

## Możliwości zastosowania złożonych struktur prognozujących w systemach eksperckich wczesnego ostrzegania o sytuacjach kryzysowych w przedsiębiorstwach

Leonard Rozenberg\*

**Streszczenie:** *Cel* – Celem badań prezentowanych w artykule jest zaprezentowanie nowej metody prognozowania (określenia) sytuacji kryzysowych w przedsiębiorstwie.

*Metodologia badania* – Wykorzystanie struktur dynamicznych, stosowanych dotychczas w sterowaniu oraz w zadaniach optymalizacji. Badania przeprowadzono na dużej bazie danych wskaźników finansowych przedsiębiorstw metodą symulacji komputerowej poprzez porównanie wyników uzyskanych proponowaną metodą z wynikami osiąganymi przez stosowane powszechnie metody i podejścia.

*Wynik* – Wyniki badań wskazują na możliwość zrealizowania dyskretnej struktury prognozującej stan i sytuację finansową w przedsiębiorstwie, której skuteczność będzie porównywalna lub lepsza w stosunku do istniejących i stosowanych obecnie rozwiązań w tej dziedzinie.

*Oryginalność/wartość* – Zaproponowano nową metodę prognozowania sytuacji kryzysowej, zaś wyniki badań są z całą pewnością oryginalne nie tylko w skali kraju, ale także w skali światowej. Wartość poznawcza samej metody, jak i uzyskanych wyników wydaje się być wysoka.

**Słowa kluczowe:** prognozowanie, bankructwo, struktury dynamiczne, analiza wskaźnikowa, system wspomagania decyzji

### Wprowadzenie

Działalność gospodarcza niesie sporo niebezpieczeństw, które znane są pod pojęciem ryzyk. Istnieje wiele czynników mających negatywny wpływ na przedsiębiorstwo. Jeśli opiszemy przedsiębiorstwo jako system dynamiczny (zmienny w czasie i w przestrzeni stanów), który opisany będzie równaniami stanu, to możliwa staje się identyfikacja takiego. Bieżąca identyfikacja wybranych zmiennych procesowych służyć może do budowy sprawnych procedur i systemów wczesnego ostrzegania przez ryzykiem, które mogą w negatywnej sytuacji doprowadzić strukturę gospodarczą do stanu bezpośredniego zagrożenia jej istnienia. Bazując na takim podejściu, możliwe jest zastosowanie metod pozwalających na szacowanie bieżącej i przyszłej kondycji przedsiębiorstwa, a przez to pośrednio jego zdolności do przetrwania na rynku w krótkim i średnim horyzoncie czasowym.

---

\* dr hab. inż. Leonard Rozenberg prof. ZUT, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Wydział Informatyki, ul. Żołnierska 49; 71-210 Szczecin, e-mail: lrozenberg@wi.zut.edu.pl.

Przyjmijmy, że dla podmiotów funkcjonujących w gospodarce rynkowej istotne staje się przewidywanie ich przyszłego stanu. Jednym z najczęściej wykorzystywanych obszarów prognoz jest predykcja zagrożenia bankructwem. Głównymi zainteresowanymi są tu instytucje finansowe (banki, towarzystwa ubezpieczeniowe itp.), ale często także menedżerowie.

Sformalizowane, wykorzystujące najczęściej skomplikowane algorytmy metody prognozowania stanów przedsiębiorstw, stanowią dzisiaj popularne narzędzie wspomagające zarządzanie przedsiębiorstwem. Można więc stwierdzić, że metodami oceny przyszłego stanu przedsiębiorstwa zainteresowanych jest wielu uczestników życia gospodarczego.

W niniejszym artykule pokazano metodę pozwalającą na ocenę stanu finansowego przedsiębiorstwa oraz umożliwiającą stworzenie względnie obiektywnego systemu wczesnego ostrzegania dla potrzeb zarządzania firmą. Poprzez odpowiednio ukierunkowane analizy i badania symulacyjne można udoskonalić zarządzanie strategiczne przedsiębiorstwem.

Do badań eksperymentalnych użyto bazy danych finansowych przedsiębiorstw, utworzonej na podstawie informacji zamieszczonych w sprawozdaniach finansowych publikowanych przez analizowane firmy w publikacjach sądowych. Ocena odbywa się poprzez analizę wskaźnikową różnych obszarów działania przedsiębiorstwa. Wskaźniki, w zależności od ich charakteru, zostały podzielone na cztery grupy: zadłużenia, sprawności, efektywności oraz płynności (Sierpińska, Jachna, 1999).

Niedogodnością stosowania analizy wskaźnikowej w szacowaniu kondycji przedsiębiorstwa jest występowanie przypadków słabo rozróżnialnych informacji, generowanych przez wskaźniki pochodzące z różnych grup. Praktyka gospodarcza tworzy więc agregaty, które są najczęściej modelami szacującymi jednocześnie na podstawie wielu wskaźników.

Historycznie pierwszym, w pełni opisanym i przebadanym modelem ilościowym, szacującym prawdopodobieństwo upadku przedsiębiorstwa, był model opracowany przez E.I. Altmana (1968) – zwany wskaźnikiem Z lub wskaźnikiem Altmana. Tworzenie modelu prognostycznego w oparciu o dane historyczne firm działających (w momencie badania) i upadłych oraz wykorzystanie przynależności do odpowiedniej z tych grup, jako wyjścia modelu, jest dzisiaj powszechnie stosowane w większości prac badawczych (Gruszczyński, 2002; Shirata, 1998). Większość z nich wykorzystuje zresztą różne warianty analizy zastosowanej przez Altmana.

Drugą grupą metod stosowanych do prognozowania zagrożenia upadłością stanowią sieci neuronowe, a należy wymienić tu choćby Wilsona i Sharda (1994).

Analiza dotychczas prowadzonych badań wskazuje na to, że wyraźnie dominuje statyczne podejście do oceny kondycji przedsiębiorstwa. Ocena statyczna dokonywana jest na podstawie wartości wskaźników w określonym momencie. Na obecną i przyszłą kondycję przedsiębiorstwa mają także wpływ stany osiągnięte przez nie w przeszłości (swego rodzaju pamięć obiektu dynamicznego, jakim jest przedsiębiorstwo). Jeśli więc pominiemy ten aspekt, to uznamy, że natura problemu nie jest dynamiczna, co jest oczywiście błędnym

założeniem, a budowa modelu systemu dynamicznego do prognozowania i oceny wydaje się być jak najbardziej wskazana.

Podejście statyczne prowadzi do istotnych błędów w ocenie kondycji przedsiębiorstwa, zwłaszcza gdy wybór momentu oceny nie odzwierciedla sytuacji z pewnego okresu mającego istotny wpływ na przedsiębiorstwo. Takiej wady pozbawione jest podejście dynamiczne, uwzględniające zależność wyjścia obiektu, jakim jest stan (obecny i/lub przyszły) przedsiębiorstwa, od szeregu czasowego wartości wejściowych systemu (dla przykładu: struktura kosztów, majątku, rentowności itp.). Podejście dynamiczne nie było do tej pory szeroko stosowane. Można więc ostrożnie założyć, że prezentowany artykuł pokazuje pierwszą (lub jedną z pierwszych) próbę stworzenia metody dynamicznej prognozy stanu przedsiębiorstwa pod kątem prognozowania jego kryzysu. Trzeba też podkreślić, że w badaniach prowadzonych i publikowanych dotychczas nie były stosowane metody adaptacyjne ani też modele systemów dynamicznych.

## 1. Estymacja i predykcja zmiennych stanu oraz parametrów

Jako forma przedstawienia kondycji przedsiębiorstwa użyty został model systemu dynamicznego, który ogólnie w przestrzeni zmiennych stanu można przedstawić tak, jak to czynią Wan i van der Merwe (2001), czyli:

$$x_{k+1} = F(x_k, u_k, v_k) \quad (1)$$

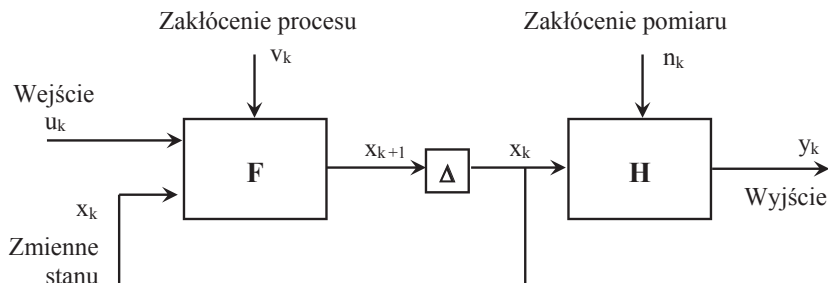
$$y_k = H(x_k, n_k) \quad (2)$$

Wyróżnić w nim można:

- $x_k$  – wektor zmiennych stanu,
- $u_k$  – wektor zmiennych wejściowych (zmiennie sterujące),
- $y_k$  – wektor zmiennych wyjściowych (zmiennie obserwowane).
- $v_k$  – wektor zakłócenia procesu,
- $n_k$  – wektor zakłócenia pomiaru.

Równanie (1) nazywane jest często równaniem procesu, natomiast równanie (2) określane jest mianem równania obserwacji. Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy systemu dynamicznego opisanego za pomocą równań (1 i 2).

Praktyczne wykorzystanie modeli systemów dynamicznych napotyka na problemy z dokładnością danych. Zastosowanie modeli wymaga wysokiej dokładności pomiarów, mimo istniejącej zazwyczaj ich niepewności. Wymóg ten oznacza konieczność prowadzenia filtracji danych, która ma za zadanie „oczyszczenie” z zakłóceń dyskretnego szeregu czasowego, przez co możliwa staje się rekonstrukcja sygnału zmierzzonego w obecności szumu.



**Rysunek 1.** Ogólna postać dyskretnego systemu dynamicznego

Źródło: Wan, van der Merwe (2001).

Najczęściej stosowanym w rekurencyjnym odtwarzaniu stanu algorytmem filtracji jest filtr Kalmana, który zapewnia optymalne rozwiązanie w zakresie estymacji opartej o minimalizację błędu średniokwadratowego, zaprezentowaną choćby przez Haykina (1996). Istotę działania filtru Kalmana można opisać jako: „adaptacyjny algorytm nastawiania wzmocnienia, przy czym predykcja stanu w każdej chwili jest średnią ważoną między wartością ekstrapolowaną z przeszłej chwili a wartością obserwowaną”.

Jako narzędzie estymacji parametrów wybrany został nieliniowy wariant filtru Kalmana – filtr UKF (*Unscented Kalman Filter*), który opisano choćby w pracy Juliera i Uhlmanna (1996). Jego istotą jest zastosowanie zbioru odpowiednio dobranych punktów, które odzwierciedlają rzeczywistą średnią oraz kowariancję zmiennych stanu. Następnie – po ich transformacji przez rzeczywisty system nieliniowy – można uzyskać średnie i kowariancję *posteriori* z dokładnością do 2. rzędu (opisują to Wan i van der Werde – 2001). Podejście to nosi nazwę *Unscented Transformation* (dalej: UT) i jest szeroko analizowane, np. przez Wana i van der Werde (2003) czy Juliera z Uhlmannem (1996).

W badaniach przeprowadzonych przez różnych autorów, filtr UKF wykazuje większą dokładność oraz szybszą zbieżność niż stosowany obecnie filtr EKF (Julier, Uhlmann 1996; Wan, van der Werde, 2001) czy przez Sitza, Schwarza, Kurthsa i Vossa (2002). Z tego powodu został on wybrany jako narzędzie estymacji parametrów dyskretnego systemu dynamicznego prognozującego sytuację kryzysową w przedsiębiorstwie.

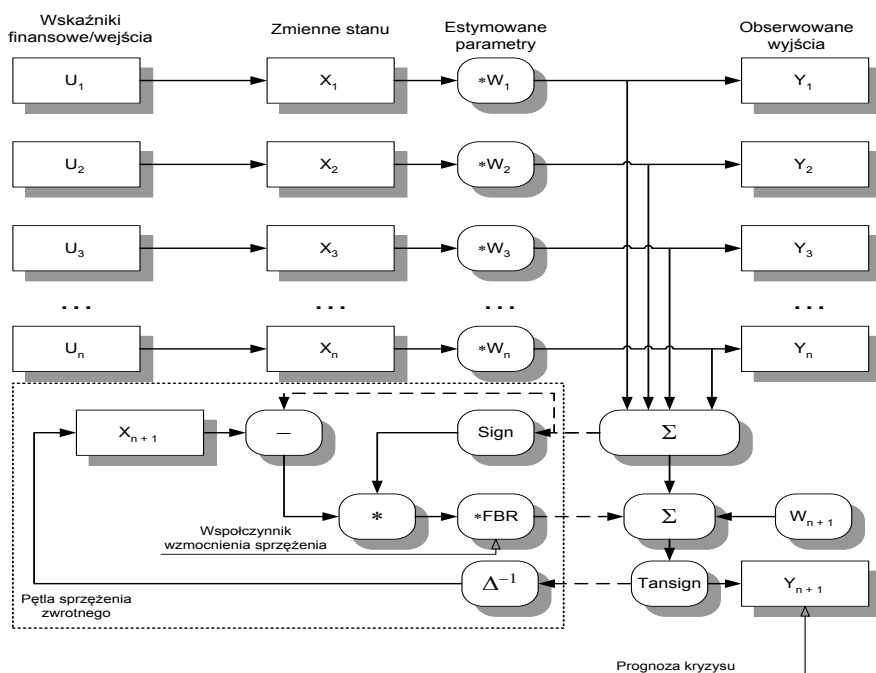
## 2. Koncepcja systemu wczesnego ostrzegania (SWO)

Analiza metod stosowanych dotychczas w problemie oceny kondycji przedsiębiorstwa wskazuje na trzy najczęściej stosowane podejścia: analiza dyskryminacyjna, sieci neuronowe oraz metody opierające się na przykładach (zwane także metodami opartymi na pamięci czy doświadczeniu). Dokładniejsze informacje dotyczące tych metod można znaleźć w książce Michiego, Spiegelhaltera i Taylora (1994), która dotyczy analizy dyskryminacyjnej oraz

metody NN i NM, zaś w pracy Hertza, Krogha i Palmera (1995) znaleźć można wiele informacji o wykorzystaniu sieci neuronowych.

Wszystkie analizowane metody, bazując na tych samych wartościach wejściowych, dokonywały klasyfikacji przedsiębiorstwa do jednej z dwóch grup: przedsiębiorstw zagrożonych upadłością oraz niezagrażonych. Do utworzenia zbioru 30 potencjalnych zmiennych (wejść modeli) wykorzystano klasyczną analizę finansową. Wśród wielu istniejących wskaźników wybrano wskaźniki najczęściej wymieniane w literaturze. Do określenia podzbioru zmiennych, charakteryzującego się największymi wartościami współczynnika istotności statystycznej, wykorzystano analizę wariancji ANOVA (*Analysis of Variance*), opierającą się na teście F (zwanym też testem Fishera czy Fishera-Snedecokora).

Przeprowadzone badania wykazały różną istotność wskaźników finansowych jako potencjalnych zmiennych różnicujących. Konstrukcja wielu wskaźników zbliżona jest do siebie, więc wykazują one silne wzajemne powiązania korelacyjne. Rozwiązaniem problemu redukcji współczynników, prowadzącym do minimalizacji współzależności, wydaje się być algorytm polegający na ważeniu istotności podzbioru wskaźników współczynnikiem korelacji między zmiennymi a zmienną z poprzedniego kroku do wybranego podzbioru. Wchodzi tu w grę korelacja Pearsona. Można rozważyć też wykorzystanie korelacji Spearmana,



**Rysunek 2.** Schemat struktury obiektu dynamicznego prognozującego zagrożenie kryzysem

Źródło: opracowanie własne.

która w ujęciu klasycznym jest korelacją rang według korelacji Pearsona, tyle tylko, że liczonym dla rang zmiennych zamiast ich surowych wartości. Z zastosowania podejścia Spearmana zrezygnowano z tego powodu, że jest to istotne w przypadku, gdy poszczególne współczynniki różnią się znacznie co do zakresu i znaczenia. W naszym przypadku tak nie jest, więc naturalnym wyborem jest podejście Pearsona.

W wyniku przeprowadzonych analiz różnych klas modeli wybrana została struktura dynamiczna, której schemat przedstawiono na rysunku 2.

Równanie procesu obiektu dynamicznego przedstawionego graficznie na rysunku 2 można zapisać w następującej postaci<sup>1</sup>:

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} X_{k+1}^1 \\ X_{k+1}^2 \\ \dots \\ X_{k+1}^n \\ X_{k+1}^{kon} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \underbrace{\text{tansign}(X^{kon} + \text{FBR} * X^{kon-dyn} + W_{n+1})}_{I} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X_k^1 \\ X_k^2 \\ \dots \\ X_k^n \\ X_k^1 \end{bmatrix} \\
 + \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}}_I * \begin{bmatrix} U_k^1 \\ U_k^1 \\ \dots \\ U_k^1 \end{bmatrix} &+ \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{III} * \begin{bmatrix} V_k^1 \\ V_k^2 \\ \dots \\ V_k^n \\ V_k^{kon} \end{bmatrix} \quad (3)
 \end{aligned}$$

Wprowadzone symbole oznaczają (4 i 5):

$$X^{kon} = \sum_{i=1}^n W_i * X_i \quad (4)$$

oraz:

$$X^{kon-dyn} = \text{FBR} * (X_k^{kon} - X^{kon}) * \text{sign}(X^{kon}) \quad (5)$$

Realizacja równania procesu składa się z trzech części (oznaczono je numerami I, II i III). Cześć I opowiada za prognozę zagrożenia kryzysem, która wykonywana jest na podstawie sumy ważonej zmiennych stanu  $X^1 \div X^n$ , będących wskaźnikami analizy finansowej. Wagi użyte w tym procesie są estymowanymi parametrami modelu (parametry identyfikowanego systemu). Do sumy uzyskanej z ważenia dodawany jest następnie czynnik określający dynamikę zmian (równanie 5). Jest on wyrażony różnicą stanów przedsiębiorstwa w bieżącym i poprzednim okresie. Różnica ta stanowi czynnik wyznaczający zmiany

<sup>1</sup> Użyta forma zapisu nie jest całkowicie poprawna matematycznie (dolny wiersz w macierzy procesu), jednak poprawnie odzwierciedla symbolicznie ideę systemu, bez nadmiernego komplikowania jego matematycznego zapisu.

kondycji przedsiębiorstwa w czasie. Jeżeli następuje spadek kondycji firmy, jest to sygnał negatywny, i odwrotnie, wzrost kondycji traktowany jest jako sygnał pozytywny.

Wyjaśnienia wymaga też znaczenie parametru FBR. Jest to współczynnik wzmocnienia sprzężenia zwrotnego znany z podejścia Kalmana (na przykład w: van der Merwe, Wan, 2003). W trakcie estymowania parametrów modelu pętla sprzężenia zwrotnego jest przerywana, co prowadzi do sytuacji, że układ taki można porównać do klasyfikatora działającego w oparciu o minimalny błąd kwadratowy MSE (*Minimum Square Error*). W trakcie symulacji pętla sprzężenia zwrotnego zostaje zamknięta, tzn.  $FBR \neq 0$ , przy czym współczynnik sprzężenia zmieniany jest z krokiem 0,01 w zakresie od 0 do 1, dla sprawdzenia wpływu kondycji firmy w okresie wcześniejszym na jej ocenę w roku bazowym. Część II równania procesu odpowiada za dodawanie wartości wskaźników finansowych, wprowadzanych na wejście obiektu, do odpowiadających im zmiennych stanu. Przy braku sprzężenia zwrotnego dla zmiennych stanu  $X_1$ – $X_n$ , tj. pamięci obiektu dla tych zmiennych, dodawanie posiada charakter przypisania wartości wejść do odpowiednich zmiennych stanu.

Część III opisuje zakłócenie wpływające na wektor zmiennych stanu  $X$ , opisujących przedsiębiorstwo. Jego istnienie wynika z szeregu nieścisłości i błędów formalnych w publikowanych przez firmy sprawozdaniach (co oznacza zaszumienie danych). Równanie obserwacji już znacznie prostsze i nie ma sensu jego pokazywanie. Wynika z niego, że wyjście z obiektu jest bezpośrednią obserwacją wszystkich zmiennych stanu.

### 3. Wyniki eksperymentów

Jako materiał dla przeprowadzenia eksperymentów posłużyła baza składająca się z 240 próbek (po 2 próbki dla każdego przedsiębiorstwa), która składała się ze 112 próbek dla przedsiębiorstw upadłych oraz 128 próbek dla przedsiębiorstw funkcjonujących (w chwili rozpoczęcia badań). Dane pochodziły z okresu wyprzedzającego upadłość od 4 do 2 lat, a takie przesunięcie w czasie spowodowane jest specyfiką publikacji sprawozdań finansowych w *Monitorze Polskim B* oraz faktem długiego czasu trwania procesów upadłościowych, szczególnie w warunkach polskich<sup>2</sup>.

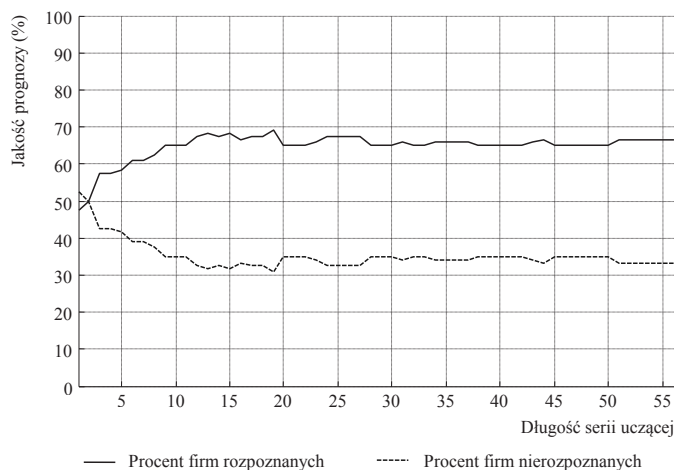
Jednym z podstawowych kryteriów decydujących o jakości danych jest ich spójność, którą należy rozumieć jako niezmiennosc pewnych właściwości i struktury danych bez względu na wybrany ich fragment. Eksperymenty mające potwierdzić spójność bazy danych zostały przeprowadzone w oparciu o najprostszą z metod klasyfikacji, czyli metodę najbliższej średniej, co zostało podyktowane koniecznością zastosowania metody, która zależałaby od jak najmniejszej liczby czynników poza serią uczącą danych. Do utworzenia wzorców średnich posłużyły próbki uczące składające się z wielokrotności losowo wybranych par próbek należących do obydwu grup. Liczba par zmieniała się od 1 do 56. Pozostałe

---

<sup>2</sup> Wyniki prezentowanych obliczeń oparto na metodyce wskazanej w pracy Pietruszkiewicz (2004), wykonanej pod opieką autora.

dane zostały wykorzystane jako dane testowe. Wyniki eksperymentu pokazano na rysunku 3.

Jak z niego wynika, po przekroczeniu pewnego progu długości serii uczącej (ok. 20 par), klasyfikator NM osiąga poziom jakości, na którego dalszy wzrost nie ma już wpływu zwiększanie liczebności danych trenujących (oczywiście przy drobnych oscylacjach). Pozwala to na stwierdzenie, że baza danych jest spójna, a zatem wybór danych do eksperymentów nie powinien mieć znaczącego wpływu na wyniki. Ponadto rozmiar danych jest wystarczający, gdyż przyrost danych w eksperymencie nie prowadzi do zmian skuteczności prognozy.



**Rysunek 3.** Badanie spójności bazy danych w oparciu o metodę Nearest Mean (NM)

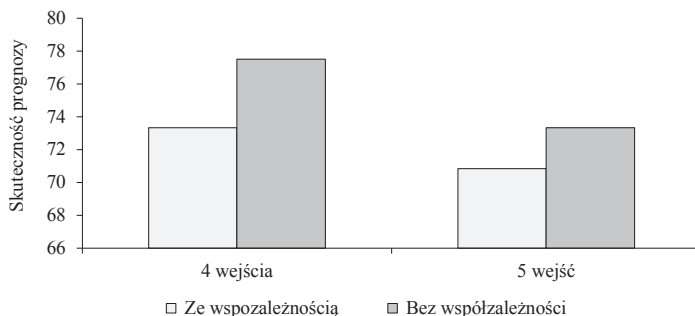
Źródło: opracowanie własne.

Metoda doboru zmiennych bazująca na ograniczaniu ich współzależności wybrana została jako podstawa wyboru zmiennych we wszystkich eksperymentach. Wyniki porównania skuteczności prognozy pokazano na rysunku 4, na którym widoczna jest wyższość modelu o zmiennych pozbawionych korelacji.

Jako metodę podziału danych na dane uczące i dane testowe, wybrano metodę *cross-validation* (Michie, Spiegelhalter, Taylor, 1994) (krosswalidacja, czy inaczej walidacja krzyżowa, przy podziale na trzy podzbiory), która pozwala na efektywne wykorzystanie całego zbioru danych zarówno jako uczącego, jak i testowego, przy czym w kolejnych krokach funkcje podzielonych podzbiorów zmieniają się.

Eksperymenty prowadzone były dla zmiennej liczby wskaźników mogących być indykatorami kryzysu w przedsiębiorstwie. Liczba wejść klasyfikatorów zmieniała się odpowiednio do liczby wskaźników – od 1 do 5 wejść klasyfikatorów. W każdym przypadku przebadane zostały wszystkie metody klasyfikacji.





**Rysunek 4.** Porównanie skuteczności prognozy DDS przy 4 i 5 wejściach dla wskaźników ze współzależnością (bez analizy korelacji) i bez współzależności (proponowana metoda selekcji zmiennych z analizą korelacji)

Źródło: opracowanie własne.

Badania prowadzono w ten sposób, że objęły pięć podstawowych eksperymentów prowadzonych dla różnej liczby wskaźników finansowych (od 1 do 5). Każdy z podstawowych eksperymentów składał się z pięciu oddzielnych eksperymentów elementarnych, dla każdego z klasyfikatorów. W celu usprawnienia prezentacji wyników zastosowano symbole metod klasyfikacji, których znaczenie wyjaśniono w tabeli 1.

**Tabela 1**

Zastosowane symbole metod klasyfikacji

Symbol	Metoda
NN	<i>Nearest Neighbour</i> – metoda najbliższego sąsiada
NM	<i>Nearest Mean</i> – metoda najbliższej średniej
DA	<i>Discriminant Analysis</i> – analiza dyskryminacyjna
DSS	<i>Discrete Static System</i> – Dyskretny System Statyczny
DDS	<i>Discrete Dynamic System</i> – Dyskretny System Dynamiczny

Źródło: opracowanie własne.

Eksperymenty w każdym z wariantów przestrzeni zostały zrealizowane zgodnie z powtarzalnym planem. Z powodu oszczędności miejsca przedstawiono tu jedynie wyniki końcowe zebrane podczas eksperymentów przy wymiarze przestrzeni wynoszącym 3. Zestawienie wyników skuteczności prognozy dla modeli przy wymiarowości przestrzeni zmieniającej się od 1 do 5 znajduje się w tabelach 2 do 6.

**Tabela 2**

Zestawienie wyników prognozy dla klasyfikatorów o 1 wejściu (%)

Metoda	Wyniki prognozy		
	trafna	błędy i typu	błędy ii typu
NN	66,667	19,583	13,750
NM	69,583	16,667	13,750
DA	69,583	12,083	18,333
DSS	69,167	17,083	13,750
DDS	73,333	15,000	11,667

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela 3**

Zestawienie wyników prognozy dla klasyfikatorów o 2 wejściach (%)

Metoda	Wyniki prognozy		
	trafna	błędy i typu	błędy ii typu
NN	67,500	15,417	17,083
NM	65,417	3,333	31,250
DA	72,500	5,833	21,667
DSS	76,667	10,417	12,917
DDS	79,833	9,750	10,417

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela 4**

Zestawienie wyników prognozy dla klasyfikatorów o 3 wejściach (%)

Metoda	Wyniki prognozy		
	trafna	błędy i typu	błędy ii typu
NN	71,667	11,667	16,667
NM	67,917	3,333	28,750
DA	73,333	6,250	20,417
DSS	75,000	11,667	13,333
DDS	80,833	10,000	9,167

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela 5**

Zestawienie wyników prognozy dla klasyfikatorów o 4 wejściach (%)

Metoda	Wyniki prognozy		
	trafna	błędy i typu	błędy ii typu
NN	61,250	20,833	17,917
NM	68,750	6,250	25,000
DA	70,000	9,167	20,833
DSS	72,917	13,333	13,750
DDS	76,667	10,000	13,333

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela 6**

Zestawienie wyników prognozy dla klasyfikatorów o 5 wejściach (%)

Metoda	Wyniki prognozy		
	trafna	błędy i typu	błędy ii typu
NN	59,583	21,667	18,750
NM	68,333	6,250	25,417
DA	71,250	7,500	21,250
DSS	71,250	15,000	13,750
DDS	74,167	12,500	13,333

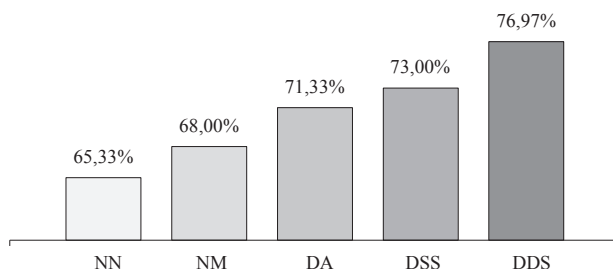
Źródło: opracowanie własne.

Jak wynika z danych w załączonych tabelach, we wszystkich przypadkach najwyższą skutecznością wykazuje opisywana tu metoda DDS. Zwiększanie wymiarowości przestrzeni powyżej 5 zmiennych nie było prowadzone, gdyż prowadziło to jedynie do dalszych spadków jakości prognozy dla wszystkich metod. Najwyższą skutecznością prognozy ze wszystkich metod wykazała metoda DDS w wariantcie 3-wejściowym, bowiem wyniosła ona aż 80,833%.

## Uwagi końcowe

Ekspertyzmy przeprowadzone i krótko zaprezentowane w niniejszym materiale wskazują, że możliwe jest zbudowanie dyskretnej struktury prognozującej sytuację finansową w przedsiębiorstwie, której skuteczność będzie porównywalna lub lepsza w stosunku do istniejących i stosowanych obecnie rozwiązań w tej dziedzinie. Wyniki uzyskane przy użyciu znanych metod klasyfikacji przeciwstawione zostały wynikom dwóch rozważanych

metod, czyli Dyskretnemu Systemowi Statycznemu oraz Dyskretnemu Systemowi Dynamicznemu<sup>3</sup> (rys. 5). Rezultaty eksperymentów stanowią dowód na wyższą skuteczność metody dynamicznej w stosunku do metod stosowanych powszechnie. Można stwierdzić, że uwzględnienie przy ocenie kondycji firmy jej stanu z przeszłości (włącznie z historyczną zmiennością tego stanu) pozwala na dokładniejszą prognozę upadłości. Świadczy to z pewnością o dynamicznym charakterze procesu, jakim jest zmienność kondycji przedsiębiorstwa.



**Rysunek 5.** Średnia skuteczność dla wszystkich metod klasyfikacji

Źródło: opracowanie własne.

Wybór systemu dynamicznego jako narzędzia prognozującego wymaga jego integracji z innymi składnikami w ramach np. hybrydowego systemu ekspertowego. Praktyka wskazuje na znaczne różnice między zasadami oceny kondycji przedsiębiorstw z różnych branż (usługowych, produkcyjnych czy handlowych).

Połączenie kilku modeli DDS w ramach jednego modułu prognozującego bankructwo dla firm z różnych branż stanowiłoby kompromis między dwoma wzajemnie wykluczającymi się żądaniami: konieczną uniwersalnością modelu, a jego dokładnością.

Aby zapewnić systemowi odpowiednie możliwości adaptacyjne, w jego strukturze przewidziano estymator (filtr UKF), którego zadaniem jest ciągle „douczenie” modeli na podstawie nowo uzyskiwanych danych. Wynikiem działania filtru jest zbiór nowych parametrów modelu, dopasowanych do danych nowo pozyskanych danych.

Poza badaniami dotyczącymi DDS jako metody prognozowania upadłości, mającej zastosowanie w systemie ekspertowym, w opracowaniu zaproponowano metodę selekcji zmiennych, oparta na istotności statystycznej zmiennych z uwzględnieniem ich współzależności.

<sup>3</sup> Dyskretny System Statyczny nie stanowi metody samej w sobie. O wyróżnieniu DSS, jako osobnego przedmiotu badań, zdecydowała chęć pokazania wpływu zastosowania pętli sprzężenia zwrotnego, a to możliwe jest do zaobserwowania jedynie poprzez porównanie wyników DSS z DDS.

Z punktu widzenia zarządzania przedsiębiorstwem interesujące wydają się być także wnioski płynące z analizy rankingu zmiennych. Najistotniejszą statystycznie zmienną okazała się być rentowność aktywów ogółem. Na drugim miejscu znalazł się wskaźnik płynności gotówkowej, wyprzedzając efektywność sprzedaży. Należy zatem uznać, że z punktu widzenia oceny kondycji przedsiębiorstwa najistotniejszymi pytaniami, na jakie należy odpowiedzieć, są:

1. Jakie zyski generuje zainwestowany kapitał?
2. Czy przedsiębiorstwo jest w stanie regulować swoje zobowiązania bez konieczności upłynniania części aktywów obrotowych?
3. Jak wiele zysku przynoszą sprzedane produkty?

Stosunkowo niska skuteczność prognozy opartej na metodach „klasycznych” w porównaniu do wyników badań prowadzonych choćby w Stanach Zjednoczonych czy Europie Zachodniej jest wynikiem działania co najmniej kilku czynników, w tym z pewnością nieefektywnego funkcjonowania organów zajmujących się nadzorem nad gospodarką w naszym kraju, a także brakiem jednoznacznych procedur, przez co wyniki procedur upadłościowych – pomimo istotnego podobieństwa – różnią się od siebie znacznie w praktyce.

## Literatura

- Altman, E.I. (1968). Financial Ratio, Discriminant Analysis and Prediction of Corporate Bankruptcy. *Journal of Finance*.
- Gruszczyński, M. (2002). Kondycja finansowa przedsiębiorstw. Prognozy ekonometryczne. W: *Zarządzanie finansami: klasyczne zasady – nowoczesne narzędzia*, red D. Zarzecki. Szczecin: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego.
- Haykin, S. (1996). *Adaptive Filter Theory*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Hertz, J., Krogh, A., Palmer, R.G. (1995). *Wstęp do teorii obliczeń neuronowych*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- Julier, S.J., Uhlmann, J.K. (1996). *A General Method for Approximating Nonlinear Transformations of Probability Distributions*. Oxford: Robotics Research Group, University of Oxford, Technical Report.
- Michie, D., Spiegelhalter, D.J., Taylor, C.C. (1994). *Machine Learning, Neural and Statistical Classification*. Nowy Jork: Ellis Horwood.
- Pietruszkiewicz, W. (2004). *Możliwości zastosowania dyskretnych struktur prognozujących w systemach eksperckich wczesnego ostrzeżenia o sytuacjach kryzysowych w przedsiębiorstwie*. Praca doktorska, promotor dr. hab. inż. Leonard Rozenberg, Politechnika Szczecińska.
- Shirata, C.Y. (1998). Financial Ratios as Predictors of Bankruptcy in Japan. An Empirical Research. *Journal of Risk and Management*, 23.
- Sierpińska, M., Jachna, T. (1999). *Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Sitz, A., Schwarz, U., Kurths, J., Voss, H.U. (2002). Estimation of Parameters and Unobserved Components for Nonlinear Systems from Noisy Time Series. *Physical Review*, E 66.
- Wan, E.A., van der Merwe, R. (2003). *Sigma-Point Kalman Filters for Probabilistic Inference in Dynamic State-Space Models*. Montreal: Proceedings of the Workshop on Advances in Machine Learning.
- Wan, E.A., van der Merwe, R. (2001). *The Unscented Kalman Filter*. W: *Kalman Filtering and Neural Networks*, red. S. Haykin. New York: John Wiley & Sons.
- Wilson, R.L., Sharda, R. (1994). Bankruptcy Prediction Using Neural Networks. *Decision Support Systems*, 11.

### THE POSSIBILITIES OF USING COMPLEX FORECASTING STRUCTURES IN EXPERT SYSTEMS FOR EARLY WARNING OF CRISIS SITUATIONS IN AN ENTERPRISE

**Abstract:** *Aim* – The principle of the research presented in this article is to present a new method of forecasting (determining) of crisis situations in an enterprise.

*Design/methodology* – This methodology is based on the use of dynamic structures, previously used in the control and optimization tasks. The research was carried out on a large database of financial indicators of enterprises by computer simulation method by comparing the results obtained with the proposed method with the results achieved by commonly used methods and approaches.

*Result* – The results of the research indicate the possibility of implementing a discrete structure that forecasts the state and financial situation in the enterprise, the effectiveness of which will be comparable or better than existing and currently applied solutions in this field.

*Originality/value* – A new method for forecasting a crisis situation has been proposed, and results of the research are certainly original not only on the national scale, but probably also on a global scale. The cognitive value of the method itself as well as the results obtained seems to be high.

**Keywords:** prognosis, bankruptcy, dynamic structures, ratio analysis, decision support system

### Cytowanie

Rozenberg, L. (2018). Możliwości zastosowania złożonych struktur prognozujących w systemach eksperckich wczesnego ostrzegania o sytuacjach kryzysowych w przedsiębiorstwach. *Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia*, 2 (92), 161–174. DOI: 10.18276/frfu.2018.92-14.