

**Uniwersytet Łódzki**  
**Wydział Ekonomiczno-Socjologiczny**  
**Kierunek Informatyka i Ekonometria**

**Gra ekonomiczna symulująca sterowanie gospodarką  
narodową implementowana za pomocą systemu  
komputerowego wykorzystującego sztuczną sieć  
neuronową.**

Przedmiot: Inżynieria systemowa i projektowanie systemów.

Prowadzący: prof. dr hab. Jerzy S. Zieliński

Wykonawcy: Konrad Kaszubski  
Michał Kuczewski  
Paweł Rończak

**Łódź 2002**

## Spis treści.

<b>Spis treści</b> .....	<b>2</b>
<b>Założenia do projektu:</b> .....	<b>3</b>
<i>Cel:</i> .....	3
<i>Metoda rozwiązania problemu.</i> .....	3
<i>Kryterium oceny:</i> .....	3
<b>Rozdział I: Opracowanie teorii ekonomicznej.</b> .....	<b>5</b>
<i>Zadanie:</i> .....	5
<i>ETAPY TWORZENIA TEORII EKONOMICZNEJ:</i> .....	5
<i>Podział i dobór zmiennych w tworzonym modelu:</i> .....	5
<i>Powód użycia podanych zmiennych:</i> .....	6
<i>Bibliografia:</i> .....	10
<b>Rozdział II: Gromadzenie i weryfikacja danych statystycznych.</b> .....	<b>11</b>
<i>Zadanie:</i> .....	11
<i>Korelacja i zależność statystyczna zmiennych modelu.</i> .....	11
<i>Test chi-kwadrat niezależności.</i> .....	12
<i>Stosunek korelacyjny.</i> .....	13
<i>Współczynnik Zbieżności Czuprowa.</i> .....	14
<i>Dane statystyczne</i> .....	15
<i>Budowanie tablicy korelacyjnej - wzory</i> .....	15
<i>Analiza statystyczna</i> .....	16
<i>Badanie zależności analizowanych zmiennych przy pomocy testu Chi-kwadrat ...</i>	18
<i>Badanie korelacji między analizowanymi zmiennymi przy pomocy współczynnika T- Czuprowa oraz stosunku korelacyjnego.</i> .....	19
<i>Bibliografia:</i> .....	20
<b>Rozdział III: Zaprojektowanie i implementacja systemu komputerowego.</b> .....	<b>21</b>
<i>Zadania</i> .....	21
<i>Wybór rodzaju sieci neuronowej.</i> .....	21
<i>Określenie techniki uczącej sieć.</i> .....	23
<i>Zaprojektowanie hierarchii podstawowych klas sieci neuronowej (drzewo dziedziczenia w załączniku nr 7).</i> .....	25
<i>Tworzenie sytemu komputerowego implementującego proces uczenia sieci.</i> .....	26
<i>Wyniki generowane przez sieć.</i> .....	28
<i>Bibliografia:</i> .....	30

## Założenia do projektu:

### **Cel:**

Celem projektu jest zbudowanie systemu komputerowego reprezentującego uproszczony model gospodarki narodowej i umożliwiającego przeprowadzanie symulacji rozwoju gospodarki w oparciu o wprowadzanie do systemu wielkości makroekonomicznych, odpowiadających czynnikom za pomocą których faktycznie wpływa się na stan gospodarki narodowej na centralnych szczeblach władzy.

### **Metoda rozwiązania problemu.**

Do modelowania gospodarki zostanie wykorzystana sztuczna sieć neuronowa, która umożliwi zbadanie rozwoju gospodarczego kraju.

Użycie sztucznej sieci neuronowej, przechowującej informacje o związkach między zmiennymi w praktycznie niemożliwym do zinterpretowania zbiorze wag neuronów, sprawia że dążąc do stworzenia narzędzi symulacji nie interesujemy się matematyczną postacią modelu gospodarki narodowej, ale staramy się jedynie wyodrębnić czynniki wpływające na podstawowe wielkości makroekonomiczne w sposób najsilniejszy.

Wybór użytych wielkości makroekonomicznych będzie zweryfikowany za pomocą odpowiednich współczynników i testów statystycznych mierzących stopień zależności i korelacji między zmiennymi.

Całość zostanie zaimplementowana w systemie komputerowym oprogramowanym techniką obiektową, która pozwoli na zdefiniowanie zbioru podstawowych klas, dostępnych następnie zarówno w trakcie budowy systemu uczącego się, jak i samego apletu gry.

### **Kryterium oceny:**

Podstawowym kryterium oceny projektu będzie dokładność generowanych prognoz. Do jej oceny proponuje się trzy miary porównujące empiryczną wartość zmiennej z wynikiem prognozy otrzymanym dla tego samego okresu (t):

Średni błąd procentowy (MPE mean percentage error):

$$MPE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{(\tilde{y}_t - y_t)}{y_t} 100$$

gdzie :

$\tilde{y}_t$  – prognoza

$y_t$  – wartość empiryczna

Średni absolutny błąd procentowy (MAPE mean absolute percentage error):

$$MAPE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{(\tilde{y}_t - y_t)}{y_t} \right| 100$$

Pierwiastek procentowego błędu średniokwadratowego (RMSE root mean square percentage error):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\tilde{y}_t - y_t)^2}$$

## **Rozdział I: Opracowanie teorii ekonomicznej.**

**Wykonawca:** Konrad Kaszubski.

**Zadanie:**

Opracowanie na podstawie istniejących koncepcji makroekonomicznych podstaw teoretycznych pozwalających na zidentyfikowanie i interpretację zmiennych opisujących poziom rozwoju gospodarczego (wyjście lub wyjścia sieci neuronowej), zmiennych wpływających na procesy gospodarcze oraz zmiennych decyzyjnych za pomocą których dokonuje się ingerencji w gospodarkę (wejścia sieci neuronowej).

**ETAPY TWORZENIA TEORII EKONOMICZNEJ:**

1. Etap doboru zmiennych makroekonomicznych wykorzystanych w projekcie modelu.
2. Zbudowanie ostatecznego (uproszczonego) modelu gospodarki narodowej Polski.

Ad 1.

**Podział i dobór zmiennych w tworzonym modelu:**

Makroekonomia jest gałęzią ekonomii próbującą wyjaśnić, jak i dlaczego z upływem czasu gospodarka rozwija się, podlega fluktuacjom i zmianom. Ogólny trend wzrostu gospodarki jest wynikiem wolno działających sił – rosnącej liczby ludności i lepszych technologii. Wszystkie te wahania wyjaśniane są w makroekonomii poprzez zasady analizy ekonomicznej. W centrum każdej teorii ekonomicznej leży wyjaśnienie, jak gospodarka zareaguje na oddziaływanie sił ekonomicznych. W tym celu zazwyczaj buduje się modele, które opisują gospodarkę za pomocą wykresów i wzorów. Będąc uproszczonym odwzorowaniem rzeczywistości każdy model pokazuje, jak decyzje konsumentów i firm, a także rządu oddziałują na siebie na rynkach określających produkcję i inne zmienne.

W całej dotychczasowej historii makroekonomii sformułowano wiele hipotez dotyczących stabilności wzrostu gospodarczego, jego pobudzania, jak i jego dokładnych charakterystyk (ocena elementów najmocniej na niego wpływających itd.). Najważniejszymi nurtami w obecnej ekonomii zorientowanej na zagadnieniach makro są: monetaryzm, keynsizm, nowa szkoła klasyczna i tzw. szkoła realnego cyklu koniunkturalnego. Monetaryści identyfikowani z Miltonem Friedmanem utrzymują, że najważniejszym elementem, utrzymującym stabilny wzrost zagregowanego popytu będzie równie stabilny wzrost podaży pieniądza. Keynsiści w odróżnieniu od monetarystów proponują stosowanie aktywnej polityki pieniężnej (neutralizowanie źródeł niestabilności), oraz wszelkich innych decyzji opartych na przykład o zmiany w podatkach i wydatkach rządowych. Zwolennicy nowej szkoły klasycznej przywiązują dużą wagę do stabilności łącznego popytu i utrzymują, że ceny dostosowują się do zmian bardzo szybko (w ich modelach odchylenia od poziomu potencjalnego wynikają z błędnego interpretowania przez przedsiębiorstwa i robotników niespodziewanych zmian cen i płac). Jedyłą szkołą, nie uwypuklającą znaczenia stabilizowania łącznego popytu jest wspomniana wcześniej szkoła realnego cyklu koniunkturalnego, która wyjaśnia recesje i inne ruchy w zatrudnieniu jako rezultat zmian potencjału gospodarki. W powyższym modelu uznaje się, że sztywne ceny jak i zagregowany popyt nie odgrywają roli w generowaniu wahań gospodarczych.

Wielość podejść do problemu wzrostu gospodarczego, a także duża liczba zmiennych, będących instrumentami polityki ekonomicznej sprawia, że problem wyboru odpowiednich zmiennych w realizowanym projekcie jest sprawą kłopotliwą. Wybrane zmienne, użyte do stworzenia sieci neuronowej modelującej wzrost polskiej gospodarki można podzielić na wejściowe i wyjściowe (tzw. wejścia i wyjścia sieci neuronowej). Wśród wyjściowych zostały użyte podstawowe mierniki ekonomiczne odwzorowujące kondycję gospodarek na całym świecie czyli: stopa wzrostu PKB, stopa inflacji, stopa bezrobocia i kurs złotego w stosunku do koszyka walut lub bilans płatniczy.

Wejścia projektowanej sieci neuronowej podzielić można na 2 kategorie. Pierwszą z nich tworzą wyjścia z okresu (t-1), drugą z kolei zmienne decyzyjne, czyli te którymi państwo wpływa na kształtowanie się wspomnianych wcześniej głównych makrokategorii mierzących rozwój gospodarczy. Zastosowanie pierwszej grupy wiąże się ściśle z tym, że zmienne z okresu (t-1) w istotny sposób wpływają na wielkość zjawiska w okresie (t), a ich pominięcie w dużym stopniu obniżyłoby efektywność „uczenia się” sieci neuronowej. Poza tym zmienne wyjściowe wchodzą w interakcje między sobą.

Drugą grupę zmiennych tworzą wspomniane zmienne decyzyjne. Wśród nich można wyróżnić następujące: stopy procentowe, udział obciążeń publicznych w PKB, udział sektora państwowego (prywatnego) w PKB i deficyt budżetowy.

### **Powód użycia podanych zmiennych:**

#### **Wyjścia:**

#### **Stopa wzrostu PKB**

Produkt Krajowy Brutto odnosi się do produkcji w określonym okresie w danym kraju. W zależności od agregacji danych można powiedzieć, że mierzy on strumień nowych produktów w ciągu roku lub kwartału. Obliczając PKB poprzez agregowanie produkcji w gospodarce równie dobrze, można to samo zrobić dla wydatków (wydatki = produkcja). Uniwersalność tego miernika sprawia, że obecnie jest on podstawą do mierzenia wzrostu gospodarczego w każdym kraju na świecie a także do porównywania różnych państw pod kątem ich rozwoju.

### Stopa inflacji

Stopa inflacji to inaczej przeciętna zmiana cen wszystkich dóbr w gospodarce. Wysoka inflacja jest zjawiskiem niekorzystnym dla gospodarki, gdyż zbyt szybki wzrost cen nie zahamowany przez odpowiedni wzrost dochodów powoduje wiele napięć społecznych jak i innych niekorzystnych zjawisk w gospodarce narodowej. Ograniczenie inflacji lub przeciwdziałanie jej wystąpieniu wymaga odpowiedniej polityki państwa w zakresie kształtowania dochodów społeczeństwa, ograniczania deficytu budżetowego (polityka fiskalna), kontroli emisji pieniądza przez bank centralny i kreacji pieniądza kredytowego przez banki komercyjne (polityka monetarna). Niska stopa inflacji może być traktowana jako gwarant zaufania gospodarczego dla danego kraju (np. mniejsze ryzyko inwestycyjne).

### Stopa bezrobocia

Jest to wielkość odwzorowująca procent pracowników nie pracujących ale poszukujących pracy. Rozróżnia się rzeczywistą i naturalną stopę bezrobocia. Rzeczywista stopa bezrobocia dotyczy wszystkich bezrobotnych, niezależnie od przyczyn, dla których pozostają bez pracy. Naturalna stopa bezrobocia dotyczy tylko bezrobotnych dobrowolnie, tzn. tych, których pozostawanie bez pracy nie wynika ze stanu koniunktury. Szacuje się, że naturalna stopa bezrobocia wynosi ok. 3-4%, a bezrobocie tej wielkości uznaje się za korzystne dla gospodarki. Stopa bezrobocia nie jest dokładnym miernikiem rozmiarów bezrobocia, ponieważ zawsze istnieje grupa bezrobotnych, którzy poszukują pracy na własną rękę nie rejestrując się w urzędzie zatrudnienia, a równocześnie wielu zarejestrowanych jest tylko po to, by skorzystać z prawa do zasiłku (nie mają oni zamiaru podjęcia pracy). Określone wielkości stopy bezrobocia mogą świadczyć o tym jak w danym kraju wykorzystywany jest potencjał siły roboczej, a co za tym idzie czy sama gospodarka jest efektywna.

### Kurs walutowy wobec koszyka walut

Jest to inaczej cena waluty danego kraju za granicą. Kurs walutowy jest ogłaszany przez Bank Centralny i wyrażany w liczbie jednostek waluty własnej odpowiadającej jednostce waluty obcej. Ponadto osobno podawany jest kurs kupna i sprzedaży danej waluty. Jeżeli kurs walutowy jest ustalany administracyjnie przez władze danego kraju, mówimy o kursie walutowym sztywnym, który może jedynie ulegać niewielkim wahaniom w określonych granicach. Gdy kurs walutowy waha się pod wpływem podaży i popytu na daną walutę, bez odgórnego określania jej amplitudy, mówimy o kursie walutowym zmiennym lub płynnym. Państwo może jednak wpływać na kurs poprzez oddziaływanie na popyt i podaż. Wiązą się z tym działania związane z dewaluacją lub rewaluacją waluty. Wysoki kurs waluty obcej na rynku daje nam informację o słabej sile nabywczej pieniądza (możemy za niego kupić mniej

niż na rodzimym rynku), a poza tym pośrednio wpływa też na handel zagraniczny kraju (odpowiednie zmiany stosunków między importem i eksportem).

### Bilans płatniczy

Bilans płatniczy, bilans obrotów płatniczych z zagranicą, zestawienie wartości wszystkich przychodów i wydatków kraju związanych z jego stosunkami ekonomicznymi z zagranicą w danym okresie (najczęściej w ciągu roku).

Bilans płatniczy składa się z dwóch podstawowych elementów: bilansu handlowego i bilansu obrotów kapitałowych. Ten drugi obejmuje napływ i odpływ pieniądza związany z inwestycjami zagranicznymi (bezpośrednimi i portfelowymi) oraz należności i zobowiązania z tytułu udzielonych i otrzymanych kredytów oraz ich spłat. Ponadto w bilans płatniczy wykazuje się poziom i zmiany długu zagranicznego, zmiany rewaloryzacyjne rezerw i pozostałych należności i zobowiązań zagranicznych oraz zmiany stanu rezerw oficjalnych.

Bilans płatniczy jest zawsze wyrównany, tzn. strona przychodowa równa się rozchodowej, co wynika z dwustronnego wykazywania wszelkich transakcji w obrotach z zagranicą podwójnie: od strony rzeczowej i od strony rozliczeń finansowych - wszystkie transakcje płatnicze powodujące wzrost zapasów rzeczowych i finansowych kraju są zapisywane w bilansie płatniczym po stronie "winien", a ich zmniejszenie po stronie "ma".

Istnienie lub brak równowagi bilansu płatniczego można stwierdzić przez analizę takich jego pozycji, jak poziom i zmiany należności i zobowiązań zagranicznych oraz rezerw dewiz (ewentualnie złota). Bilans płatniczy jest aktywny (czynny), gdy wzrastają należności, zmniejszają się zobowiązania lub wzrastają rezerwy dewizowe. Bilans jest pasywny (bierny), gdy zmniejszają się należności, rosną zobowiązania lub zmniejszają się rezerwy dewiz.

### **Uwaga:**

W budowanej sieci neuronowej postanowiliśmy spośród zaproponowanych 2 zmiennych (kurs walutowy, bilans płatniczy) wybrać bilans płatniczy. Decyzję tą podjęliśmy, ponieważ w odróżnieniu od kursu walutowego, który jest kategorią bardzo zmienną, bilans płatniczy kształtuje się na przestrzeni całego roku i nie polega takim wahaniem jak wspomniany kurs walutowy. Poza tym bilans płatniczy dużo lepiej oddaje obraz polskiej gospodarki i jej potencjalnych możliwości niż kurs walutowy, na który za pomocą odpowiedniej polityki pieniężnej jak i ekonomicznej można w różnorodny sposób wpływać.

### Wejścia:

Tutaj zważywszy na fakt stosowania w projekcie sieci neuronowej warto zastanowić się nad relacjami tych zmiennych ze zmiennymi wyjściowymi.

### Stopy procentowe

Jest to wielkość mierzona procentowo wyrażona stosunkiem kwoty, którą płaci się za użytkowanie kapitału pieniężnego do wielkości tego kapitału, najczęściej ustalana na okres roku. Stopę procentową ustalają banki i tu określa ona, jaką sumę należy zapłacić za udzieloną przez nie pożyczkę lub jaką kwotę płaci bank klientowi za to, że przechowuje on swoje oszczędności w tym banku. Stopa procentowa w bankach komercyjnych oscyluje wokół poziomu ustalonego przez Bank Centralny. Jeżeli stopa procentowa wzrasta, to maleje popyt na kredyty, a wzrasta skłonność do oszczędzania i odwrotnie. Ustalanie przez bank



centralny stopy procentowej jest jednym ze sposobów realizacji polityki monetarnej kraju. Wzrost stopy procentowej powoduje, że pieniądź odpływa z rynku do banków, co oznacza, że podaż pieniądza maleje i zmniejsza się ryzyko inflacji. Dobór odpowiednich stóp procentowych przy odpowiedniej podaży pieniądza i inflacji jest jednym z gwarantów uzyskania dobrych wyników gospodarczych, a co za tym idzie odpowiedniego wzrostu gospodarczego. W naszym modelu spośród wielu stóp procentowych postanowiliśmy wziąć redyskontową stopę procentową.

### Udział obciążeń publicznych w PKB

Są to środki pieniężne wydatkowane na realizację przedsięwzięć państwowych i samorządowych. Mogą przyjmować postać zapłaty za pracę, usługi i dostarczone dobra materialne, niezbędne do wykonania konkretnych zadań, mogą też polegać na finansowaniu różnych dziedzin życia gospodarczego i społecznego (dotacje, subwencje) lub określonych grup ludności (emerytury, zasiłki, stypendia), jak również na udzielaniu pożyczek i spłacaniu długów. Dokonywane są głównie z budżetu państwa i budżetów samorządowych (gmin i miast), a ponadto z funduszy celowych.

Podział wydatków publicznych odbywa się w oparciu o następujące kryteria:

- 1) wg kryteriów funkcjonalnych ustala się wydatki przeznaczone na cele socjalne i kulturalne (ochrona zdrowia, oświata, nauka, kultura, ubezpieczenia i pomoc społeczna), gospodarcze (dotacje dla przedsiębiorstw), obronę narodową, administrację publiczną, i spłatę długów,
- 2) wg kryteriów ekonomicznych - wydatki bieżące (funkcjonowanie instytucji państwowych i samorządowych), majątkowe (inwestycje) oraz nabywcze: odpłatne (zapłata za pracę, dobra, usługi) i redystrybucyjne (dotacje, subwencje, spłata długów),
- 3) wg kryteriów prawnych - wydatki wynikające z decyzji administracyjnych (dotacje) i z umów (kupno-sprzedaż).

Ogólnie przyjmuje się, że im mniejszy udział świadczeń publicznych w PKB tym gospodarka działa bardziej efektywnie – środki z PKB mogą być przeznaczone na inne cele (pobudzenie rozwoju gospodarczego).

### Udział sektora prywatnego w PKB

Przy analizowaniu tej kategorii trzeba najpierw jasno określić pojęcia sektora prywatnego i prywatyzacji.

**Sektor prywatny** - ogół przedsiębiorstw prowadzących działalność gospodarczą i będących jednocześnie w rękach prywatnych właścicieli.

**Prywatyzacja** – to proces przekazywania majątku państwowego podmiotom prywatnym, przekształcania gospodarki państwowej w gospodarkę prywatną, ograniczania roli państwa w gospodarce. Proces prowadzący do zmiany kontroli nad gospodarką i zmiany własności społecznej w prywatną.

Śród różnorodnych motywów prywatyzacji najczęściej wymieniane są: efektywnościowy (podniesienie ekonomicznej sprawności, czyli efektywności przedsiębiorstw i całej gospodarki), ekonomiczny (podniesienie dochodowości przedsiębiorstw i bogactwa państwa oraz społeczeństwa), ideologiczny (ograniczenie roli państwa w życiu gospodarczym na korzyść instytucji prywatnych), społeczny (podniesienie poziomu życia społeczeństwa, jego

upodmiotowienie, ograniczenie biurokracji, większa swoboda gospodarcza zapewniająca demokrację gospodarczą i polityczną).

Prywatyzować gospodarkę można w różny sposób: poprzez sprzedaż przedsiębiorstw państwowych, reprivatyzację czyli zwrot mienia przejętego przez państwo na podstawie aktów prawnych, prywatyzację założycielską polegającą na wspieraniu powstawania i rozwoju prywatnych podmiotów gospodarczych, przekazywanie majątku państwowego samorządom lokalnym.

O wyborze udziału sektora prywatnego w PKB zdecydowała wyższa efektywność sektora prywatnego nad państwowym - ten pierwszy zazwyczaj lepiej zarządzany jak i bardziej rozwinięty generuje większe przychody, w związku z czym jego wpływ, na globalny pozytywny obraz gospodarki jest dużo większy.

### Deficyt budżetowy

Jest to inaczej niedobór dochodów budżetu państwa w stosunku do jego wydatków (inaczej - nadwyżka wydatków nad dochodami). Źródłami finansowania deficytu budżetowego mogą być kredyty bankowe udzielane przez bank centralny, emisja papierów wartościowych, podwyższenie stopy podatkowej, a w ostateczności dodatkowa emisja pieniądza.

Deficyt budżetowy, przy niewielkich jego rozmiarach, może mieć korzystny wpływ na gospodarkę, zwłaszcza w okresie recesji (interwencjonizm społeczny). Przekroczenie jego "bezpiecznej" granicy (5% PKB) może wywołać poważne zaburzenia w gospodarce (inflacja). Długotrwałe występowanie deficytu powoduje tworzenie się długu publicznego - suma nie spłaconych przez rząd lub in. związki publicznoprawne zobowiązań zarówno wobec wierzycieli krajowych, jak i zagranicznych.

Występowanie w kolejnych latach deficytów budżetowych, a co za tym idzie narastanie długu publicznego jest zjawiskiem bardzo niekorzystnym zarówno dla sytuacji wewnętrznej kraju jaki i obrazu tego kraju na zewnątrz (widoczna dla każdego nieumiejętność racjonalnego gospodarowania posiadanymi środkami, zazwyczaj zbyt rozbudowany aparat finansów publicznych itd.).

Ad 2.

W tym etapie, po weryfikacji statystycznej należy jeszcze raz stworzyć model ekonomiczny (usunąć z niego niepotrzebne zmienne lub dodać nowe) i poddać etapowi końcowemu, a mianowicie wykorzystaniu do uczenia sieci neuronowej.

### **Bibliografia:**

- Gajda J., Prognozowanie i symulacje, a decyzje gospodarcze, Wydawnictwo C. H. Beck Warszawa 2000.
- Hall R. Taylor T., Makroekonomia - teoria, funkcjonowanie i polityka, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1999.
- Modele informacyjne procesów gospodarczych. III i IV Międzynarodowa Konferencja Informacyjno Gospodarcza, pod red. T. Kasprzaka.
- Romer D., Makroekonomia dla zaawansowanych, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 2000.
- Welfe W., Ekonometria stosowana, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne Warszawa 1996.

## **Rozdział II: Gromadzenie i weryfikacja danych statystycznych.**

**Wykonawca:** Michał Kuczewski.

### **Zadanie:**

Odszukanie i zgromadzenie danych statystycznych odpowiadających zamiennym określonym w etapie I, oraz weryfikacja zależności statystycznej pomiędzy wejściami systemu, a jego wyjściem lub wyjściami. Wybór odpowiednich testów statystycznych oraz innych wielkości pozwalających na określenie stopnia korelacji przy uwzględnieniu nieliniowego charakteru związków odzwierciedlanych przez sieć neuronową.

### **Korelacja i zależność statystyczna zmiennych modelu.**

Systemy zachodzące wokół nas jak również zachodzące procesy w dużej mierze są zjawiskami dość złożonymi i trudnymi do interpretacji. Modele opracowywane na podstawie rzeczywistości starają się w pewien sposób uprościć zachodzące w nim zjawiska i zależności. Budowanie modeli adekwatnych do rzeczywistości nie jest sprawą oczywistą i łatwą. Oprócz zwykłego zrozumienia badanego zjawiska wymagane jest od użytkownika dość trafny dobór całego warsztatu diagnostycznego, dzięki któremu można zdecydowanie uprościć analizowane zagadnienie; zważywszy na to, że gro zjawisk gospodarczych i ekonomicznych jest w praktyce związane z dużym stopniem komplikacji. Składają się z wielu zmiennych, równań, zawierają nieliniowe funkcje o skomplikowanej sieci powiązań pomiędzy zmiennymi objaśniającymi (powiązań zarówno jednoczesnych jak i dynamicznych) jak również mogą występować losowe zakłócenia, losowe zmienne.

Uwzględniając te wszystkie aspekty stworzenie dobrego modelu i odpowiedniego doboru zmiennych uwzględniających SYMULACJĘ GOSPODARKI NARODOWEJ wydaje się rzeczą niezmiernie skomplikowaną. Samo zaś zbadanie takich zjawisk staje się zadaniem pracochłonnym i uciążliwym.

W pierwszym dziale „Opracowanie teorii ekonomicznej” udało nam się uzasadnić, dlaczego takie zmienne wykorzystywane są w modelu. Podstawą tej części pracy jest wykazanie zależności między badanymi zjawiskami. Przy stwierdzeniu występowanie zależności między badanymi zmiennymi, a konkretniej między jej wejściami a wyjściami, pomogą wybrane testy statystyczne, które przedstawione są poniżej. Problem nasuwa się jednak przy interpretacji wyników wykonywanych testów. Nawet, jeżeli wskażą one na niezależność i brak korelacji nie jest to jednoznaczne z usunięciem zmiennych z modelu; nie jest to kryterium przesądzające. Mogą przecież istnieć zależności: wpływ na zmienną ma wektor złożony ze zmiennych występujących w modelu. Badanie takich właściwości wymaga znacznego zmodyfikowania postępowania. Należałoby uwzględniając dodatkowe kryterium statystyczne korelacji wielorakiej (liczonej z korelacji wielowymiarowej) analizującej ww. zjawisko. Wprowadza to szereg komplikacji i niejasności w postępowaniu. Wymaga się przecież, aby projekt odzwierciedlał najważniejsze zależności i był uproszczeniem rzeczywistości analizowanego problemu.

Dobór takich a nie innych statystyk liczących podyktowany jest nieliniowym charakterem funkcji opisującej gospodarkę narodową.

### Test chi-kwadrat niezależności.

Założmy, że populację generalną badamy wg dwóch zmiennych X oraz Y niekoniecznie mierzalnych; z populacji wylosowano próbę o liczebności „n” elementów. Należy zweryfikować hipotezę, że obie cechy są niezależne przy sprecyzowanej hipotezie  $H_0$  lub, że są zależne przy spełnieniu warunku narzuconego w  $H_1$ .

Możemy zweryfikować postawioną  $H_0$  w następujący sposób:

$$H_0 : p_{ij} = p_i \cdot p_j$$

$$H_1 : p_{ij} \neq p_i \cdot p_j$$

Dzielimy zbiór możliwych wartości cechy X na „r” grup oraz cechy Y na „s” grup, umieszczamy wartości w tablicy korelacji ( X w kolumnie Y w wierszu)-kontyngencji. Wnętrze tablicy wypełniamy liczebnościami  $n_{ij}$ , które oznaczają liczbę elementów z próby należących do i-tej grupy według cechy X ( $i = 1,2,3...r$ ) i do j-tej grupy według cechy Y ( $j=1,2,3,...s$ )

Schemat tablicy kontyngencji dla r grup jednego kryterium i s grup drugiego (stąd wymiar  $r \times s$ ) przedstawia tabela. W ostatnim wierszu i ostatniej kolumnie tablicy występują sumy liczebności danej kolumny (danego wiersza), a w dolnym prawym rogu – ogólna liczebność, czyli liczebność próby.

x	y				$\Sigma$
	$Y_1$	$Y_2$	...	$Y_s$	
$X_1$	$n_{11}$	$n_{12}$	...	$n_{1s}$	$n_{1.}$
$X_2$	$n_{21}$	$n_{22}$	...	$n_{2s}$	$n_{2.}$
...	...	...	...	...	...
$X_r$	$n_{r1}$	$n_{r2}$	...	$n_{rs}$	$n_{r.}$
$\Sigma$	$n_{.1}$	$n_{.2}$	...	$n_{.s}$	N

Tabela[1]

W tabeli  $n_{ij}$  oznacza liczebność podklasy  $(i, j)$ , natomiast symbol z kropką – sumę liczebności po wskaźniku zastąpionym kropką:

$$n_{i.} = \sum_j n_{ij}, \quad n_{.j} = \sum_i n_{ij}, \quad n_{..} = \sum_i n_{i.} = \sum_j n_{.j} \quad (\text{wzór1})$$

szacujemy na podstawie liczebności brzegowych z naszej tablicy prawdopodobieństwa brzegowe

$$p_{i.} = \frac{n_{i.}}{n}, \quad p_{.j} = \frac{n_{.j}}{n} \quad (\text{wzór2})$$

Obliczamy prawdopodobieństwa hipotetyczne dla każdej z kratki tablicy korelacyjnej, jeżeli zmienne są niezależne to spełniona jest równość:

$$p_{ij} = p_{i.} p_{.j} \quad \text{przy czym} \quad \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s p_{ij} = 1 \quad (\text{wzór3})$$

Hipotezę o niezależności obu kryteriów można testować przy pomocy statystyki  $\chi^2$ , liczba stopni swobody będzie równa  $(r-1)(s-1)$ ,

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \frac{(n_{ij} - n'_{ij})^2}{n'_{ij}} : \underset{n \rightarrow +\infty}{as} \chi^2_{(r-1)(s-1)} \quad \text{wzór(4)}$$

$$n'_{ij} = \frac{n_{i.} n_{.j}}{n}$$

$n'_{ij}$  - mnoży się sumę odpowiedniego wiersza przez sumę odpowiedniej kolumny i iloczyn dzieli się przez liczebność próby. Nie jest tu potrzebne założenie o rozkładzie próby.

### Stosunek korelacyjny.

Zależność korelacyjna polega na tym, że określonym wartościom jednej zmiennej przyporządkowuje się pewne średnie z kilku wartości drugiej zmiennej. Najprostszą metodą na wykrywanie związku korelacyjnego między badanymi cechami jest obserwacja szeregów statystycznych, które zawierają informacje o tych cechach.

Jeżeli ze wzrostem wartości jednej zmiennej obserwujemy spadek drugiej zmiennej, wówczas mamy do czynienia z korelacją ujemną; jeśli zaś wzrostowi wartości jednej zmiennej towarzyszy wzrost drugiej, bądź spadkowi wartości jednej odpowiada spadek drugiej wtedy mówimy, że między tymi cechami istnieje korelacja dodatnia.

W przypadku nieliniowych zależności między cechami miarą korelacji jest stosunek korelacyjny. Oparty jest on na spostrzeżeniu, że przy braku korelacji wszystkie średnie grupowe tzn.  $\bar{y}_{(x_i)}$  są jednakowe i równe ogólnej średniej ( $\bar{y}$ ). Im większe rozproszenie tych średnich, tzn. im większa zmienność objaśniona tym silniejsza korelacja między cechami

Stosunek korelacji  $e_{xy}$  określony jest przez udział zmiennej objaśnionej w zmienności całkowitej tzn. :

$$e_{xy} = \frac{s_{\bar{y}_{(x_i)}}}{s_y} \quad (\text{wzór5}) \quad \text{gdzie} \quad s_{\bar{y}_{(x_i)}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\bar{y}_{(x_i)} - \bar{y})^2 n_i} \quad (\text{wzór6})$$

Miara ta może przyjmować wartości z przedziału  $\langle 0,1 \rangle$ . Gdy  $e_{xy}=1$  wtedy między cechami X i Y występuje zależność funkcyjna ( każda zmiana wartości jednej zmiennej powoduje dokładnie określoną zmianę wartości drugiej zmiennej), natomiast, gdy  $e_{xy}=0$  cechy nie są skorelowane. Należy zauważyć, że stosunek korelacyjny nie jest miarą symetryczną ( $e_{yx} \neq e_{xy}$ ), można go stosować w przypadku zależności prostoliniowej jak również krzywoliniowej, nawet wtedy, gdy przynajmniej jedna z dwóch cech jest mierzalna.

### Współczynnik Zbieżności Czuprowa.

Jest kolejnym współczynnikiem służącym do badania zależności między cechami. Jego własności można zapisać w postaci kilku punktów

- jest symetryczny, tzn.:  $T(xy) = T(yx)$ ,
- przyjmuje wartości z przedziału  $\langle 0;1 \rangle$ ,
- w przypadku stochastycznej niezależności dwóch cech  $T(xy) = 0$ , natomiast, w przypadku związku funkcyjnego  $T(xy) = 1$ ,
- nie wskazuje kierunku korelacji dwóch cech,
- może być stosowany zarówno w przypadku cech mierzalnych, jak i niemierzalnych.

Jego podstawową zaletą jest jednak to, że eliminuje wpływ grupowania oraz opiera się na współczynniku Chi-kwadrat.

Opisany jest wzorem :

$$T = \sqrt{\frac{\chi^2}{N(r-1)(s-1)}} \quad (\text{wzór7})$$

gdzie r, s to odpowiednio liczba wierszy i kolumn

N – liczebność próby

$\chi^2$  - statystyka Chi-kwadrat

## Dane statystyczne

Podczas poszukiwania odpowiednich danych statystycznych pojawiły się następujące problemy:

1. jakie zmienne dobrać, aby opisywały w miarę poprawnie odwzorowania zachodzące w gospodarce
2. jaki zakres próby wziąć do badania ( więcej obserwacji dawałoby lepsze rezultaty w przyszłym procesie nauki sieci neuronowej )
3. jaki charakter mają mieć dane , czy miesięczne kwartalne czy też może roczne.
4. źródła danych

Do analizy statystycznej dane mają charakter roczny. Istniała obawa, że w przypadku wyboru zmiennych o większej częstotliwości występowania, czyli danych miesięcznych czy kwartalnych pojawi się sezonowość. Należałoby wtedy również i ją uwzględniać w badaniu oraz wykonać bardziej złożone metody analizy statystycznej ( uwzględniającej np.; model Wintersa lub Holta ) co nastręczałoby dużo dodatkowych problemów.

Zakres próby to 10 lat od roku 1992 do 2001. W grę wchodziły jeszcze lata 1990, 1991 oraz 2002.

Dwa aspekty przeważały za tym, aby dane rozpoczynały się od roku 1992:

1. stopa wzrostu PKB w 1990 oraz 1991 była ujemna,
2. od roku 1992 zakłada się istnienie gospodarki wolnorynkowej

Jeśli chodzi o rok 2002 niestety nie wszystkie dane można było zebrać, np.: bilans płatniczy wykazywany przez Narodowy Bank Polski jest notowany zawsze z opóźnieniem 2-3 miesięcy , nie ma więc podstaw do tego aby szukać innych danych.

Źródłem danych został Rocznik Statystyczny oraz Mały Rocznik Statystyczny. Wyznaczenie poszczególnych wartości względnych opierało się na odniesieniu ich do wspólnego podzielnika – w tym przypadku został nim PKB.

## Budowanie tablicy korelacyjnej - wzory

Bardzo ważnym elementem podczas budowy tablicy korelacyjnej jest znalezienie odpowiednich długości przedziałów klasowych oraz ilości tych przedziałów. Przedstawione niżej wzory pomogą w rozwiązaniu tego problemu :

### a) Ustalanie liczby klas

Przy mniejszej ilości obserwacji tablica korelacyjna przyjmuje małe rozmiary, w naszym przypadku ilość obserwacji 10 należy się więc spodziewać dość szybkiej i prostej analizy danych w tablicy :

$$k \approx \sqrt{n} \text{ (wzór 8)} \quad \text{lub} \quad k \approx 1 + 3,222 \log n \text{ (wzór 9)}$$

gdzie  $n$  – liczba obserwacji

$k$  – liczba klas

**b) ustalenie rozpiętości przedziałów klasowych**

Z reguły ustala się jednakowe rozpiętości przedziałów klasowych. Przy równej rozpiętości przedziałów klasowych liczebności (częstości) występujące w poszczególnych klasach są porównywalne.

Przy różnych rozpiętościach (dla populacji niejednorodnej z dużą koncentracją wartości w jednej grupie) zamiast liczebności (częstości) stosuje się wskaźnik: **gęstość liczebności (gęstość częstości)**.

Dla tablicy korelacyjnej łatwiej będzie wybrać jednakowe rozpiętości przedziałów. Oznaczmy je jako  $h$  -

$$h \approx \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k} \approx \frac{R}{k} \quad (\text{wzór 10})$$

gdzie  $R$  oznacza rozpiętość przedziału  
 $k$  – oznacza liczbę klas

**Uwaga:** Jeżeli wybieramy przybliżoną wartość  $h$ , to powinno to być zawsze przybliżenie z nadmiarem, tzn.  $hk \geq R$ .

**c) Ustalanie granic poszczególnych klas**

Jako dolną granicę najczęściej przyjmuje się najmniejszą wartość cechy lub bliskiej tej wartości, czyli  $x_{01} = x_{\min}$  (wzór 11). Przy cechach ciągłych górne granice klas poprzednich powinny być dolnymi granicami klas następnych, aby nie było pomiędzy przedziałami luk Ponadto trzeba ustalić, do które klasy zaliczyć wartości graniczne.

W szeregach o otwartych przedziałach klasowych, konieczne jest czasami domknięcie tych przedziałów. Stosuję się tutaj zasadę, że jeżeli liczebność w tych przedziałach jest niewielka (nie większa niż 5% badanej zbiorowości, można te przedziały domknąć taką szerokością, jaka jest w sąsiednich przedziałach klasowych.

**Analiza statystyczna**

Dla każdej z przedstawionych danych należy zbudować tablicę korelacyjną. Będzie posiadała ona w wierszach wartości dla okresu T-1, w kolumnach zaś T. Podczas określania wymiarów tablicy posłużono się (wzorem 8 )

liczba klas  $k \approx \sqrt{10}$  , wynosi on w przybliżeniu  $k = 3,16$ , zaokrąglając w dół do najbliższej liczby całkowitej otrzymujemy liczbę klas równą 3.

$$K=3$$

Dalsza część analizy będzie polegała na opisanu dokładnie każdej ze zmiennych w taki sposób by :

- ustalić rozpiętość przedziałów klasowych
- ustalić granice poszczególnych klas



- umieścić dane w odpowiednich polach tablicy z uwzględnieniem warunku narzuconego na przynależność do poszczególnych klas
- dokonać przekształcenia wartości w tablicy na wartości teoretyczne służące do obliczenia statystyki Chi-kwadrat
- wyznaczyć współczynnik T-Czuprowa w oparciu o wyliczoną wcześniej statystykę Chi-kwadrat.
- rozbudować tablicę uwzględniając średnie klasowe w celu zbadania stosunku korelacyjnego.
- ocenić zależność bądź niezależność, korelację lub jej brak między analizowanymi zmiennymi

Zacznijmy może od przedstawienia wszystkich zebranych danych :

rok	st. wzr. PKB	st. inflacji	st. bezrob.	bilans płat.	st. procent.	udz. sek. pryw.	obciąż. publ.	defic. budz.
1992	0,026	0,385	0,143	-0,003	0,320	0,368	0,419	-0,060
1993	0,038	0,305	0,164	-0,028	0,290	0,390	0,460	-0,028
1994	0,052	0,284	0,160	-0,010	0,280	0,409	0,447	-0,028
1995	0,070	0,279	0,149	0,042	0,250	0,403	0,433	-0,033
1996	0,060	0,187	0,132	-0,010	0,220	0,380	0,428	-0,030
1997	0,068	0,140	0,103	-0,030	0,245	0,444	0,420	-0,027
1998	0,046	0,117	0,104	-0,044	0,182	0,444	0,411	-0,024
1999	0,041	0,068	0,131	-0,074	0,190	0,465	0,411	-0,020
2000	0,040	0,010	0,153	-0,063	0,215	0,486	0,397	-0,022
2001	0,010	0,055	0,174	-0,040	0,140	0,510	0,401	-0,045

Tabela[2]

W poszczególnych kolumnach tabeli[2] przedstawione są:

- Rok
- Stopa wzrostu PKB w stosunku do roku poprzedniego
- Stopa inflacji jako wskaźnik cen towarów i usług konsumpcyjnych (rok poprzedni =100 )
- Stopa bezrobocia rejestrowanego
- Bilans płatniczy w stosunku do PKB
- Stopa procentowa – stopa redyskontowa
- Udział sektora prywatnego w gospodarce ( wartość brutto środków trwałych )
- Obciążenia publiczne w stosunku do PKB ( obciążenia wyrażone jako dochody budżetu + dochody funduszy celowych – dotacje do funduszy celowych z budżetu )
- Deficyt budżetowy w stosunku do PKB

Dane takie jak ustalenie rozpiętości przedziałów, granice poszczególnych klas przedstawione zostaną w tabeli zbiorczej:

	st. wzr. PKB	st. Inflacji	st.	bilans	st.	udz.	obciąż.	defic.
--	--------------	--------------	-----	--------	-----	------	---------	--------

			bezrob.	płat.	procent.	sek. pryw.	publ.	budz.
min	0,010	0,010	0,103	-0,074	0,140	0,368	0,397	-0,060
max	0,070	0,385	0,174	0,042	0,320	0,510	0,460	-0,020
h	0,020	0,125	0,024	0,039	0,060	0,047	0,021	0,013
1	0,010	0,010	0,103	-0,074	0,140	0,368	0,397	-0,060
2	0,030	0,135	0,127	-0,035	0,200	0,415	0,418	-0,047
3	0,050	0,260	0,150	0,003	0,260	0,463	0,439	-0,033
4	0,070	0,385	0,174	0,042	0,320	0,510	0,460	-0,020

Wyjaśnienia :

- Min , Max to wyszukane najmniejsza i największa wartość wśród zebranych danych w danej kategorii
- Wartość h ( rozpiętość przedziału ) liczona jest wg formuły opisanej wzorem 3
- Liczby od 1 do 4 oznaczają początki i końce kolejnych przedziałów

### Badanie zależności analizowanych zmiennych przy pomocy testu Chi-kwadrat

W zależności od liczby stopni swobody oraz poziomu ufności możemy daną hipotezę

$H_0 : p_{ij} = p_i \cdot p_j$

$H_1 : p_{ij} \neq p_i \cdot p_j$

zweryfikować na dwa sposoby :

- Nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej (  $H_0$  ) – badane cechy są niezależne
- Odrzucamy hipotezę zerową na korzyść hipotezy alternatywnej (  $H_1$  ) – badane cechy są zależne

W analizowanym schemacie liczba stopni swobody jest stała i wynosi :

$(r - 1)(s - 1)$  czyli 2. Na wyniki zależności bądź niezależności możemy wpłynąć poprzez zmianę poziomu istotności.

Ustalając poziom istotności:  $\alpha = 0,05$ .

Określając statystykę testową:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{(n_{ij} - n'_{ij})^2}{n'_{ij}} : as_{n \rightarrow +\infty} \chi^2_{(I-1)(J-1)}$$

$$n'_{ij} = \frac{n_i \cdot n_j}{n}$$

Wyznaczam obszar odrzucenia W dla 4 stopni swobody:  $W = (9,487728; +\infty)$ .

$$P(\chi^2 > \chi^2_{\alpha}) = \alpha.$$

Obliczona na podstawie tablicy korelacyjnej wartość statystyki testowej  $\chi^2$  jest w każdym przypadku ( patrz załącznik 1 ) mniejsza od wyznaczonych wartości z tablic kwantyli rozkładu  $\chi^2$ , ( Wartość statystyki testowej  $\chi^2$  nie zawiera się w przedziale  $W$  ) wniosek będzie jednakowy dla wszystkich zmiennych. Nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej (  $H_0$  ) – zmienne z okresu  $T$  nie są zależne od tych o okresie  $T-1$ .

Zmiana poziomu istotności i ustalenie go na poziomie:  $\alpha = 0,1$  prowadzi do wyznaczenia obszaru odrzucenia  $W1 = (7,779434; +\infty)$ . Przy takim założeniu dwie spośród repertuaru zmiennych wskazują na odrzucenie hipotezy zerowej (  $H_0$  ) na korzyść hipotezy alternatywnej (  $H_1$  ). Dzieje się tak w przypadku zmiennych : udział sektora prywatnego w gospodarce oraz stopy inflacji ( patrz załącznik 1 ). Wniosek : zmienne z okresu  $T-1$  wpływają na te z okresu  $T$ .

### **Badanie korelacji między analizowanymi zmiennymi przy pomocy współczynnika T-Czuprowa oraz stosunku korelacyjnego.**

Charakteryzując siłę zależności dla obu statystyk można podzielić ją na trzy grupy

1. **brak zależności**, obie statystyki zawierają się w przedziale ( 0; 0,2 ).  
Do tej grupy możemy zaliczyć: *Deficyt budżetowy w stosunku do PKB*

Statystyki w obu przypadkach są bardzo małe (  $e = 0,1250$  ,  $T = 0,0405$  ,  
Załącznik 5 ), wskazują na brak korelacji

2. **zależność średnia** , zaliczyć tutaj możemy:
  - a. Stopa bezrobocia rejestrowanego (  $e = 0,5431$  ,  $T = 0,3997$  ,  
Załącznik 3 ).
  - b. Stopa wzrostu PKB w stosunku do roku poprzedniego (  $e = 0,5590$  ,  
 $T = 0,4677$  , Załącznik 2 ).
  - c. Bilans płatniczy w stosunku do PKB (  $e = 0,7071$  ,  $T = 0,5916$  ,  
Załącznik 3 ).
  - d. Obciążenia publiczne w stosunku do PKB (  $e = 0,7416$  ,  $T = 0,5863$  ,  
Załącznik 5 ).
  - e. Stopa procentowa (  $e = 0,7462$  ,  $T = 0,5590$  , Załącznik 4 ).
3. ostatnia stanowią zmienne ,których **siła zależności** jest **silna**
  - a. Stopa inflacji (  $e = 0,9047$  ,  $T = 0,7071$  , Załącznik 2 ).
  - b. Udział sektora prywatnego w gospodarce (  $e = 0,007$  ,  $T = 0,7012$  ,  
Załącznik 4 ).

Wszystkie wartości statystyk : T-Czuprowa oraz stosunku korelacyjnego zostały wyliczone w załącznikach 2-5.

**Bibliografia:**

- Domański Cz., Testy statystyczne, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne Warszawa 1990.
- Domański Cz., Pruska K., Nieklasyczne metody statystyczne, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne Warszawa 1999
- Gajda J., Prognozowanie i symulacje, a decyzje gospodarcze, Wydawnictwo C. H. Beck Warszawa 2000.
- Gajek C., Kałużka M., Wnioskowanie statystyczne modele i metody, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa 1999

## **Rozdział III: Zaprojektowanie i implementacja systemu komputerowego.**

**Wykonawca:** Paweł Rościzak.

### **Zadania.**

1. Wybór rodzaju sieci neuronowej oraz techniki uczącej najlepiej pasującej do rozwiązania postawionego problemu. Planowany okres realizacji: 15 października - 31 grudzień 2002.
2. Zaprojektowanie systemu komputerowego implementującego proces uczenia sieci. Oprogramowanie modułu metodą obiektową przy wykorzystaniu języka Java, obejmujące zdefiniowanie hierarchii klas, oprogramowanie systemu zdarzeń oraz elementów graficznego interfejsu użytkownika (GUI) w sposób maksymalizujący niezawodność oraz minimalizujący czas wykonania. Planowany okres realizacji: 1 styczeń - 15 luty 2003.
3. Przeprowadzenie procesu uczenia sieci neuronowej na podstawie zgromadzonych danych statystycznych. Zaprojektowanie i implementacja strony www w języku HTML oraz apletu gry w języku Java. Oprogramowanie metodą obiektową sztucznej sieci neuronowej oraz graficznego interfejsu użytkownika (GUI) apletu w sposób maksymalizujący niezawodność oraz minimalizujący czas wykonania. Planowany okres realizacji: 15 - 28 luty 2003.

### **Wybór rodzaju sieci neuronowej.**

U podstaw teoretycznych budowanego modelu neuronowego leży założenie, iż wielkości charakteryzujące stan gospodarki pozostają w bliżej nie określonym, najprawdopodobniej nieliniowym związku ze swoimi wartościami z okresu poprzedniego oraz całą gamą tzw. zmiennych decyzyjnych i pozostałych zmiennych wejściowych skorelowanych z wyjściem modelu.

Z matematycznego punktu widzenia mamy do czynienia z nieliniową funkcją wielu zmiennych, którą próbujemy aproksymować za pomocą sztucznej sieci neuronowej. Najprostsza postać sieci, obejmująca jedną warstwę neuronów o liniowej funkcji aktywacji, nie odzwierciedla związków nieliniowych, a wagi poszczególnych neuronów można wyznaczyć Klasyczną Metodą Najmniejszych Kwadratów, używaną do szacowania parametrów liniowych modeli matematycznych.

Za najlepsze narzędzie do aproksymacji funkcji nieliniowych uznaje się w obrębie sieci neuronowych, jednokierunkowe sieci wielowarstwowe z nieliniową funkcją aktywacji neuronu. Pierwsza warstwa ukryta sieci dzieli przestrzeń wektorową wejść  $x_i$  na 2 półprzestrzenie, neurony drugiej warstwy wzmacniają lub osłabiają sygnały pochodzące z warstwy poprzedniej wyodrębiają w przestrzeni wektorowej simpleksy, które można interpretować jako zbiory wejść generujące pożądaną wartość wyjściową. Trzecia warstwa w analogiczny sposób wyodrębia obszary o dowolnej strukturze – kształcie. Z właściwości tych wynika że do odzwierciedlenia skomplikowanych związków nieliniowych – a za takie zostały uznane omawiane w projekcie problemy – najlepiej nadaje się sieć posiadająca 3 warstwy ukryte, podczas gdy zwiększanie warstw nie przyniosłoby dodatkowych korzyści, a jedynie ogromnie skomplikowało proces uczenia sieci.

Neurony poszczególnych warstw zostaną połączone metodą każdy neuron z warstwy poprzedniej z każdym neuronem warstwy następnej.

Jako funkcja aktywacji neuronu zostanie użyta forma funkcji logistycznej postaci:

$$y = \frac{1}{1 + e^{-\beta S}} \quad [1]$$

$$S = \sum_{j=0}^J x_j w_j \quad [2]$$

gdzie  $y$  to wyjście neuronu,  $x_j$  jego wejścia wraz z wartością progową bias ( $x_0 = 1$ ), a  $w_j$  wagi przypisane do  $j$ -tych wejść.

Zaletą podanej funkcji jest prosta postać jej pochodnej:

$$\frac{\partial y}{\partial S} = y(1 - y) \quad [3]$$

Wartości funkcji  $y$  należą do otwartego przedziału  $(0; 1)$ , dlatego obok warstw ukrytych sieć będzie posiadała warstwę wyjściową, przetwarzającą otrzymane wartości z zakresu  $(0; 1)$  na wartości typowe dla prognozowanych wielkości ekonomicznych:

$$y_j^{(out)} = y_{j(\min)}^{(out)} + x_j^{(out)} \left( y_{j(\max)}^{(out)} - y_{j(\min)}^{(out)} \right) \quad [4]$$

gdzie  $x_j^{(out)}$  jest jedynym wejściem  $j$ -tego neuronu wyjściowego,  $y_{j(\min)}^{(out)}$  minimalną, a  $y_{j(\max)}^{(out)}$  maksymalną dopuszczalną wartością wyjścia sieci, oraz  $y_j^{(out)}$  wyjściem  $j$ -tego neuronu warstwy wyjściowej i całej sieci.

Działanie sieci można zinterpretować jako klasyfikowanie wektorów wejściowych do zbioru idealnych, dla prognozowanej wielkości, kombinacji z punktu widzenia koniunktury gospodarczej. Ponieważ funkcja sigmoidalna przechodzi od wartości 0 do 1 w sposób ciągły i dla wartości parametru  $\beta = 1$  dość łagodny, można go uznać za zbiór rozmyty. Stopień przynależności do owego zbioru idealnych kombinacji można kojarzyć z natężeniem prognozowanej wielkości.

Interpretacja ta ma tym większy sens iż wszystkie wejścia będą miały charakter wartości względnych, obliczanych głównie przez przyrównanie do PKB.

Zabieg ten pozwoliłby w teorii użyć w procesie uczenia wartości makroekonomicznych zebranych dla gospodarek innych, podobnych do Polski państw. Zaprezentowanie sieci danych np. Węgier czy Czech, posiadających podobne doświadczenia związane z problemami wynikającymi z transformacji systemu społeczno-ekonomicznego, pozwoliłby na zwiększenie zakresu danych uczących oraz zaprezentowanie sieci innych ścieżek rozwoju w podobnych warunkach. Zdobywanie wspomnianych danych leży jednak poza zakresem środków i możliwości dostępnych w projekcie.

Trudno określić czy istnieje potrzeba wstępnego przetwarzania danych w warstwie poprzedzającej 1 warstwę ukrytą i nazywaną wejściową. W celu zabezpieczenia się przed ewentualnymi zakłóceniami sieć zostanie wyposażona w warstwę wejściową realizującą następującą operację matematyczną:

$$y_j^{(in)} = \frac{x_j^{(in)} - x_{j(\min)}^{(in)}}{x_{j(\max)}^{(in)} - x_{j(\min)}^{(in)}} \quad [5]$$

gdzie  $x_j^{(in)}$  jest j-tym wejściem sieci i tym samym jedynym wejściem j-tego neuronu wejściowego,  $x_{j(\min)}^{(in)}$  minimalną, a  $x_{j(\max)}^{(in)}$  maksymalną dopuszczalną wartością j-tego wejścia sieci, oraz  $y_j^{(in)}$  wyjściem j-tego neuronu warstwy wejściowej.

Bezwzględne wartości odchyłek wejść będą w takiej sytuacji na tyle podobne, iż nie powinny one wpływać zakłócająco na proces obliczania sum iloczynów wejść i odpowiednich wag w 1 warstwie ukrytej.

#### **Określenie techniki uczącej sieć.**

Do uczenia sieci zostanie wykorzystany klasyczny algorytm wstecznej propagacji błędu (ang. back propagation). Algorytm zostanie przedstawiony pod kontem sigmoidalnej funkcji aktywacji oraz jego implementacji w obiektowy model sieci, w którym pojedynczy neuron sam będzie obliczał dla siebie nowe wartości wag.

Dążąc do jak najlepszego dopasowania wyjść sieci do wartości wzorcowych, minimalizujemy funkcje kwadratu błędu, czyli różnicy pomiędzy wyjściem sieci wygenerowanym dla wektora wejść a odpowiadającą temu wektorowi wartością wzorcową. Mając na uwadze fakt iż wykorzystywana sieć posiada warstwę wyjściową używaną jedynie do skalowania wartości wyjść opisywana metoda dotyczy jedynie 3 warstw ukrytych. Wartość wzorców dla 3 warstwy ukrytej obliczana będzie ze zmodyfikowanego wzoru [5], postaci:

$$p_j^{(3)} = \frac{p_j - y_{j(\min)}^{(out)}}{y_{j(\max)}^{(out)} - y_{j(\min)}^{(out)}} \quad [6]$$

gdzie  $p_j^{(in)}$  to wartość wzorca j-tego wyjścia 3 warstwy ukrytej.

Przy takich założeniach funkcja kwadratu błędu Q ma postać:

$$Q = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J (y_j^{(3)} - p_j^{(3)})^2 \quad [7]$$

gdzie  $y_j^{(3)}$  to wartość wyjścia j-tego neuronu 3 warstwy ukrytej.

Do minimalizacji funkcji Q wykorzystana zostanie metoda gradientowa zgodnie z którą wektor przeciwny do wektora gradientu funkcji wskazuje kierunek najszybszego spadku funkcji. Aby zminimalizować funkcję Q ze względu na wektor wag od wektora tego odejmujemy wektor gradientu co prowadzi do wzoru:

$$\mathbf{w}[t] = \mathbf{w}[t-1] - \delta \frac{\partial Q}{\partial \mathbf{w}[t-1]} \quad [8]$$

gdzie  $\mathbf{w}$  to wektor wag neuronu, a  $\delta$  to długość kroku modyfikacji, lub inaczej współczynnik uczenia, przyjęty dla opisywanej sieci na poziomie  $\delta = 0,6$ .

Wektor gradientu rozkładamy na iloczyn pochodnej funkcji Q względem wyjścia j-tego neuronu n-tej warstwy i pochodnej funkcji wyjścia j-tego neuronu n-tej warstwy względem wektora wag tego samego neuronu:

$$\frac{\partial Q}{\partial \mathbf{w}_j^{(n)}} = \frac{\partial Q}{\partial y_j^{(n)}} \frac{\partial y_j^{(n)}}{\partial \mathbf{w}_j^{(n)}} \quad [9]$$

Pierwszy człon wzoru [9] możemy obliczyć wykorzystując pochodną funkcji Q względem wyjścia j-tego neuronu warstwy następnej (n+1):

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial y_j^{(n)}} &= \sum_{i=1}^I \frac{\partial Q}{\partial x_{i,j}^{(n+1)}} = \sum_{i=1}^I \frac{\partial Q}{\partial y_i^{(n+1)}} \frac{\partial y_i^{(n+1)}}{\partial x_{i,j}^{(n+1)}} \\ \frac{\partial Q}{\partial y_j^{(n)}} &= \sum_{i=1}^I \frac{\partial Q}{\partial y_i^{(n+1)}} \frac{\partial y_i^{(n+1)}}{\partial S_i^{(n+1)}} \frac{\partial S_i^{(n+1)}}{\partial x_{i,j}^{(n+1)}} \\ \frac{\partial Q}{\partial y_j^{(n)}} &= \sum_{i=1}^I \frac{\partial Q}{\partial y_i^{(n+1)}} y_i^{(n+1)} (1 - y_i^{(n+1)}) w_{i,j}^{(n+1)} \end{aligned} \quad [10]$$

gdzie  $x_{i,j}^{(n+1)}$  jest j-tym wejściem i-tego neuronu warstwy następnej (n+1) i jednocześnie wyjściem j-tego neuronu warstwy poprzedniej n;  $x_{i,j}^{(n+1)} = y_j^{(n)}$ , a  $S_i^{(n+1)}$  to suma ze wzoru [2] dla j-tego neuronu n-tej warstwy

Pochodną funkcji Q względem wyjścia j-tego neuronu warstwy 3 liczymy według wzoru:

$$\frac{\partial Q}{\partial y_j^{(3)}} = y_j^{(3)} - p_j^{(3)} \quad [11]$$



Drugi człon wzoru [9] obliczmy w następujący sposób:

$$\frac{\partial y_j^{(n)}}{\partial \mathbf{w}_j^{(n)}} = \frac{\partial y_j^{(n)}}{\partial S_j^{(n)}} \frac{\partial S_j^{(n)}}{\partial \mathbf{w}_j^{(n)}} = y_j^{(n)} (1 - y_j^{(n)}) \mathbf{x}_j^{(n)T} \quad [12]$$

Powyższy schemat rozpisania wzorów pozwoli na zaprojektowanie klasy neuronu w taki sposób, by na podstawie odpowiednich składników (pochodnych) używanych do obliczania gradientu funkcji Q, neuron sam zmodyfikował swoje wagi i dostarczył odpowiednich wartości neuronom warstwy poprzedniej w celu dokonania tej samej operacji.

### **Zaprojektowanie hierarchii podstawowych klas sieci neuronowej (drzewo dziedziczenia w załączniku nr 7).**

Wszystkie klasy składające się na program uczący sieć oraz przetwarzający: Artificial Neural Network System v 1.00, znajdują się w pakiecie rosczak. Klasy odpowiedzialne za interfejs oraz odczyt i zapis plików zostały umieszczone w pakiecie rosczak.anns. Pakiet rosczak.neural (dokumentacja w załączniku nr 6) zawiera zestaw klas, które w założeniu mają stanowić uniwersalny szkielet dowolnego typu sieci neuronowej, oddzielony jednocześnie od interfejsu.

Podstawowym składnikiem sieci jest neuron, reprezentowany w pakiecie przez abstrakcyjną klasę Neural. Klasa ta obejmuje właściwości i zdarzenia typowe dla każdego rodzaju neuronu, niezależnie od funkcji i typu sieci (szczegółowy opis w wydruku dokumentacji – załącznik nr 8). Z klasy Neural wyprowadzone są kolejno klasy:

- InputNeural – reprezentująca neurony warstwy wejściowej;
- LogisticNeural – reprezentująca neurony warstw przetwarzających z logistyczną funkcją aktywacji;
- OutputNeural – reprezentująca neurony warstwy wyjściowej zajmujące się transformacją danych, odwrotną do operacji dokonywanej przez warstwę wejściową.

Ostatnia w hierarchii klasa LogisticEBPNeural (neuron sieci error back propagation z logistyczną funkcją aktywacji), implementująca interfejs EBPNeural (funkcje interfejsu opisane w załączniku nr 9), dostarcza programiście funkcje pobierające z neuronu odpowiednie pochodne, niezbędne przy uczeniu sieci metodami gradientowymi, a w tym także algorytmem error back propagation.

Drugą hierarchię tworzą klasy reprezentujące sieci. Sieć w ramach kompozycji obejmuje szereg obiektów - neuronów i dziedziczy ze wspólnego interfejsu Network. Pierwsza w hierarchii klasa konkretna – MPLNetwork (multi-layered perceptron network) – wykonuje proste obliczanie wyjść sieci na podstawie podanych wartości zestawu wag neuronów oraz danych wejściowych (szczegóły dokumentacji – załącznik nr 10).

Abstrakcyjna Klasa pochodna EBPNetwork (error back propagation network) implementuje 2 z zestawu 4 interfejsów określających typ sieci. Do interfejsów tych należą:

- OneStepTrainable – sieci uczone w jednym kroku obliczeń;
- IterativeTrainable – sieci trenowane metodami iteracyjnymi;
- Superviseable – sieci nadzorowane;
- Selforganizeable – sieci uczone bez nadzoru.

Sieć trenowana klasyczną postacią algorytmu error back propagation została oprogramowana w klasie ClassicEBPNetwork, dziedziczącej po EBPNetwork oraz implementującej zgodnie ze swoim algorytmem uczenia interfejsy : IterativeTrainable i Superviseable (zob. załącznik nr 11).

### **Tworzenie sytemu komputerowego implementującego proces uczenia sieci.**

Tworzony system korzysta z konsoli systemowej oraz plików tekstowych przechowujących zestaw wag neuronów, dane wejściowe i wyjściowe oraz raport z przebiegu procesu trenowania sieci (plik „raport.txt”)

Struktura sieci zapisana jest w postaci zestawienia wartości wag. Całość wczytuje się z pliku tekstowego o następującej strukturze:

```
[liczba warstw]
[pusty wiersz]
[liczba neuronów w warstwie 1]
...
[liczba neuronów w warstwie n-tej]
[pusty wiersz]
[liczba wag neuronów w warstwie 1]
[1 waga 1 neuronu warstwy 1][spacja]...[spacja][n-ta waga 1 neuronu warstwy 1]
...
[1 waga n-tego neuronu warstwy 1][spacja]...[spacja][n-ta waga n-tego neuronu
warstwy 1]
[pusty wiersz]
...
[pusty wiersz]
[liczba wag neuronów w warstwie n-tej]
[1 waga 1 neuronu warstwy n-tej][spacja]...[spacja][ n-ta waga 1 neuronu
warstwy n-tej]
...
[1 waga n-tego neuronu warstwy n-tej][spacja]...[spacja][ n-ta waga n-tego
neuronu warstwy n-tej 1]
[pusty wiersz]
```

Plik z danymi uczącymi jest również plikiem za pomocą którego wykonuje się obliczenie wyjść dla zadanych wejść. W takim przypadku należy podać plik obejmujący jedną obserwację (wejścia) oraz dowolną wartość wyjścia, która zostanie przepisana przez system po przetworzeniu wejść. Schemat pliku ma postać:

```
[liczba obserwacji]
[pusty wiersz]
[liczba wejść]
[liczba wyjść]
[pusty wiersz]
[1 wartość 1 wejścia][spacja]...[spacja][n-ta wartość 1 wejścia]
...
[1 wartość n-tego wejścia][spacja]...[spacja][n-ta wartość n-tego wejścia]
[pusty wiersz]
[1 wartość 1 wyjścia][spacja]...[spacja][n-ta wartość 1 wyjścia]
```

...

[1 wartość n-tego wyjścia][spacja]...[spacja][n-ta wartość n-tego wyjścia]

Skąpa ilość obserwacji i stosunkowo duża liczba wejść oraz wyjść sieci, wymusiły zastosowanie klasycznej wersji algorytmu error back propagation.

Każda iteracja rozpoczyna się wymieszaniem kolejności w jakiej obserwacje będą prezentowane podczas trenowania. Proces uczenia obejmuje wielokrotną modyfikację wag, jako efekt prezentacji każdej obserwacji. Jeden krok kończy się obliczeniem ogólnego błędu sieci, który w przypadku opisywanego systemu jest średnią arytmetyczną obliczana z MPE, MAPE i RMSPE dla wszystkich wyjść. Jeżeli po pojedynczej iteracji wartość błędu spadła, sieć zachowuje aktualne wagi jako najlepsze z dotychczas analizowanych.

Warunkiem koniecznym przerwania kolejnych iteracji jest stwierdzenie przekroczenia 100 opisanych wyżej kroków uczących. Sieć musi ponadto przeprowadzić 20 kroków, w efekcie których wielkość błędu nie ulega zmniejszeniu. Dopiero po spełnieniu tych warunków następuje przerwanie trenowania i zapisanie do neuronów najlepszego zestawu wag.

Każdy krok (iteracja) jest prezentowana na konsoli oraz zapisywana do pliku raportu. Informacje te obejmują numer iteracje oraz wartości MPE, MAPE i RMSPE dla wszystkich wyjść.

O prawidłowym funkcjonowaniu systemu może świadczyć fragment pliku raportu, wygenerowany dla zgromadzonych danych makroekonomicznych, podczas uczenia sieci z 8, 6 i 4 neuronami w kolejnych warstwach przetwarzających:

```
Iteracja nr 0
MPE: 117.76950104664269      631.6485019100307 91.12470782873683 -
323.30982330732564
MAPE: 117.76950104664269      631.6485019100307 91.12470782873683
334.19217511291674
RMSPE: 22.282258621003717      133.29693506735674
9.804548997613814 40.14416225121576
```

...

```
Iteracja nr 143
MPE: 26.18306790579565 135.97098435268433      3.9726407876637566
30.599115637996906
MAPE: 53.741465370763166      181.6525757093214 16.122418321666462
98.74423400646711
RMSPE: 11.284356616635543      40.310695358500226
2.0028141285961722      14.23382699894531
```

...

```
Iteracja nr 360
MPE: 19.23585988826429 67.1646915093811 2.953104099286711 -
28.202919575217166
MAPE: 44.39622507418929 86.02834805084552 17.017857638852263
41.129100074289504
RMSPE: 7.616204188200443 20.888369040335853      2.105798828407854
5.43837884694312
```

...

Iteracja nr 513

MPE: 21.128268322107736 47.415479150216385 3.935873029392536 -  
40.07487767430487

MAPE: 44.53831796057878 66.06619899067618 16.253593312285158  
54.38791235616828

RMSPE: 7.7383778915322665 15.98246065994961 2.0183909963207918  
6.758997138231384

**Proces uczenia sieci neuronowej oraz zamieszczenie apletu  
symulacji w Internecie.**

Sieć została wytrenowana w opcjach :

- 8;6;4 – sieć z 8, 6 i 4 neuronami w kolejnych warstwach przetwarzających;
- 16;8;4 – sieć z 16, 8 i 4 neuronami w kolejnych warstwach przetwarzających;

Tabela zawierająca prognozy 2 wariantów sieci:

Dane zaobserwowane								
rok	st. wzr. PKB	st. inflacji	st. bezrob.	bilans płat.	st. procent.	udz. sek. pryw.	obciąż. publ.	defic. budz.
1992	0,026	0,385	0,143	-0,003	0,320	0,368	0,419	-0,060
1993	0,038	0,305	0,164	-0,028	0,290	0,390	0,460	-0,028
1994	0,052	0,284	0,160	-0,010	0,280	0,409	0,447	-0,028
1995	0,070	0,279	0,149	0,042	0,250	0,403	0,433	-0,033
1996	0,060	0,187	0,132	-0,010	0,220	0,380	0,428	-0,030
1997	0,068	0,140	0,103	-0,030	0,245	0,444	0,420	-0,027
1998	0,046	0,117	0,104	-0,044	0,182	0,444	0,411	-0,024
1999	0,041	0,068	0,131	-0,074	0,190	0,465	0,411	-0,020
2000	0,040	0,010	0,153	-0,063	0,215	0,486	0,397	-0,022
2001	0,010	0,055	0,174	-0,040	0,140	0,510	0,401	-0,045
2002			0,175					-0,054
Dane zaobserwowane i wyjścia sieci 8;6;4								
rok	st. wzr. PKB	st. inflacji	st. bezrob.	bilans płat.	st. procent.	udz. sek. pryw.	obciąż. publ.	defic. budz.
1992	-	-	-	-	0,320	0,368	0,419	-0,060
1993	0,063	0,293	0,140	0,007	0,290	0,390	0,460	-0,028
1994	0,062	0,286	0,140	0,005	0,280	0,409	0,447	-0,028
1995	0,061	0,267	0,140	0,001	0,250	0,403	0,433	-0,033
1996	0,051	0,159	0,141	-0,024	0,220	0,380	0,428	-0,030
1997	0,048	0,142	0,141	-0,028	0,245	0,444	0,420	-0,027
1998	0,040	0,089	0,142	-0,043	0,182	0,444	0,411	-0,024
1999	0,033	0,056	0,143	-0,054	0,190	0,465	0,411	-0,020
2000	0,031	0,049	0,144	-0,057	0,215	0,486	0,397	-0,022
2001	0,028	0,042	0,144	-0,061	0,140	0,510	0,401	-0,045
2002			-					-0,054
Dane zaobserwowane i wyjścia sieci 16;8;4								
rok	st. wzr. PKB	st. inflacji	st. bezrob.	bilans płat.	st. procent.	udz. sek. pryw.	obciąż. publ.	defic. budz.
1992	-	-	-	-	0,320	0,368	0,419	-0,060
1993	0,060	0,279	0,143	0,004	0,290	0,390	0,460	-0,028
1994	0,060	0,279	0,143	0,004	0,280	0,409	0,447	-0,028
1995	0,060	0,278	0,143	0,003	0,250	0,403	0,433	-0,033
1996	0,049	0,166	0,144	-0,023	0,220	0,380	0,428	-0,030
1997	0,034	0,078	0,145	-0,048	0,245	0,444	0,420	-0,027
1998	0,032	0,068	0,145	-0,052	0,182	0,444	0,411	-0,024
1999	0,031	0,066	0,145	-0,053	0,190	0,465	0,411	-0,020
2000	0,031	0,064	0,145	-0,053	0,215	0,486	0,397	-0,022
2001	0,031	0,064	0,145	-0,053	0,140	0,510	0,401	-0,045
2002			-					-0,054

Jak widać na przykładzie proces uczenia odbywa się prawidłowo, a sieć generuje dane zbliżone wartościami i tendencją kształtowania się na przestrzeni okresów do wzorców. Niestety można zaobserwować, iż rozmiary błędów wykraczają po za poziom dopuszczalny przy tego typu prognozach, na co w największym stopniu wpływa prawdopodobnie niewielka liczba obserwacji, połączona z proporcjonalnie dużą liczbą wejść i wyjść oraz wysokim poziomem złożoności związków w modelowanym procesie.

Aplet implementujący symulację makroekonomiczną w oparciu o sieć neuronową został zamieszczony na darmowym serwisie stron www pod adresem <http://pawelrosczak.republika.pl/makrosim/cover.html> . Na koncie www umieszczono jedynie klasy Javy odpowiedzialne za przetwarzanie wejść. Całość opakowano w Graficzny Interfejs Użytkownika (GUI) z pakietu AWT, zgodny ze standardem Java 1.1.

**Bibliografia:**

- Argila C., Yourdon E., Analiza obiektowa i projektowanie. Przykłady zastosowań, tłum. M. Szadkowska-Rucińska, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
- Białko M., Podstawowe właściwości sieci neuronowych i hybrydowych systemów ekspertowych, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2000.
- Booch G., Jacobson J., Rumbaugh J., UML. Przewodnik użytkownika, tłum. K. Stencel, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001.
- Dumnicki R., Kasprzyk A., Analiza i projektowanie obiektowe, Wydawnictwo Helion, Gliwice 1998.
- Eckel B., Thinking in Java. Edycja Polska. Wprowadzenie do programowania zorientowanego obiektowo w sieci www, tłum. A. Nowak, Ł. Fryz, S. Kobalczyk, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2001.
- <http://www.java.sun.com>
- Zieliński J. S. (red.), Bartkiewicz W., Czajkowska R., Gontar Z., Jęczkowska B., Pamuła A., Inteligentne systemy w zarządzaniu, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
- Schildt H., Java 2. Kurs podstawowy, tłum. Ł. Cygan, Wydawnictwo „Edition 2000”, Kraków 2000.
- Tadeusiewicz R., Sieci neuronowe, <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/skrypty/1/>, kwiecień 2002.
- Wprowadzenie do sieci neuronowych, tłum. i oprac. P. Lula, R. Tadeusiewicz, Wydawnictwo StatSoft, Kraków 2001.
- Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych w modelowaniu ekonomicznym, pod red. J. Siedleckiego, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław 2001.