

# ZASTOSOWANIE SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH I WYBRANYCH METOD STATYSTYCZNYCH DO WSPOMAGANIA DECYZJI KREDYTOWYCH

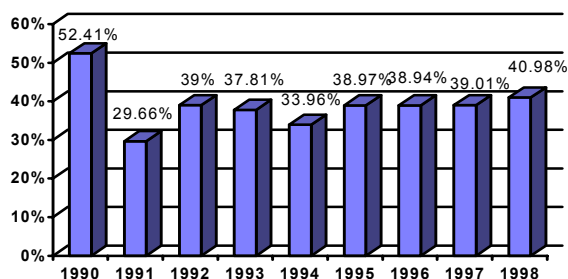
Iwona Staniec

Wydział Organizacji i Zarządzania, Politechnika Łódzka, Łódź

## 1 WPROWADZENIE

Na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych Polska wkroczyła w proces transformacji systemowej. Procesowi temu, obejmującemu całokształt stosunków społeczno-ekonomicznych, towarzyszy przebudowa bankowości. Banki stały się samodzielnym ogniwem gospodarki narodowej, wywierającym istotny wpływ na jej funkcjonowanie. Pociągnęło to za sobą konieczność doskonalenia metod i technik operacji bankowych. Zatem wybór podjętego tematu rozprawy jest wynikiem zapotrzebowania instytucji kredytowych na doskonalenie metod oceny zdolności kredytowej.

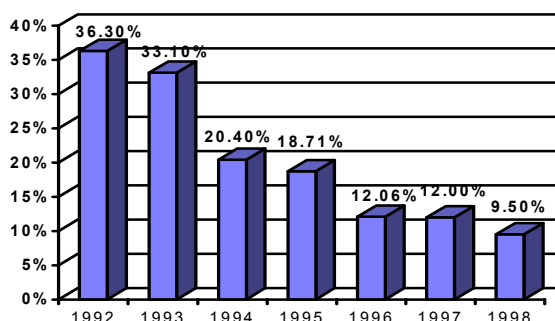
Na podstawie analizy sektora bankowego (rys. 1) widoczny jest wzrost udziału kredytów dla podmiotów gospodarczych w aktywach polskiego sektora bankowego w latach 1990-1998.



Rys. 1. Średni udział procentowy udzielonych kredytów gospodarczych w aktywach ogółem banków działających w latach 1990-1998 na terytorium Polski (źródło: opracowanie własne na podstawie *Rocznika Statystycznego 1998 - Bilans systemu bankowego* oraz „Gazety Bankowej”).

W przypadku udzielania długoterminowego kredytu banki stają przed problemem regularnej

analizy (aktualizacji) sytuacji kredytobiorcy w czasie spłaty kredytu, gdyż jego sytuacja płatnicza może ulec zasadniczemu pogorszeniu w stosunku do (pozytywnych) przewidywań początkowych. Powoduje to trudności w spłacie kredytu przez przedsiębiorstwa, a zatem pojawienie się należności nieregularnych netto<sup>16</sup>, które w akcji kredytowej brutto polskiego sektora bankowego w okresie od 1992 do 1998 roku przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Średni udział należności nieregularnych netto w akcji kredytowej brutto w polskim sektorze bankowym w latach 1992-1998 (źródło: opracowanie własne na podstawie „Gazety Bankowej”).

Analizując dane z rysunku 2, można zauważyć spadkowy trend średnich udziałów należności nieregularnych netto w akcji kredytowej brutto banków działających w Polsce w okresie 1994-1998. Mimo że mamy do czynienia z trendem spadkowym, to średni udział należności nieregularnych netto w akcji kredytowej brutto

<sup>16</sup> Należności nieregularne netto to należności bez odsetek od podmiotów niefinansowych i jednostek budżetowych, których spłata opóźnia się co najmniej o miesiąc.

w polskim sektorze bankowym jest wyższy niż dla banków zachodnich. Wpływa z tego wniosek, że bankom polskim jest potrzebne wypracowanie bardziej efektywnych procedur oceny zdolności kredytowej i ryzyka kredytowego w celu obniżenia średnich należności nieregularnych w akcji kredytowej brutto do poziomu takiego, jaki występuje dla systemów bankowych w rozwiniętych gospodarczo krajach świata.

Niska efektywność decyzji jest szkodliwa dla każdego przedsiębiorstwa, ponieważ dezorganizuje jego funkcjonowanie. Zatem ważne jest, jakimi dysponuje ono narzędziami wspomagającymi proces decyzyjny.

## 2 CELE PRACY

Celem pracy jest badanie możliwości wykorzystania wybranych metod statystycznych i sztucznych sieci neuronowych do oceny wiarygodności kredytowej oraz porównanie efektywności na podstawie analizowanych metod. Cel ten jest realizowany poprzez systematyzację dotychczasowej wiedzy dotyczącej zarządzania finansami oraz metod statystycznych i sztucznych sieci neuronowych, a także w oparciu o weryfikację empiryczną analizowanych metod. W ramach tak sformułowanego celu ogólnego postawiono następujące cele szczegółowe:

- analiza klasycznych metod oceny zdolności kredytowej;
- systematyzacja wybranych metod statystycznych służących rozwiązywaniu zadań klasyfikacji;
- przedstawienie problematyki sztucznych sieci neuronowych ze szczególnym wskazaniem na ich wykorzystanie w ocenie przedsiębiorstw;
- empiryczna weryfikacja wybranych metod statystycznych i sztucznych sieci neuronowych, jako metod wspomagających podejmowanie decyzji o przyznaniu kredytów bankowych.

Najnowsze opracowania<sup>17</sup> wskazują możliwość zastosowania operacyjnych metod zarządzania ryzykiem, które są związane z identyfikacją i pomiarem ryzyka. Konieczność jasnego ujęcia tego problemu wymaga stworzenia na podstawie przeprowadzonych badań tzw. Modelu ryzyka, który powinien możliwie dokładnie

obrazować stopień zagrożenia płynący z poszczególnych typów ryzyka, a także jednoczesnego ich występowania.

Koncepcja modelu oceny zdolności kredytowej powstała w wyniku refleksji nad mechanizmami ograniczającymi ryzyko kredytowe i metodami oceny zdolności kredytowej. Opracowując system wspomagający decyzje kredytowe, należy uwzględnić kilka specyficznych cech:

- banki rzadko przechowują dane dotyczące odrzuconych wniosków kredytowych wraz z uzasadnieniem przyczyny odrzucenia;
- banki często mają do czynienia z niewiarygodną lub niekompletną informacją;
- stan przechowywanych informacji ulega ciągłym zmianom, przeto czas generowania modelu prognozującego musi być możliwie jak najkrótszy;
- bank posiada informacje nie w pełni wiarygodne (ta kategoria informacji, która mogłaby być decydująca w procesie prognozowania jest zazwyczaj niedostępna), a zatem nie sposób jest np. ocenić uczciwość osoby podającej informację.

Początkowo do klasyfikacji klientów bankowych wykorzystywano modele logitowe i probitowe. (Porównaj prace: Jr. C. J. Caseya i N. Bartzaka [1985], M. Mühlbayer [1986], J. A. Ohlson [1980], K. P. Fouquet [1987], M. E. Żmijewski [1985], J. A. Gentry, P. Newbold oraz D. T. Hitford [1985]).

Następnie do oceny wiarygodności kredytowej wykorzystano metody rozpoznawania obrazów takie jak:

- cluster: (J. H. Fischer [1981] i H. Rehkugler [1993]);
- algorytmy pomyłkowo-korektorskie i techniki Clustering (R. Heno [1983]);
- reguła najbliższego sąsiada (K. Y. Tam, M. Kiang [1990]);
- algorytmy rekursywno-częściowe (M. Schumann, T. Lohrbach, P. Bahars [1992], Th. Grenz [1987] oraz H. J. Hofmann [1990]).

W Polsce największą popularnością cieszy się tzw. metoda wzorca (E. Nowak [1995], K. Jajuga [1990], D. Strahl [1996], W. Rogowski i M. Krysiak [1997]).

Niewątpliwie jednak największym osiągnięciem w ocenie przedsiębiorstw cieszy się model Zeta Score opracowany przez E. I. Altmana.

<sup>17</sup> Porównaj K. Jajuga [1997] i [1998], s. 155-162; G. Borys [1996]; B. Gruszka i Z. Zawadzka [1992].

(Wielowymiarową analizę dyskryminacyjną stosowali w swoich badaniach również: M. A. El Shamy [1989], G. Weinrich [1978], M. D. Odom i R. Sharad [1990], K. Y. Tam, M. Kiang [1990], M. Feidicker [1992], H. Reh-kugler [1993], G. Gebhardt [1980] oraz M. Mühlbayer [1986]. Wykorzystanie w badaniach wielowymiarowej analizy dyskryminacyjnej do oceny polskich przedsiębiorstw można znaleźć w pracach: J. Gajdka i D. Stos [1996], D. Witkowska [1999], A. Gasik [1998], J. Zawadzki i H. Babis [1996]).

Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do oceny wiarygodności kredytowej zajmuje w ostatnim okresie czołową pozycję w literaturze przedmiotu. W Stanach Zjednoczonych, Niemczech i Wielkiej Brytanii tego rodzaju systemy znajdują się już w użyciu<sup>18</sup>. Bogata literatura na ten temat stanowi o aktualności problemu, należy tutaj wymienić przede wszystkim prace: M. D. Odom i R. Sharad [1990], K. Y. Tam, M. Kiang [1990], K. Erxleben, J. Baetege, M. Feidicker, H. Koch, C. Krause, P. Martens [1996], H. Reh-kugler [1993], A. Stawowy i P. Jastrzębski [1996], D. Witkowska i A. Mazur [1998], D. Witkowska [1999], M. Schumann, T. Lohrbach, P. Bahrs [1992], S. A. Shumsky i A. V. Yaravoy [1998] oraz R. F. Walker, E. W. Haasdijk, M. C. Gerrets [1995].

### 3 TEZA PRACY

Podstawową tezę pracy jest stwierdzenie, że wybrane metody statystyczne oraz sztuczne sieci neuronowe mogą istotnie uprościć i przyspieszyć procedurę oceny wiarygodności klientów banku.

W ramach tak sformułowanej tezy starano się odpowiedzieć na następujące pytania:

- która z metod analizy dyskryminacyjnej (liniowa czy logistyczna) pozwala uzyskać lepsze wyniki klasyfikacji dychotomicznej?
- czy sztuczne sieci neuronowe dają lepsze rezultaty klasyfikacji niż analiza dyskryminacyjna i od czego jest to uzależnione?
- jaki wpływ na wyniki klasyfikacji ma dobór zmiennych diagnostycznych?
- czy przeprowadzenie wstępnej analizy danych (tzw. preprocessing) zwiększa efektywność stosowanych metod?

- która z metod klasyfikacji (ze wzorcem czy bez wzorca) daje lepsze rezultaty klasyfikacji?

### 4 METODY BADAWCZE

W pracy wykorzystano badania literaturowe oraz badania empiryczne przeprowadzone w oparciu o:

- analizę wskaźnikową;
- metody statystyczne;
- sztuczne sieci neuronowe.

Do badań empirycznych zgromadzono dane statystyczne dotyczące wniosków kredytowych 110 firm ubiegających się o przyznanie kredytu w jednym z banków w regionie łódzkim w latach 1994-1998. Zebrane dane zostały poddane weryfikacji statystycznej. Przeprowadzono analizę wskaźnikową badanych przedsiębiorstw oraz eksperymenty numeryczne, których celem była dychotomiczna klasyfikacja przedsiębiorstw ubiegających się o kredyt. Wykorzystano liniową i logistyczną analizę dyskryminacyjną, metodę miernika taksonomicznego, metodę k-średnich oraz sztuczne sieci neuronowe, takie jak: perceptron wielowarstwowy, sieci o radialnych funkcjach bazowych i sieci realizujące regresję uogólnioną. Eksperymenty przeprowadzono w oparciu o oryginalne zmienne oraz zmienne otrzymane po preprocessingu bazy danych analizą głównych składowych oraz analizą czynnikową.

W zadaniach klasyfikacji jednym z ważniejszych problemów jest dobór zmiennych diagnostycznych. Wykorzystano różne zestawy zmiennych diagnostycznych<sup>19</sup>, otrzymane przy użyciu następujących metod: analizy macierzy współczynników korelacji, tzw. metody Nowaka i Hellwiga oraz algorytmu genetycznego. Wszystkie eksperymenty przeprowadzono dla zmiennych zdefiniowanych jako wskaźniki finansowe oraz ich przyrosty.

Badania, których wyniki przedstawiono w pracy, przeprowadzono przy użyciu pakietu statystycznego *STATISTICA*, *STATISTICA Neural Networks* oraz arkusza kalkulacyjnego *Excel*.

<sup>18</sup> Porównaj T. Gwiazda [1998], s. 131-143.

<sup>19</sup> Porównaj K. Jajuga [1994], s. 49.

## 5 CHARAKTERYSTYKA BADAŃ

Na podstawie oceny przeprowadzonej przez inspektorów kredytowych w oparciu o metodę punktową wszystkie przedsiębiorstwa podzielono na *wiarygodne* (te, którym przyznano kredyt) i *niewiarygodne* (te, którym nie przyznano kredytu)<sup>20</sup>.

Spośród 110 wniosków kredytowych zgromadzonych na użytek badań inspektorzy kredytowi zaklasyfikowali 55 firm ubiegających się o kredyt jako *wiarygodne* i 55 jako *niewiarygodne*.

Analiza kondycji finansowej przedsiębiorstwa może zostać sformułowana jako zadanie klasyfikacji. Obiektami są firmy, a zmiennymi wskaźniki charakteryzujące kondycję finansową obiektu. Klasyfikacja polega na wyodrębnieniu klas, zawierających firmy o podobnej kondycji finansowej.

Każdy element próby (przedsiębiorstwo) został opisany przez wskaźniki finansowe wyznaczone w oparciu o sprawozdania finansowe. Wyróżniono następujące zmienne:

- $x_1$  i  $x_{25}$  - wskaźnik rentowności aktywów (ROA) [w %] odp. w okresie  $t-1$  (rok kalendarzowy poprzedzający staranie się o kredyt) i  $t$  (okres bieżący - od początku roku do momentu starania się o kredyt);
- $x_2$  i  $x_{26}$  - wskaźnik rentowności kapitału własnego (ROE) [w %] odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_3$  i  $x_{27}$  - wskaźnik rentowności sprzedaży (ROS) [w %] odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_4$  i  $x_{28}$  - wskaźnik rentowności brutto [w %] odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_5$  i  $x_{29}$  - wskaźnik rentowności netto [w %] odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_6$  i  $x_{30}$  - wskaźnik płynności bieżącej odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_7$  i  $x_{31}$  - wskaźnik krótkoterminowej płynności finansowej (szybkiej) odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_8$  i  $x_{32}$  - wskaźnik długoterminowej płynności finansowej odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_9$  i  $x_{33}$  - wskaźnik rotacji należności w dniach odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;

- $x_{10}$  i  $x_{34}$  - wskaźnik rotacji zapasów w dniach odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_{11}$  i  $x_{35}$  - wskaźnik produktywności aktywów odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_{12}$  i  $x_{36}$  - wskaźnik poziomu kosztów odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_{13}$  i  $x_{37}$  - okres płacenia zobowiązań w dniach odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_{14}$  i  $x_{38}$  - wskaźnik rotacji majątku trwałego odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_{15}$  i  $x_{39}$  - wskaźnik rotacji majątku obrotowego odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_{16}$  i  $x_{40}$  - wskaźnik ryzyka aktywów odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_{17}$  i  $x_{41}$  - wskaźnik ogólnego zadłużenia odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_{18}$  i  $x_{42}$  - wskaźnik pokrycia majątku trwałego kapitałem stałym odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_{19}$  i  $x_{43}$  - wskaźnik długu (dźwignia finansowa) odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_{20}$  i  $x_{44}$  - wskaźnik zadłużenia kapitału własnego odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_{21}$  i  $x_{45}$  - wskaźnik pokrycia obsługi długu odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_{22}$  i  $x_{46}$  - wskaźnik pokrycia odsetek odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_{23}$  i  $x_{47}$  - wskaźnik zadłużenia środków trwałych odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_{24}$  i  $x_{48}$  - stopa zadłużenia odp. w okresie  $t-1$  i  $t$ ;
- $x_{49}$  - rodzaj branży;
- $x_{50}$  - decyzja o przyznaniu kredytu (tj. ocena klienta jako *wiarygodnego* lub *niewiarygodnego*).

Wskaźniki  $x_1 - x_{24}$  zostały obliczone dla roku poprzedzającego staranie się o kredyt, a  $x_{25} - x_{48}$  dla okresu bieżącego (tj. okresu od początku roku kalendarzowego do momentu starania się o kredyt). W sumie wszystkich zmiennych opisujących każdy element próby było 50. Zmienne o numerach 1-48 są zmiennymi ilościowymi. Rodzaj branży, czyli zmienna  $x_{49}$  – jest cechą jakościową, jej transformacja w cechę ilościową została przeprowadzona arbitralnie przez autorkę. Podobnie jak decyzja o przyznaniu kredytu, którą potraktowano jako cechę binarną.

W wielu pracach, szczególnie z dziedziny prognozowania (w tym zastosowania sztucznych sieci neuronowych) wykazano, iż najlepsze rezultaty otrzymuje się dla zmiennych wejścio-

<sup>20</sup> Wyniki oceny punktowej dla poszczególnych przedsiębiorstw z podziałem na czynniki ilościowe i jakościowe z pominięciem danych na temat windykacji kredytowej zostały udostępnione autorce przez jeden z banków w regionie łódzkim.

wych przedstawionych w formie przyrostów<sup>21</sup>. Dlatego alternatywny zbiór zmiennych wejściowych zawierał zmienne w postaci przyrostów wskaźników w okresie  $t$  w stosunku do okresu  $t-1$ , czyli<sup>22</sup>:  $\Delta x_i = x_{i+24} - x_i$ .

Dokonano podziału posiadanego zbioru danych na zbiór uczący i testowy o strukturach przedstawionych w tabeli 1. W oparciu o zbiór treningowy dokonywano estymacji parametrów funkcji dyskryminacji i wag sieci neuronowych, a w oparciu o zbiór testowy sprawdzano efektywność oszacowanych modeli.

Tabela 1. Struktura zbioru danych.

| Stosunek elementów próby | Próba treningowa (ucząca) |                 |
|--------------------------|---------------------------|-----------------|
|                          | Wiarygodnych              | Niewiarygodnych |
|                          | 45                        | 45              |
| 1:1                      | Próba testowa             |                 |
|                          | Wiarygodnych              | Niewiarygodnych |
|                          | 10                        | 10              |

Źródło: opracowanie własne.

Dokonując oceny jakości klasyfikacji, wyróżnia się zazwyczaj trzy rodzaje błędów, a mianowicie błędy pierwszego i drugiego rodzaju oraz ogólny błąd decyzji.

Z błędem pierwszego rodzaju mamy do czynienia wtedy, gdy odrzucony przez bank kredyt zostanie zaklasyfikowany jako „przyznany”. Opierając się wówczas wyłącznie na takiej decyzji, bank narażony zostałby na ryzyko nieterminowej spłaty udzielonego kredytu wraz z odsetkami.

$$E_1 = \frac{N_1}{Z} \times 100\% \quad (1)$$

gdzie:

$N_1$  - jest liczbą negatywnie rozpatrzonych przez bank wniosków kredytowych zaklasyfikowanych jako wnioski, na podstawie których należy udzielić kredytu,

$Z$  - jest liczbą wszystkich negatywnie rozpatrzonych przez bank wniosków kredytowych znajdujących się w zbiorze uczącym (testującym).

Błąd drugiego rodzaju powstaje wówczas, gdy zaakceptowany przez bank kredyt zostaje zaklasyfikowany jako „odrzucony”. Nieprzyznanie kredytu, w przypadku posiadania zdolności kredytowej przez wnioskodawcę, powoduje utratę korzyści dla banku z tytułu możliwych do uzyskania dochodów w postaci odsetek od kredytu.

$$E_2 = \frac{N_2}{D} \times 100\% \quad (2)$$

gdzie:

$N_2$  - jest liczbą pozytywnie rozpatrzonych przez bank wniosków kredytowych zaklasyfikowanych jako wnioski odrzucone,

$D$  - jest liczbą wszystkich pozytywnie rozpatrzonych przez bank wniosków kredytowych w zbiorze uczącym (testującym).

Ogólny błąd decyzji określa procentowy udział błędnie zaklasyfikowanych wniosków kredytowych w stosunku do wszystkich rozpatrywanych wniosków.

$$E = \frac{N_1 + N_2}{D + Z} \times 100\% \quad (3)$$

Redukcję liczby zmiennych przeprowadza się również, korzystając z preprocessingu bazy danych, tworząc w ten sposób swego rodzaju zmienne sztuczne o dużej zawartości informacyjnej i wzajemnie nieskorelowane. W badaniach wykorzystano następujące metody preprocessingu zmiennych w postaci wskaźników finansowych  $x_{it}$  oraz ich przyrostów  $\Delta x_{it}$ :

- analizę czynnikową;
- analizę głównych składowych.

Tabela 2. Specyfikacja zmiennych diagnostycznych otrzymanych po preprocessingu danych w formie wskaźników i ich przyrostów.

| Specyfikacja zmiennych      | Liczba zmiennych |           | Procent objaśnianej zmienności pierwotnego zestawu danych |           |
|-----------------------------|------------------|-----------|---|-----------|
|                             | wskaźniki        | przyrosty | wskaźniki   | przyrosty |
| Analiza czynnikowa          | 7                | 10        | -   | -         |
| Analiza głównych składowych | 2                | 2         | 96,02%  | 94,85%    |
|                             | 3                | 5         | 98,77%  | 99,71%    |
|                             | 8                | 8         | 99,8%   | 100%      |

Źródło: opracowanie własne.

W badaniach empirycznych wykorzystano różne zestawy zmiennych diagnostycznych wyznaczone przy użyciu następujących metod:

<sup>21</sup> Zwrócono na to uwagę w pracach m.in.: A. P. Refenes [1994], s. 26; E. Azoff [1995], s. 16; A. Górecka, M. Szmit [1998], s. 111; T. Gwiazda [1998], s. 90.

<sup>22</sup> Otrzymano w ten sposób 24 zmienne i dodano zmienne: rodzaj branży (x49) i wiarygodność kredytową (x50).

analizy macierzy współczynników korelacji (metody Nowaka i Hellwiga) oraz algorytmu genetycznego, a także zmiennych zaproponowanych w opracowaniach J. Gajdka i D. Stos [1996] oraz W. Rogowski i M. Krysiak [1997]. Zbiory zmiennych diagnostycznych wyznaczone dla wskaźników finansowych (13 zestawów) przedstawiono w tabeli 3, a dla zmiennych w postaci przyrostów (9 zestawów) w tabeli 4.

Tabela 3. Specyfikacja zmiennych diagnostycznych dla danych w formie wskaźników.

| Specyfikacja zmiennych  |                     | Zestaw zmiennych diagnostycznych  |
|---|---------------------|---|
| Metoda Nowaka   | wszystkie           | $x_{25}, x_{40}, x_{42}$  |
|   | wszystkie podzielne | $x_{25}, x_{40}$  |
|   | wszystkie + branża  | $x_{25}, x_{40}, x_{42}, x_{49}$  |
|   | podzielne + branża  | $x_{25}, x_{40}, x_{49}$  |
| Metoda Hellwiga   | wszystkie           | $x_2, x_3, x_4, x_6, x_7, x_8, x_{14}, x_{18}, x_{19}, x_{22}, x_{24}, x_{25}, x_{27}, x_{30}, x_{33}, x_{38}, x_{35}, x_{47}$                        |
|   | wszystkie podzielne | $x_2, x_3, x_4, x_6, x_{19}, x_{22}, x_{24}, x_{25}, x_{27}, x_{30}, x_{33}$  |
|   | centralne           | $x_3, x_4, x_7, x_8, x_{18}, x_{19}, x_{24}, x_{25}, x_{27}, x_{30}, x_{33}, x_{35}, x_{47}$  |
|   | centralne podzielne | $x_3, x_4, x_{19}, x_{24}, x_{25}, x_{27}, x_{30}, x_{33}$  |
|   | izolowane           | $x_2, x_{14}, x_{22}, x_6, x_{38}$  |
|   | izolowane podzielne | $x_2, x_{22}, x_6$  |
| AG  |                     | $x_1, x_3, x_6, x_7, x_9, x_{10}, x_{14}, x_{18}, x_{25}, x_{28}, x_{29}, x_{30}, x_{32}, x_{42}, x_{49}$   |
| Zmienne zaproponowane przez J. Gajdkę i D. Stos [1996]          |                     | $x_1 = x_{35};$<br>$x_2 = \frac{\text{zob.krótkoterm}}{\text{koszt.wytprod.sprzed.}} \times 360;$<br>$x_3 = x_{25}; x_4 = x_{27};$<br>$x_5 = x_{48};$ |
| Zmienne zaproponowane przez W. Rogowskiego i M. Krysiaka [1997] |                     | $x_{31}, x_{41}, x_{27}, x_{33}, x_{34}$  |

Źródło: Opracowanie własne.

Z przeprowadzonych badań wynika, że w prawie wszystkich zestawach zmiennych występuje wskaźnik rentowności aktywów ( $x_{25}$ ). Nie występuje on tylko w zestawie izolowanych i izolowanych podzielnych zmiennych wyznaczonych w oparciu o metodę Hellwiga oraz zmiennych zaproponowanych przez W. Rogowskiego i M. Krysiaka.

W przypadku danych w formie przyrostów wskaźników we wszystkich zestawach zmiennych (wykluczając zmienne izolowane i izolowane podzielne) występuje przyrost wskaźnika rentowności aktywów.

Należy zauważyć, iż każdy z zaproponowanych zestawów zmiennych objaśnia w ponad

94,85% zmienność pierwotnego zestawu danych.

Tabela 4. Specyfikacja zmiennych diagnostycznych dla danych w formie przyrostów wskaźników.

| Specyfikacja zmiennych |                     | Zestaw zmiennych diagnostycznych  |
|------------------------|---------------------|---|
| Metoda Nowaka          | wszystkie           | $\Delta x_1, \Delta x_{20}$   |
|                        | wszystkie + branża  | $\Delta x_1, \Delta x_{20}, x_{49}$   |
| Metoda Hellwiga        | wszystkie           | $\Delta x_1, \Delta x_5, \Delta x_6, \Delta x_8, \Delta x_9, \Delta x_{15}, \Delta x_{14}, \Delta x_{16}, \Delta x_{18}, \Delta x_{21}, \Delta x_{22}, \Delta x_{24}$ |
|                        | wszystkie podzielne | $\Delta x_1, \Delta x_5, \Delta x_6, \Delta x_8, \Delta x_{16}, \Delta x_{21}, \Delta x_{18}, \Delta x_{22}, \Delta x_{24}$   |
|                        | centralne           | $\Delta x_1, \Delta x_5, \Delta x_6, \Delta x_8, \Delta x_9, \Delta x_{15}, \Delta x_{16}, \Delta x_{21},$  |
|                        | centralne podzielne | $\Delta x_1, \Delta x_5, \Delta x_6, \Delta x_8, \Delta x_{16}, \Delta x_{21}$  |
|                        | izolowane           | $\Delta x_{14}, \Delta x_{18}, \Delta x_{22}, \Delta x_{24}$  |
|                        | izolowane podzielne | $\Delta x_{18}, \Delta x_{22}, \Delta x_{24}$   |
| AG                     |                     | $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \Delta x_6, \Delta x_7, \Delta x_8, \Delta x_9, \Delta x_{10}, \Delta x_{13}, \Delta x_{18}, \Delta x_{21}, x_{49}.$             |

Źródło: opracowanie własne.

Eksperymenty przeprowadzono dla zmiennych zdefiniowanych w postaci:

- zredukowanych wskaźników finansowych  $x_{it}$ ;
- zredukowanych przyrostów wskaźników finansowych  $\Delta x_{it}$ ;
- zmiennych po preprocessingu przeprowadzonym za pomocą analizy czynnikowej;
- zmiennych po preprocessingu przeprowadzonym za pomocą analizy głównych składowych.

W celu wykorzystania analizy dyskryminacyjnej jako metody klasyfikacji zweryfikowano testem Kołmogorowa–Smirnowa założenie o normalności rozkładu analizowanych zmiennych. Na podstawie wyników testu Kołmogorowa–Smirnowa nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, iż badane zestawy zmiennych reprezentują wielowymiarowy rozkład normalny.

## 6 OGÓLNE WNIOSKI

Ocenę jakości klasyfikacji przeprowadzono w oparciu o udział błędnie zakwalifikowanych przedsiębiorstw w próbie testowej (porównaj tabela 5). Analiza otrzymanych wyników pozwala na sformułowanie następujących wniosków.

- ◆ Na podstawie przeprowadzonej analizy empirycznej można sądzić, że sieci neuronowe,

takie jak: sieci o radialnych funkcjach bazowych i realizujące regresję uogólnioną, oraz logistyczna funkcja dyskryminacji są przy dychotomicznej klasyfikacji klientów kredytowych na klasy *wiarygodnych* i *niewiarygodnych* kredytobiorców sprawnym instrumentem.

- ◆ Podstawowym problemem przy budowie modeli wykorzystywanych do oceny wiarygodności kredytowej jest wyznaczenie zestawu zmiennych diagnostycznych. Nie ma takiego zestawu, który dawałby najlepsze wyniki klasyfikacji dla każdej z metod. Każdy z zestawów miał te same zmienne:  $x_{25}$  (wskaźnik ROA w okresie  $t$ ),  $x_{40}$  (wskaźnik ryzyka aktywów w okresie  $t$ ) i  $x_{42}$  (wskaźnik pokrycia majątku trwałego kapitałem stałym w okresie  $t$ ). Zatem zmienne wejściowe należy dobierać stosownie do metody. Wpro-

wadzenie jako jednej ze zmiennych wejściowych zmiennej jakościowej transponowanej do postaci ilościowej - rodzaju branży powodowało za każdym razem pogorszenie wyników klasyfikacji.

- ◆ Zmienne wejściowe w postaci wskaźników prowadzą do lepszych wyników klasyfikacji niż zmienne wejściowe w formie przyrostów wskaźników. Niezależnie od zestawu zmiennych wejściowych i modelu wykorzystywanego do klasyfikacji odsetek poprawnie rozpoznanych przedsiębiorstw dla zmiennych w postaci wskaźników jest większy niż dla zmiennych w postaci przyrostów wskaźników.
- ◆ Preprocessing danych wejściowych analizą głównych składowych i analizą czynnikową również niezależnie od użytego modelu nie prowadzi do poprawy wyników klasyfikacji.

Tabela 5. Porównanie błędów klasyfikacji przy użyciu wielowymiarowej analizy dyskryminacyjnej z różnymi zestawami zmiennych diagnostycznych (źródło: opracowanie własne).

| Funkcje dyskryminacyjne | Specyfikacja zmiennych | Zmienne diagnostyczne                          |                             |  |   |  |                                |                  |                     |                |          |   |        |
|-------------------------|------------------------|--|-----------------------------|--|---|--|--------------------------------|------------------|---------------------|----------------|----------|---|--------|
|                         |                        | Zmienne zdefiniowane przez J. Gajdkę i D. Stos | Metoda Nowaka               | Metoda Helwiga                             |   |  |                                |                  |                     | Preprocessing  |          | AG  |        |
|                         |                        |  |                             | wszystkie                                  | wszystkie podzielne                                       | centralne                                  | centralne podzielne            | izolowane        | izolowane podzielne | ACZ            | AGS      |   |        |
| Liniowa                 | wskaźniki              | $x_{25}, x_{48}$                               | $x_{25}, x_{40}$            | $x_{25}$                                   | $x_{25}, x_4$   | $x_{25}$                                   | $x_{25}$                       | $x_{26}, x_{14}$ | $x_{26}$            | C6, C7, C4     | PC4, PC1 | -   |        |
|                         | błędy                  | E  | 20%                         | 20%  | 20%   | 20%  | 20%                            | 15%              | 45%                 | 35%            | 25%      | 60%   | -      |
|                         |                        | E1   | 0%                          | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                             | 0%               | 10%                 | 10%            | 10%      | 20%   | -      |
|                         |                        | E2   | 40%                         | 40%  | 40%   | 40%  | 40%                            | 30%              | 80%                 | 60%            | 40%      | 100%  |        |
|                         | przyrosty              | -  | $\Delta x_1, \Delta x_{20}$ | $\Delta x_{16}, \Delta x_5, \Delta x_{18}$ | $\Delta x_8, \Delta x_5$                                  | $\Delta x_{16}, \Delta x_{21}, \Delta x_9$ | $\Delta x_{16}, \Delta x_{21}$ | $\Delta x_{18}$  | $\Delta x_{18}$     | C3, C8         | PC8, PC1 | -   |        |
|                         | błędy                  | E  |                             | 35%  | 35%   | 40%  | 40%                            | 40%              | 45%                 | 35%            | 55%      | 40%   | -      |
|                         |                        | E1   |                             | 10%  | 0%  | 10%  | 20%                            | 20%              | 10%                 | 10%            | 30%      | 0%  | -      |
| E2                      |                        |  | 60%                         | 70%  | 70%   | 60%  | 60%                            | 80%              | 60%                 | 80%            | 80%      |   |        |
| Logistyczna             | wskaźniki              | -  | $x_{25}, x_{42}$            | $x_{25}, x_{27}, x_{26}$                   | $x_{25}, x_{27}, x_{26}, x_{24}$                          | $x_{30}$                                   | $x_{25}, x_{24}, x_3$          | $x_{26}, x_2$    | $x_{26}$            | C6, C4, C5, C2 | PC1      | $x_{25}, x_1, x_{29}, x_{28}$                       |        |
|                         | błędy                  | E  |                             | 5%   | 30%   | 40%  | 20%                            | 10%              | 30%                 | 25%            | 15%      | 35%   | 5,56%  |
|                         |                        | E1   |                             | 0%   | 50%   | 40%  | 20%                            | 10%              | 10%                 | 10%            | 20%      | 20%   | 11,11% |
|                         |                        | E2   |                             | 10%  | 10%   | 40%  | 20%                            | 10%              | 50%                 | 40%            | 10%      | 50%   | 0%     |
|                         | przyrosty              | -  | $\Delta x_1$                | $\Delta x_{21}, \Delta x_1, \Delta x_5$    | $\Delta x_{24}, \Delta x_1, \Delta x_{16}, \Delta x_{18}$ | $\Delta x_1, \Delta x_{16}$                | $\Delta x_1, \Delta x_{16}$    | $\Delta x_{24}$  | $\Delta x_{24}$     | C1, C3, C8     | PC7, PC3 | $\Delta x_1, \Delta x_3, \Delta x_2, \Delta x_{25}$ |        |
|                         | błędy                  | E  |                             | 45%  | 45%   | 55%  | 40%                            | 40%              | 50%                 | 30%            | 45%      | 35%   | 50%    |
|                         |                        | E1   |                             | 20%  | 30%   | 30%  | 20%                            | 10%              | 20%                 | 0%             | 10%      | 40%   | 30%    |
| E2                      |                        |  | 70%                         | 60%  | 80%   | 60%  | 70%                            | 80%              | 60%                 | 80%            | 30%      | 70%   |        |

Uwaga: W tablicy w zestawach zmiennych dyskryminacyjnych podano zmienne, które mają istotny wpływ na zdolności dyskryminacyjne danego modelu (w kolejności). W wierszach z błędami podano najniższy błąd klasyfikacji, jaki można uzyskać przy podanym zestawie zmiennych dla próby testowej.

Tabela 6. Porównanie błędów klasyfikacji (w %) wyznaczonych dla różnych zestawów zmiennych diagnostycznych i wybranych metod klasyfikacji (źródło: opracowanie własne).

| Specyfikacja zmiennych                          | Błędy | Analiza dyskryminacyjna    |                           |               |                         | MLP           |                         | RBF           |                         | GRNN                |                         |
|---|-------|----------------------------|---------------------------|---------------|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
|   |       | Liniowa                    |                           | Logistyczna   |                         | Wskaźniki     | Przyrosty               | Wskaźniki     | Przyrosty               | Wskaźniki           | Przyrosty               |
|   |       | Wskaźniki                  | Przyrosty                 | Wskaźniki     | Przyrosty               |               |                         |               |                         |                     |                         |
| Metoda Nowaka                                   | E     | 20                         | 35                        | 5             | 45                      | 10            | 50                      | 0             | 55                      | 10                  | 50                      |
|   | E1    | 0                          | 10                        | 0             | 20                      | 0             | 0                       | 0             | 80                      | 0                   | 100                     |
|   | E2    | 40                         | 60                        | 10            | 70                      | 20            | 10                      | 0             | 30                      | 20                  | 0                       |
| Zestaw zmiennych                                |       | x25, x40, x42 lub x25, x40 | $\Delta x1, \Delta x20$   | x25, x40, x42 | $\Delta x1, \Delta x20$ | x25, x40, x42 | $\Delta x1, \Delta x20$ | x25, x40, x42 | $\Delta x1, \Delta x20$ | x25, x40            | $\Delta x1, \Delta x20$ |
| Metoda Hellwiga                                 | E     | 15                         | 35                        | 10            | 30                      | 10            | 35                      | 10            | 35                      | 5                   | 40                      |
|   | E1    | 0                          | 0                         | 10            | 0                       | 10            | 10                      | 10            | 50                      | 0                   | 10                      |
|   | E2    | 30                         | 70                        | 10            | 60                      | 10            | 60                      | 10            | 20                      | 10                  | 70                      |
| Zestaw zmiennych                                |       | centralne podzielne        | wszystkie                 | centralne     | izolowane podzielne     | centralne     | centralne podzielne     | wszystkie     | izolowane               | wszystkie podzielne | centralne               |
| AGS   | E     | 60                         | 40                        | 35            | 35                      | 35            | 40                      | 40            | 25                      | 45                  | 25                      |
|   | E1    | 20                         | 0                         | 20            | 40                      | 60            | 80                      | 70            | 20                      | 90                  | 40                      |
|   | E2    | 100                        | 80                        | 50            | 30                      | 10            | 0                       | 10            | 30                      | 0                   | 10                      |
| ACZ   | E     | 25                         | 55                        | 15            | 45                      | 30            | 45                      | 30            | 40                      | 40                  | 50                      |
|   | E1    | 10                         | 30                        | 20            | 10                      | 0             | 0                       | 30            | 40                      | 40                  | 100                     |
|   | E2    | 40                         | 80                        | 10            | 80                      | 60            | 90                      | 30            | 40                      | 40                  | 0                       |
| AG  | E     | -                          | -                         | 5,56          | 50                      | 20            | 40                      | 35            | 55                      | 40                  | 60                      |
|   | E1    | -                          | -                         | 11,11         | 30                      | 40            | 50                      | 10            | 60                      | 0                   | 60                      |
|   | E2    | -                          | -                         | 0             | 70                      | 0             | 30                      | 60            | 50                      | 80                  | 60                      |
| Zmienne zaproponowane przez J. Gajdkę i D. Stos | E     | 20                         | Model J. Gajdki i D. Stos | E             | 55                      | Miernik (1)   | E                       | 25            | Miernik (2)             | E                   | 15                      |
|   | E1    | 0                          |                           | E1            | 10                      |               | E1                      | 30            |                         | E1                  | 30                      |
|   | E2    | 40                         |                           | E2            | 100                     |               | E2                      | 20            |                         | E2                  | 0                       |

Uwaga: W tabeli przedstawiono najmniejsze błędy klasyfikacji dla próby testowej. W wierszu pod błędami podano zestaw zmiennych, dla których uzyskano taki wynik. Miernik (1) - wzorce i antywzorce zaczerpnięte z pracy W. Rogowski i M. Krysiak [1997]. Miernik (2) - wzorce i antywzorce wyznaczone przez autorkę na podstawie próby uczącej.

- ◆ W przypadku liniowej funkcji dyskryminacji najlepsze wyniki klasyfikacji otrzymano dla podzielnych zmiennych centralnych w postaci wskaźników wybranych metodą Hellwiga. Ogólny błąd klasyfikacji wynosił 15%, a błąd I rodzaju 0% i błąd II rodzaju 30%.
- ◆ Dla logistycznej funkcji dyskryminacji najlepsze wyniki klasyfikacji otrzymano dla zmiennych wybranych metodą Nowaka. Ogólny błąd klasyfikacji wynosił 5%, a błąd I rodzaju 0% i błąd II rodzaju 10%. Nieznacznie gorsze wyniki otrzymano dla zestawu zmiennych w postaci wskaźników wybranych przy użyciu algorytmu genetycznego, dla którego ogólny błąd decyzji wynosił 5,56% (błąd I rodzaju 11,11%, a II rodzaju 0%).
- ◆ Metody klasyfikacji bez wzorca, takie jak metoda k-średnich i metoda miernika taksonomicznego, dużo gorzej rozpoznają elementy obu klas niż metody klasyfikacji wzorcowej, których przykładem jest analiza dyskryminacyjna i sieci neuronowe.
- ◆ Sieć o radialnej funkcji bazowej ze zmiennymi wejściowymi w postaci wskaźników  $x_{25}$ ,  $x_{40}$  i  $x_{42}$  rozpoznała 100% przedsiębiorstw poprawnie.
- ◆ Sieć realizująca regresję uogólnioną ze zmiennymi wejściowymi w postaci wszystkich podzielnych zmiennych dobranych metodą Hellwiga zakwalifikowała poprawnie 95% przedsiębiorstw, podobnie jak logistyczna funkcja dyskryminacji ze zmiennymi wejściowymi w postaci wskaźników: ROA w okresie  $t(x_{25})$ , wskaźnik ryzyka aktywów w okresie  $t(x_{40})$  i wskaźnik pokrycia majątku trwałego kapitałem stałym w okresie  $t(x_{42})$ . Ciekawym jest spostrzeżenie, że obie metody klasyfikacji niepoprawnie rozpoznały dokładnie te same firmy.

- ◆ Przeprowadzone badania nie są reprezentatywne, z uwagi bowiem na problemy z pozyskaniem danych w badaniach zastosowano próbę wybraną metodą łatwości dostępu<sup>23</sup>. Wyniki przeprowadzonych badań zostały porównane z rzeczywistymi decyzjami kredytowymi, podjętymi przez ekspertów bankowych ocen zdolności kredytowej. Oznacza to, że w pracy przyjęto założenie, iż decyzje podjęte przez bank są decyzjami poprawnymi - wzorcowymi. Przyjęcie tego założenia spowodowane było brakiem informacji na temat spłat kredytów i nie zostało zweryfikowane empirycznie. Stąd błędy klasyfikacji wyznaczone zostały w stosunku do decyzji ekspertów kredytowych, a nie odzwierciedlają stanu faktycznego<sup>24</sup>.
  - ◆ Uzyskane wyniki badań okazały się zadowalające, można zatem twierdzić, iż przedstawione metody statystyczne i sztuczne sieci neuronowe mogą stanowić interesujące narzędzie w bankowości. Metody te odciążą inspektorów kredytowych, którzy będą mogli w krótkim czasie podejmować decyzje klasyfikacyjne (klienci nie będą na nie oczekiwać miesiącami) oraz bank będzie mógł, w zależności od potrzeb, aktualizować swoje decyzje. Jednak nie wszystkie prezentowane metody się sprawdziły. Porównanie efektywności zastosowanych metod klasyfikacji (na podstawie wyników analizy empirycznej) przemawia za wykorzystaniem do budowy systemu wspomagającego decyzje kredytowe dyskryminacji logistycznej oraz sieci o radialnych funkcjach bazowych i sieci realizujących regresję uogólnioną.
- 4) Borys G. [1996]: *Zarządzanie ryzykiem kredytowym w banku*, PWN Warszawa-Wrocław.
  - 5) Fitzpatrick P. [1932]: *A comparison of the ratios of successful industrial enterprises with these of failed companies*, The Accountants Publishing Company.
  - 6) Górecka A., Szmit M. [1998]: *Wpływ struktury sieci neuronowej na jakość prognoz otrzymywanej za jej pomocą na przykładzie predykcji kursów akcji notowanych na WGPW*, materiały konferencyjne z V Krajowej Konferencji Komputerowe Wspomaganie Badań Naukowych, Wrocław-Polanica Zdrój 15-17 października 1998 roku, s. 109-116.
  - 7) Griffin R. W. [1999]: *Podstawy zarządzania organizacjami*, PWN, Warszawa.
  - 8) Gruszka B., Zawadzka Z. [1992]: *Ryzyko w działalności bankowej. Zabezpieczenia systemowe*, Wydawnictwo SGH, Warszawa.
  - 9) Gwiazda T. D. [1998]: *Algorytmy genetyczne. Zastosowanie w finansach*, Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Zarządzania im. L. Koźmińskiego, Warszawa.
  - 10) Jajuga K. [1994]: *Możliwości zastosowania metod klasyfikacji w zagadnieniach finansowych*, Prace Naukowe „Zastosowania Metod Ilościowych” 689 Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu.
  - 11) Jajuga K. [1997]: *Nowoczesna teoria finansów-podstawy inżynierii finansowej i koncepcja Value at Risk*, referat na II Konwersatorium z Matematyki Finansowej, Wrocław 16-17 czerwiec.
  - 12) Jajuga K. [1998]: *Ryzyko kredytowe w finansach – pomiar i zarządzanie za pomocą instrumentów pochodnych*, w: *Modelowanie preferencji, a ryzyko '98*, praca zbiorowa pod red. T. Trzaskalika, Katowice, s. 155-162.
  - 13) Kaczmarek B., Sikorski C. [1996]: *Podstawy zarządzania*, Absolwent, Łódź.
  - 14) Penc J. [1994]: *Organizacja procesu decydowania*, Studia Prawno-Ekonomiczne, t. XLIX, Łódzkie Towarzystwo Naukowe.
  - 15) Refenes A. P. [1994]: *Neural Networks in the Capital Markets*, John Wiley&Sons Ltd., Chichester.
  - 16) Witkowska D. [1999]: *Sztuczne sieci neuronowe w analizach ekonomicznych*, KBN Łódź.

## BIBLIOGRAFIA (WYBRANE POZYCJE)

- 1) Azoff E. M. [1995]: *Neural Network Time Series Forecasting of Financial Markets*, John Wiley&Sons Ltd., Chichester.
- 2) Boguszewski P., Bolek A., Puchalska K., Kołodziejczyk D. [1997]: *Przychody, koszty i wynik finansowy w sektorze przedsiębiorstw w 1996 roku*, „Bank i Kredyt” nr 9, s. 24-51.
- 3) Bonarowski M. [1997]: *Sieci neuronowe w służbie inwestorów*, „Gazeta Bankowa” nr 16/441 z dnia 20.04.1997 r.

<sup>23</sup> Dane pochodziły z różnych filii tego samego banku (regionu Łodzi) i dotyczyły tego samego rodzaju kredytu.

<sup>24</sup> Znany jest fakt, iż część tych decyzji jest nietrafna. Banki posiadają pewien procent trudnych kredytów, o czym była mowa w rozdziale pierwszym. Potwierdza to również analiza przeprowadzona w pracy D. Witkowskiej [1999].

