innych narzędzi. Na przykład po rozpoznaniu skupień występujących w danych można nadać im nazwy, przez co sieć Kohonena uzyskuje możliwość przeprowadzenia ich kwalifikacji zgodnie z wewnętrzną logiką samych danych, a nie na podstawie arbitralnych kryteriów. Sieć Kohonena może być użyta do klasyfikacji danych także wówczas, gdy klasy wyjściowe są z góry znane. Zaletą takiego z kolei postępowania jest zdolność sieci do przedstawienia stopnia podobieństwa między klasami.

Ważnym elementem przygotowania sieci Kohonena do bieżącego użytkowania jest właściwe opisanie uformowanej mapy topologicznej. Opis taki uzyskuje się przez uruchomienie sieci dla poszczególnych przypadków zawartych w ciągu uczącym i obserwację mapy topologicznej w celu sprawdzenia, czy powstałym skupieniom można przypisać jakieś znaczenia – w naszym przypadku mogą to być np. formy zagospodarowania przestrzeni. Ustalenie związków między skupieniami a znaczeniami wymaga zwykle odwołania się do dziediny, której dotyczy aplikacja, jeśli jednak obiektom ciągu uczącego można nadać jakieś merytoryczne interpretacje, to pojawia się możliwość zaetykietowania przez te przypadki całej mapy topologicznej. Po identyfikacji skupień można więc przypisać określone etykiety do poszczególnych przypadków, co ma pewne znaczenie praktyczne, ponieważ sieć Kohonena wykryje i zasygnalizuje wszystkie obiekty podobne do tych zaetykietowanych, a to pozwoli na pogłębioną jakościową analizę wszelkich podawanych do sieci danych i określenie jednorodnych pól podstawowych, a tym samym obszarów jednorodnych. Po takim udoskonaleniu mapy topologicznej można prezentować sieci nowe przypadki. Jeśli neuron zwycięski będzie mieć etykietę, to uznamy, że sieć dokonała jednoznacznej klasyfikacji pokazanego przypadku. Jeśli natomiast neuron, który zostanie „zwycięzcą”, po pokazaniu pewnego przypadku nie będzie mieć *a priori* przypisanej mu etykiety, to można uznać, że sieć nie jest w pełni zdecydowana, ale można pośrednio wnioskować o przynależności albo o znaczeniu tego przypadku na podstawie etykiet elementów sąsiednich. Eksploatując sieć Kohonena, stale możemy bowiem korzystać z ustalonej prawidłowości, mówiącej, że sąsiedztwu neuronów w sieci odpowiada bliskość sygnałów w przestrzeni wejść sieci – a to na ogół oznacza także podobieństwo obiektów opisywanych tymi sygnałami.

W „czystym” modelu sieci Kohonena nie ma możliwości wyznaczenia jednoznacznej odpowiedzi wyjściowej także wtedy, gdy neuron zwycięski nie ma przypisanej etykiety (lub gdy jego etykieta jest nie-

zgodna z żadną z dopuszczalnych wartości nominalnej zmiennej wyjściowej). Dlatego często stosuje się pewną interpretację rozszerzającą, polegającą na tym, że jeśli zwycięzcą zostanie jeden z neuronów nie mających przypisanej określonej klasy – wówczas szuka się w jego otoczeniu (wśród jego sąsiadów) neuronu mającego zdefiniowaną etykietę. Jeśli taki „opisany” neuron w bezpośrednim sąsiedztwie „zwycięzcy” jest i jeśli jest tylko jeden – to ta właśnie etykieta może być podana jako prawdopodobna klasyfikacja sygnału wejściowego. Jest to oparte na znanej właściwości sieci Kohonena polegającej na tym, że sąsiednie



Ryc. 3. Zakres czynności związanych z wykorzystaniem sieci neuronowych przy sporządzaniu studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy

Źródło: Opracowanie własne.

neurony sygnalizują w niej sygnały podobne do siebie (bliskie w sensie metryki przestrzeni wejść). Podane w taki sposób przypuszczalne rozpoznanie wejściowego obiektu może być oczywiście traktowane jako wiarygodne z podobnym poziomem ufności, jak rozpoznanie oparte na precyzyjnym zaetykietowaniu zwyczajcy – ale z reguły jest to rozwiązanie lepsze niż odmowa rozpoznania.

Prawdziwa odmowa klasyfikacji wejściowego obiektu może w tym schemacie nastąpić dopiero wtedy, jeśli takiego zaetykietowanego sąsiada w otoczeniu zwycięskiego punktu wcale nie ma albo jeśli w sąsiedztwie „anonimowego” zwyczajcy jest kilka neuronów posiadających etykiety różnych klas. W takich przypadkach poprawna i jednoznaczna interpretacja wyniku może sprawiać kłopoty i zasadna jest raczej odmowa rozpoznania.

Klasyfikacja przestrzeni może być dokonana na podstawie opisu rzeczywistości – cech pól jednorodnych, bez uwzględnienia powiązań między nimi. W analizowanym przypadku zostaną skojarzone podobne pola podstawowe, co pozwoli na sprawniejsze zarządzanie przestrzenią. Umożliwi to bowiem wskazanie obszarów podobnych, a co za tym idzie podobny sposób zagospodarowania, zmianę lokalizacji między obszarami „analogicznymi”, wybór optymalnego wykorzystania na obszarach konfliktowych. Użyteczność sieci Kohonena polega głównie na szybkim uczeniu się i łatwości interpretacji.

Na ryc. 3 przedstawiono propozycję technologii opracowania studium uikzp gminy z wykorzystaniem sieci neuronowej – sieci Kohonena.

5. Ustalenie kryteriów doboru cech wpływających na formę zagospodarowania przestrzeni stanowiących wejścia sieci neuronowej

Można podać następujące podstawowe kryteria doboru cech spełniających wymagania sieci neuronowych:

- zmienności,
- inwentaryzacji,
- identyfikacji.

Uwzględnienie tych trzech kryteriów pozwoli na ustalenie właściwej listy cech charakteryzujących formy zagospodarowania przestrzeni – przy wykorzystaniu sieci neuronowych, do opracowań planistycznych o różnej szczegółowości.

Jednym z kryteriów doboru, zaproponowanym wcześniej, jest zmienność czynników. Podyktowane to jest długofalowością strategii zagospodarowania przestrzennego wynikającej ze *studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy*. Ponieważ planowanie jest dokonywane na podstawie długich horyzontów czasu, to i uwzględniane czynniki również muszą być stałe w czasie, aby stanowić stabilne podstawy decyzji.

Kolejne kryterium to możliwości inwentaryzacji. Możliwość inwentaryzacji w dowolnie dobranych obszarach jest dogodna ze względu na różnorodność rozmiarów pól podstawowych. Umożliwia to dostosowanie wielkości pola podstawowego do rodzaju opracowania, pożądanego efektu końcowego, stopnia zainwestowania (złożoności terenu), rodzaju problemu do rozwiązania. Kryterium inwentaryzacji narzuca także wykorzystanie techniki sieci neuronowych, bowiem wejścia sieci mogą stanowić tylko dane numeryczne, co wiąże się z koniecznością inwentaryzacji cech.

Trzecie z zaproponowanych kryteriów to możliwość identyfikacji w opracowaniach kartograficznych. Podyktowane to jest warunkiem czasochłonności i kapitałochłonności. Inwentaryzacja na podstawie materiałów kartograficznych cechuje się względnie krótkim czasem niezbędnym do wykonania zadania. Ponieważ sieć neuronowa ma umożliwić wspomaganie procesu decyzyjnego przy sporządzaniu *studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy* – pokazywać pierwsze przybliżenie rozmieszczenia obszarów jednorodnych, zastosowanie do inwentaryzacji materiałów kartograficznych wydaje się zasadne.

Do najmniej zmiennych, a tym samym najtrwalszych należą czynniki przyrodnicze (naturalne). Zalicza się do nich położenie geograficzne, cechy techniczne gruntu, ukształtowanie terenu, warunki mikroklimatu (opady, nasłonecznienie, ruchy mas powietrza), jakość gleb, warunki wodne, walory krajobrazu, bogactwa naturalne. Przy obecnych osiągnięciach techniki, w zasadzie w każdych warunkach może być wprowadzona dowolna forma użytkowania, bo wiąże się to wyłącznie z wielkością poniesionych nakładów finansowych. Jednak wzrost świadomości ekologicznej i propagowanie zasad ekorozwoju, oraz wymagania lokalizacyjne dotyczące odpowiedniej jakości środowiska powodują, że czynniki przyrodnicze stają się warunkami podstawowymi.

Drugą grupą są warunki typu antropogenicznego. Zalicza się do nich przestrzenną dostępność, stan zagospodarowania, infrastrukturę.

Za ich przyjęciem przemawia także mała (jednak większa niż czynników przyrodniczych) zmienność w czasie, wszystkie one bowiem do dokonania zmian wymagają określonych horyzontów czasu. Zasoby antropogeniczne cechują się dużą bezwładnością – raz stworzone przez siebie urządzenia człowiek stara się do końca użytkować, zanim zacznie budować nowe (wszelkie urządzenia są stopniowo modernizowane i rozbudowywane, niechętnie natomiast podejmuje się działania w celu radykalnego przekształcenia struktur przestrzennych) [17]. Wśród nich największą trwałość wykazują układy sieciowe infrastruktury technicznej oraz struktury osadniczej

Zarówno czynniki przyrodnicze, jak i antropogeniczne można inwentaryzować w dowolnie dobranych obszarach. Można inwentaryzować ich występowanie, oraz charakterystyki jakościowe bez ograniczeń co do wielkości analizowanego fragmentu przestrzeni. Są one zawsze związane z określonym jej wycinkiem.

Należy podkreślić, że nie można rozpatrywać warunków naturalnych i antropogenicznych w oderwaniu od innych czynników egzogenicznych i endogenicznych, występuje bowiem ich wzajemne przenikanie i korelacja. Uproszczenia takiego dokonano w prezentowanym opracowaniu, przyjęto bowiem założenie, że najpierw można określić pola jednorodne ze względu na ww. uwarunkowania, a następnie uwzględnić pozostałe z nich

6. Zastosowanie zaproponowanej technologii dla przykładowej gminy

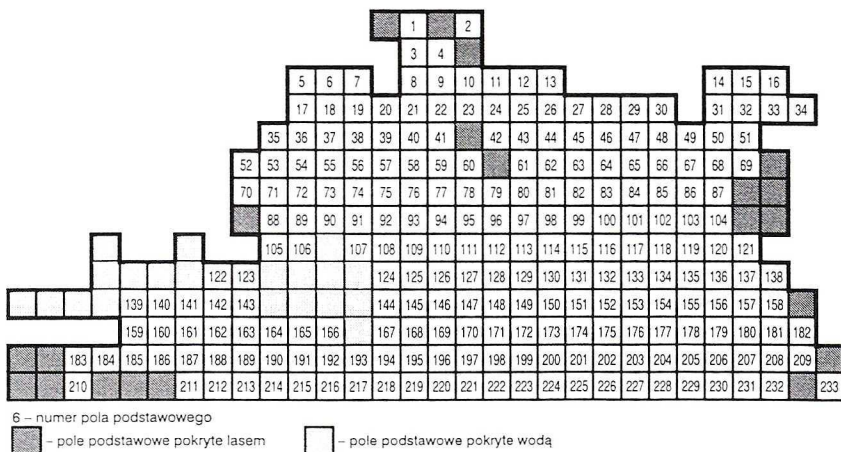
Jako zmienne diagnostyczne przyjęto czynniki przyrodnicze i antropogeniczne, co wynika z kryteriów omówionych wyżej. Po analizie literatury i po uwzględnieniu rodzaju informacji zawartych na podkładach mapowych, przyjęto do opracowania mapę topograficzną w skali 1:25 000, obejmującą swym zasięgiem obszar gminy. Przedstawia ona dane absolutne, jakościowe lub ilościowe pochodzące z bezpośredniej obserwacji [13]. Zawiera w swojej treści wiele elementów antropogenicznych i naturalnych, które wchodzi w skład czynników przyrodniczych i antropogenicznych wpływających na formę zagospodarowania przestrzeni. Lista inwentaryzowanych cech może być modyfikowana i uzupełniana w zależności od potrzeb. Lista cech przyjęta w opracowaniu została stworzona na potrzeby pierwszego etapu badań.

Przyjęto następujące zmienne diagnostyczne:

- cechy przyrodnicze: rzeźba terenu, wody płynące i stojące, roślinność – lasy, drzewa, zadrzewienia, zakrzaczenia, żywopłoty, zarośla, trzciny i sitowia;
- stan zagospodarowania: budynki i budowle, grunty orne, łąki i pastwiska, sady;
- przestrzenna dostępność: drogi, koleje;
- infrastruktura techniczna: przewód elektryczny, linia telefoniczna.

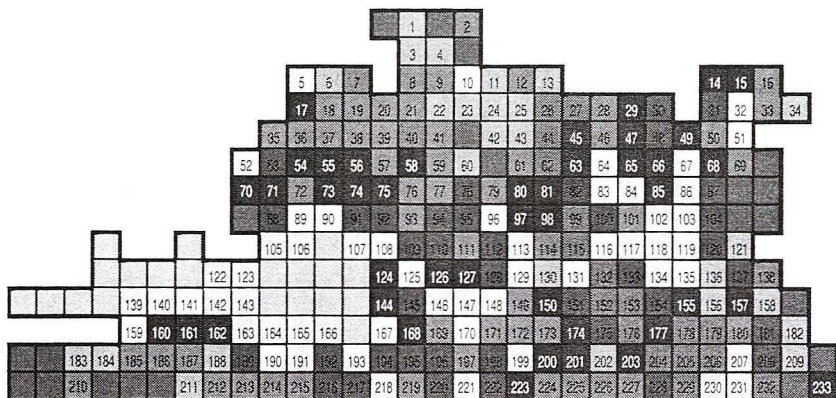
W obiekcie badawczym inwentaryzacji podlegało występowanie danej cechy, natomiast nie była uwzględniana jej wielkość. Dla uproszczenia przyjęto założenie, że samo występowanie charakterystyki warunkuje wykorzystanie i podobieństwo obszarów (np. występowanie na danym obszarze sieci energetycznej umożliwia zmniejszenie kosztów lokalizacji inwestycji wymagających energii elektrycznej – zabudowy mieszkalnej, przemysłowej – i nie jest ważna długość sieci, a samo jej występowanie). Inwentaryzacja została dokonana w polach podstawowych. Sieć pól podstawowych spójnie pokryła obszar całej gminy. Wielkość pól i dobór skali zależy od złożoności terenu (wielorakości cech go opisujących), zakresu prowadzonej polityki przestrzennej, pośrednio od stopnia zainwestowania.

Wytrenowana sieć Kohonena przedstawiła w postaci mapy topologicznej sklasyfikowany obszar gminy – delimitację obszaru gminy. Analiza skupień występujących na mapie topologicznej i ich interpre-

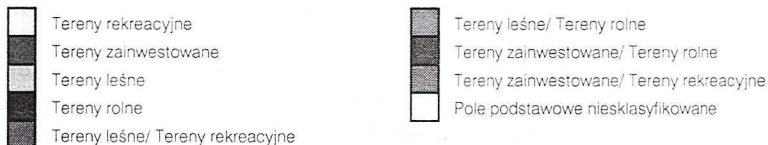


Ryc. 4. Gmina Stawiguda – pokrycie polami podstawowymi

Źródło: Opracowanie własne.



Pola podstawowe jednorodne:



Ryc. 5. Gmina Stawiguda – pola jednorodne (przykład)

Źródło: Opracowanie własne.

tacja pod kątem rozwiązywanego problemu pokazała jednorodne pola podstawowe pod względem charakteryzujących je cech. Miejsca skupień, to obszary którym można przypisać takie same, albo nie kolidujące ze sobą funkcje. Pola podstawowe położone na mapie topologicznej w pobliżu skupień to obszary, które są podobne (ale nie takie same), w związku z czym są „przyciągane” przez uformowane skupienia. Wyniki waloryzacji części powierzchni przykładowej gminy, z zastosowaniem sieci Kohonena, przedstawiają ryciny 4 i 5.

Wnioski

Biorąc pod uwagę literaturę przedmiotu, uzyskane wyniki badań oraz własne spostrzeżenia można sformułować następujące uwagi końcowe:

- Racjonalne zagospodarowanie przestrzeni zmusza do uwzględniania wielu warunków i różnych aspektów odniesienia – przeciwnych sobie potrzeb społecznych, ekonomicznych i ekologicz-

nych. Ograniczoność przestrzeni wywołuje potrzebę uwzględnienia tych różnorodnych warunków, a to staje się trudne do opracowania. Wzrost złożoności struktur przestrzennych powoduje konieczność u techniczenia procesów decyzyjnych w planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym.

- Sieci neuronowe to wygodne narzędzie do wykorzystania wszędzie tam, gdzie algorytm działania musi być często i szybko modyfikowany – np. w planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, bo przestrzeń to obiekt o często zmieniających się w czasie właściwościach-cechach.
- W zależności od warunków, cechy wejściowe mogą być różne. Ich dobór może zależeć od dostępnych materiałów, dostępnych środków pieniężnych, charakteru obszaru, czasu przeznaczanego na wykonanie opracowania itd. Trzeba jednak pamiętać, że od doboru cech uzależniony jest końcowy efekt „wytrenowania” sieci.
- W pracy inwentaryzowano tylko występowanie danej cechy. Wejścia będące miarą danej cechy pozwolą na pogrupowanie pól podstawowych pod względem natężenia cech.
- Zagospodarowanie przestrzenne ma dużą bezwładność – najpierw pojawia się zapotrzebowanie na daną funkcję, a potem jest wyszukiwany pod nią teren. Obszary jednorodne mogą pokazywać „zapasy” terenu pod dany rodzaj użytkowania.
- Ponieważ sieć neuronowa wyszukuje powiązania między wejściami w sobie tylko znany sposób (nie możemy go odczytać), to być może podpowie niestandardowe rozwiązanie, które nie było dotąd praktykowane.

Literatura

- [1] Bowers Marriott B., 1997, *Practical guide to environmental impact assessment*. Wyd. McGraw-Hill.
- [2] Koźmiński A. (red.), 1979, *Decyzje. Analiza systemowa organizacji*. PWN, Warszawa.
- [3] Domański R., 1990, *Gospodarka przestrzenna*. PWN, Warszawa.
- [4] Domański R. 1995. *Transformacja systemów miejskich w terminach synergetyki*. Przegląd Geogr., t. LXVII, zał. 1-2.
- [5] Driankov D., Kellendoorn H., Reinfrank M., 1996, *Wprowadzenie do sterowania rozmytego*. Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- [6] Findeisen W., Szymanowski J., Wierzbicki A., 1977, *Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji*. PWN, Warszawa.

- [7] Fresco L. O., Stroosnijder L., Bouma J., Von Keulen H., 1994, *The future of the land*. England.
- [8] *Gospodarka przestrzenna gmin – poradnik*. 1996, Inst. Gosp. Przestrz. i Komun. Oddział w Krakowie. Liewelyn-Davies, London.
- [9] Kiełtyk L., red 2000, *Inteligentny system prognozowania*. Wyd. Politechniki Częstochowskiej.
- [10] Koreleski K., 1983, *Przyrodnicze podstawy użytkowania rolniczej przestrzeni produkcyjnej*. Wyd. AR, Kraków.
- [11] Masters T., 1996, *Sieć neuronowa w praktyce*. Wyd. Nauk. -Techn., Warszawa.
- [12] Moisiejew N. N., 1983, *Elementy teorii systemów optymalnych*. Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- [13] Morrison J., Robinson A., Sale R., 1988, *Podstawy kartografii*. PWE, Warszawa.
- [14] Osowski S., 1996, *Sieci neuronowe*. Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- [15] Pietraszewski W., 1983, *Podstawy informacyjne planowania przestrzennego*. Studia KPZK PAN, t. LXXXVI, Warszawa.
- [16] Pred A. R., Kibel B. M., 1977, *Ogólny model procesów, lokalizacji działalności gospodarczej a gry symulacyjne*. Przegląd zagranicznej literatury geograficznej. Z.2 Wyd. IGIPIZ PAN.
- [17] Regulski J. red., 1985, *Planowanie przestrzenne*. PWE, Warszawa.
- [18] Rutkowska D. 1997. *Inteligentne systemy obliczeniowe*. Ak. Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- [19] Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L., 1987, *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte*. PWN, Warszawa.
- [20] Rymarczyk M., 1997, *Decyzje, symulacje, sieci neuronowe*. Wyd. Wyższej Szkoły Bankowej, Poznań.
- [21] Sienkiewicz P., 1983, *Inżynieria systemów*. Wyd. MON, Warszawa.
- [22] Sienkiewicz P., 1988, *Inżynieria systemów kierowania*. PWE, Warszawa.
- [23] *Statistica Neural Networks*, 1998, Guide Statsoft.
- [24] Świątnicki Z., Wantock-Rekowski R., 1998, *Sieci neuronowe w zastosowaniach wojskowych*. Wyd. Bellona, Warszawa.
- [25] Tadeusiewicz R., 1993, *Sieci neuronowe*. Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- [26] Tadeusiewicz R., 1994, *Problemy cybernetyki*. PWN, Warszawa.
- [27] Tadeusiewicz R., 1998, *Elementarne wprowadzenie do techniki sieci neuronowych z przykładowymi programami*. Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- [28] *Wprowadzenie do sieci neuronowych*. 2001, Wyd. Statsoft, Kraków.
- [29] Zeliaś A., 1991, *Ekonometria przestrzenna*. PWE, Warszawa.
- [30] Żurada J., Barski M., Jędruch W., 1996, *Sztuczne sieci neuronowe*. PWN, Warszawa.