

Barbara Pawelek, Józef Pocięcha, Mateusz Baryła

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie
e-mails: barbara.pawelek@uek.krakow.pl; jozef.pocięcha@uek.krakow.pl;
mateusz.baryla@uek.krakow.pl

OCENA PRZYDATNOŚCI WSKAŹNIKÓW FINANSOWYCH DO PROGNOZOWANIA BANKRUCTWA PRZEDSIĘBIORSTW W ZALEŻNOŚCI OD ROZMIARU OBIEKTÓW¹

ASSESSMENT OF SUITABILITY OF FINANCIAL INDICATORS FOR ENTERPRISES' BANKRUPTCY PREDICTION DEPENDING ON THE SIZE OF AN ENTERPRISE

DOI: 10.15611/pn.2018.507.19
JEL Classification: C380, C520, G330

Streszczenie: Celem pracy jest przedstawienie wyników badań empirycznych nad przydatnością wybranych wskaźników finansowych do prognozowania bankructwa przedsiębiorstw, w zależności od rozmiaru analizowanych obiektów. Wartością dodaną pracy jest propozycja zastosowania *Sensitivity Analysis* w połączeniu z *ABC Analysis* do oceny przydatności wskaźników finansowych do prognozowania bankructwa przedsiębiorstw. W analizie wykorzystano dane finansowe przedsiębiorstw z sektora przetwórstwa przemysłowego w Polsce z lat 2005-2008. Badaniem objęto takie metody, jak: drzewo klasyfikacyjne, bagging, boosting, lasy losowe. Modele były budowane na podstawie danych finansowych dotyczących zarówno wszystkich obiektów w rozważanym zbiorze, jak i obiektów zaklasyfikowanych do trzech podzbiorów uzyskanych dzięki *ABC Analysis*. Ocenę przydatności wybranych wskaźników finansowych do prognozowania bankructwa przedsiębiorstw przeprowadzono z wykorzystaniem algorytmu *Data-based Sensitivity Analysis*.

Słowa kluczowe: ABC Analysis, bankructwo przedsiębiorstw, model prognostyczny, rozmiar przedsiębiorstwa, Sensitivity Analysis.

Summary: The aim of the paper is to present the results of empirical research on the suitability of selected financial indicators for corporate bankruptcy prediction, depending on the size of considered objects. The added value of the work is the proposal for the application of *Sensitivity Analysis* in conjunction with the *ABC Analysis* to assess the suitability of financial

¹ Publikacja została dofinansowana ze środków przyznanych Wydziałowi Zarządzania Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, w ramach dotacji na utrzymanie potencjału badawczego.

indicators for corporate bankruptcy prediction. The analysis uses financial data of companies in the industrial processing sector of Poland in the years 2005-2008. The study included such methods as: classification trees, bagging, boosting, random forests. The models were built on the basis of financial data for all considered objects, and objects to be found in three subsets obtained from the *ABC Analysis*. The assessment of the suitability of selected financial indicators for corporate bankruptcy prediction was carried out using *Data-based Sensitivity Analysis* algorithm.

Keywords: ABC Analysis, corporate bankruptcy, prediction model, the size of the enterprise, Sensitivity Analysis.

1. Wstęp

W teorii i praktyce przewidywania zagrożenia przedsiębiorstw upadłością sformułowano wiele typów modeli predykcji bankructwa. Głównym kryterium oceny przydatności modeli do prognozowania bankructwa przedsiębiorstw jest ich zdolność prognostyczna. Jednak odbiorcy prognoz oczekują także informacji o zmiennych mających znaczący wpływ na wyniki prognozowania. Do prognozowania bankructwa przedsiębiorstw wykorzystuje się coraz częściej narzędzia Data Mining. Wśród nich można wyróżnić metody typu „czarna skrzynka” i „biała skrzynka”. Złożoność obliczeniowa metod typu „czarna skrzynka” utrudnia wskazanie czynników wspomagających przewidywanie bankructwa.

Na podstawie literatury przedmiotu nie można jednoznacznie stwierdzić, jaki rodzaj modeli prognostycznych daje najlepsze rezultaty. Jednym ze źródeł błędnej klasyfikacji obiektów może być niejednorodność zbioru badawczego [Pawełek, Pocięcha, Baryła 2016]. Część badaczy zwraca uwagę na konieczność zapewnienia homogeniczności zbioru obiektów także ze względu na rozmiar przedsiębiorstwa, mierzony poziomem aktywów ogółem, wielkością zadłużenia, zatrudnieniem itp.

Celem pracy jest przedstawienie niektórych wyników badań empirycznych nad przydatnością wybranych wskaźników finansowych do prognozowania bankructwa przedsiębiorstw, w zależności od rozmiaru analizowanych obiektów. Wartością dodaną pracy jest propozycja zastosowania *Sensitivity Analysis* w połączeniu z *ABC Analysis* do oceny przydatności wskaźników finansowych do prognozowania bankructwa przedsiębiorstw.

Obliczenia wykonano w programie R, korzystając przede wszystkim z pakietów ‘rminer’ [Cortez 2015], ‘ABCAnalysis’ [Thrun, Lötsch, Ultsch 2015], ‘HH’ [Heiberger 2016].

2. Dane i procedura badawcza

W badaniu empirycznym wykorzystano dane finansowe 5920 przedsiębiorstw, działających w sektorze przetwórstwa przemysłowego w Polsce. Wśród rozważanych obiektów były 123 przedsiębiorstwa, w przypadku których sąd ogłosił upadłość

w latach 2007-2010 (bankruci). W bazie danych było 5797 przedsiębiorstw „zdrowych”, tj. kontynuujących działalność gospodarczą w latach 2007-2010 (niebankruci). Dobierając przedsiębiorstwa „zdrowe” do zbioru danych, kierowano się m.in. głównym obszarem działalności. Wskaźniki finansowe dotyczyły lat 2005-2008. Dane pobrano ze strony Emerging Markets Information Service (<https://www.emis.com/pl>). Zagrożenie przedsiębiorstw upadłością prognozowano z dwuletnim wyprzedzeniem.

W oparciu o wejściowy zbiór danych utworzono niezbilansowany zbiór badawczy, zawierający 123 bankrutów i 246 niebankrutów. Doboru przedsiębiorstw „zdrowych” do zbioru badawczego dokonano w sposób losowy. Następnie zbiór badawczy został podzielony losowo (po 30 razy) na część uczącą ($\frac{2}{3}$ ogółu) i część testową ($\frac{1}{3}$ ogółu).

Z każdej części uczącej wyodrębniono trzy podzbiory A, B i C, zgodnie z procedurą *ABC Analysis* [Ultsch 2014; Ultsch, Lötsch 2015]. W badaniu za kryterium podziału przyjęto aktywa ogółem. W metodzie *ABC Analysis* zbiór danych jest dzielony na trzy rozłączne części A, B, C:

- podzbiór A – przedsiębiorstwa, których udział w aktywach ogółem jest większy od ich udziału w liczbie obiektów;
- podzbiór B – przedsiębiorstwa, których udział w aktywach ogółem jest zbliżony do ich udziału w liczbie obiektów;
- podzbiór C – przedsiębiorstwa, których udział w aktywach ogółem jest mniejszy od ich udziału w liczbie obiektów.

Punkty podziału uzyskanego dla części uczącej wykorzystano do wyróżnienia podzbiorów typu A, B i C w części testowej.

W badaniu uwzględniono zmienną zero-jedynkową, która przyjmowała kategorię „1” w przypadku przedsiębiorstw, które ogłosiły upadłość w latach 2007-2010, i kategorię „0” dla przedsiębiorstw „zdrowych”. Rozważano zmienną finansową: aktywa ogółem. Analizowano także 32 wskaźniki finansowe podzielone na grupy: wskaźniki płynności (R_{01} - R_{04}), wskaźniki zadłużenia (R_{05} - R_{14}), wskaźniki rentowności (R_{15} - R_{21}), wskaźniki sprawności działania (R_{22} - R_{32}).

Badaniem objęto cztery metody klasyfikacji danych, tj. drzewo klasyfikacyjne, bagging, boosting i lasy losowe. Metody bagging, boosting i lasy losowe należą do podejścia wielomodelowego w analizie danych. Modele bazowe są budowane na podstawie losowo dobranych obserwacji ze zbioru uczącego (architektura równoległa – bagging, architektura szeregową – boosting), losowo dobranych obserwacji i zmiennych (lasy losowe). Agregację modeli bazowych (drzew klasyfikacyjnych), tj. łączenie wyników prognozowania na podstawie modeli bazowych, przeprowadza się zgodnie z metodą głosowania większościowego [Gatnar 2008].

W obliczeniach wykorzystano wybrane funkcje pakietu ‘rminer’ ze środowiska R. W funkcjach, realizujących rozważane metody, pozostawiono ustawienia domyślne przyjęte w tym pakiecie.

Na podstawie wyników, otrzymanych dla każdej z rozważanych metod, przeprowadzono klasyfikację przedsiębiorstw do dwóch grup: jednostek zagrożonych upadłością za dwa lata (grupa „B”) i jednostek niezagrażonych upadłością za dwa lata (grupa „NB”). Oceny zdolności prognostycznej analizowanych metod dokonano na podstawie wartości mierników skuteczności klasyfikacyjnej przedsiębiorstw należących do zbioru testowego, takich jak: skuteczność ogółem, wrażliwość, specyficzność. Wybrane wyniki analizy zdolności prognostycznej rozważanych metod zaprezentowano w pracy [Pawełek 2017].

Ocenę przydatności wskaźników finansowych do prognozowania bankructwa przedsiębiorstw przeprowadzono z wykorzystaniem algorytmu *Data-based Sensitivity Analysis* [Cortez, Embrechts 2013].

Sensitivity Analysis (SA) umożliwia badanie zmian prawdopodobieństwa przynależności obiektów do grupy „B” i grupy „NB”, zachodzących w wyniku zwiększania wartości wskaźników finansowych od wartości najmniejszych do wartości największych występujących w zbiorze uczącym.

Data-based SA (DSA) jest algorytmem, który pozwala ocenić przydatność pojedynczego wskaźnika finansowego do prognozowania bankructwa przedsiębiorstw. W wyniku zastosowania tej procedury otrzymuje się uśrednioną ocenę wpływu zmian wartości danego wskaźnika finansowego na wyniki prognozowania, przy założeniu stałości wartości pozostałych wskaźników na określonym poziomie.

W prezentowanym badaniu, do pomiaru przydatności wskaźników wykorzystano miernik względnej przydatności (r_j):

$$r_j = \frac{S_j}{\sum_{j=1}^K S_j},$$

bazujący na średniej odchyłach absolutnych od mediany (S_j):

$$S_j = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L |\hat{y}_{ij} - \tilde{y}_j|,$$

gdzie: \hat{y}_{ij} – wartość teoretyczna dla i -tego ($i = 1, \dots, L$) punktu podziału zakresu zmienności j -tego ($j = 1, \dots, K$) wskaźnika finansowego, \tilde{y}_j – mediana dla j -tego wskaźnika finansowego.

Weryfikację hipotezy głoszącej, że wartości miernika przydatności danego wskaźnika finansowego, obliczone dla modeli zbudowanych na podstawie prób uczących, utworzonych z podzbiorów A, B i C, pochodzą ze zbiorowości mających takie same wartości przeciętne, przeprowadzono z wykorzystaniem jednoczynnikowej analizy wariancji. W celu sprawdzenia, czy założenia ANOVA, dotyczące normalności rozkładu zmiennej w grupach i równości wariancji zmiennej w grupach, są spełnione, zastosowano test Shapiro-Wilka [Shapiro, Wilk 1965] oraz test Browna-

-Forsythe'a [Brown, Forsythe 1974]. W przypadku braku spełnienia wspomnianych założeń zastosowano test Kruskala-Wallisa [Kruskal, Wallis 1952], a następnie test post-hoc Dunna [Dunn 1964] w wersji uwzględniającej poprawkę Bonferroniego na wielokrotne testowanie.

3. Wyniki

W wyniku przeprowadzonych obliczeń z wykorzystaniem rozważanych metod, dla każdej metody i każdego z 32 wskaźników finansowych oraz każdego z badanych podzbiorów, otrzymano po 30 wartości miernika przydatności danego wskaźnika. Średnie wartości tego miernika informują o znaczeniu rozważanego wskaźnika dla prognozowania bankructwa przedsiębiorstw na podstawie obserwacji z danego podzbioru.

W pierwszym etapie badania sprawdzono, czy wartości miernika przydatności dla danego wskaźnika, obliczone na podstawie danych finansowych z badanych podzbiorów, pochodzą ze zbiorowości mających takie same wartości przeciętne. Odrzucenie hipotezy zerowej (na przyjętym poziomie istotności), głoszącej równość wartości przeciętnych, interpretowano jako potwierdzenie tezy głoszącej zróżnicowanie znaczenia wskaźników finansowych dla prognozowania bankructwa przedsiębiorstw w zależności od rozmiaru obiektów.

Sprawdzono zatem, czy założenia jednoczynnikowej parametrycznej analizy wariancji są spełnione. Dla każdego z 32 wskaźników finansowych zastosowano test Shapiro-Wilka. Celem było sprawdzenie, czy założenie dotyczące normalności rozkładu zmiennej w grupach jest spełnione. Na poziomie istotności 0,05 hipotezę zerową odrzucono w większości przypadków. Spełnienie założenia o równości wariancji zmiennej w grupach zweryfikowano z wykorzystaniem testu Browna-Forsythe'a. Na poziomie istotności 0,05 hipotezę zerową odrzucono także w większości przypadków.

Z powodu braku spełnienia założeń parametrycznej analizy wariancji zdecydowano się zastosować nieparametryczną analizę wariancji. Zastosowano test Kruskala-Wallisa. Dla większości analizowanych przypadków, na poziomie istotności 0,05 odrzucono hipotezę zerową na rzecz hipotezy alternatywnej, głoszącej, że dla co najmniej dwóch z rozważanych trzech podzbiorów wartości miernika przydatności pochodzą ze zbiorowości mających różne wartości przeciętne.

Następnie zastosowano test post-hoc Dunna z poprawką Bonferroniego na wielokrotne testowanie. Wyniki uzyskane dla poziomu istotności 0,05 zaprezentowano w tabeli 1.

W przypadku drzewa klasyfikacyjnego dla większości analizowanych wskaźników finansowych (na poziomie istotności 0,05) nie było podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej, głoszącej, że zbiory wyników pochodzą ze zbiorowości mających takie same wartości przeciętne. Natomiast dla metod bagging, boosting i lasów losowych dla większości analizowanych wskaźników finansowych (na poziomie istot-

Tabela 1. Wyniki testu post-hoc Dunna z poprawką Bonferroniego ($\alpha = 0,05$)

Metoda	A – B	A – C	B – C
Drzewo klasyfikacyjne	NS	NS	NS
Bagging	NS	S	S
Boosting	NS	S	S
Lasy losowe	S	S	S

Odrzucenie hipotezy zerowej (S) lub brak podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej (NS) na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Źródło: obliczenia własne.

ności 0,05) odrzucono hipotezę zerową na rzecz hipotezy alternatywnej, głoszącej, że zbiory wyników nie pochodzą ze zbiorowości mających takie same wartości przeciętne w przypadku następujących par badanych podzbiorów: A i C oraz B i C. Można zatem sformułować wniosek, że podzbiory A i B charakteryzowały się na ogół podobieństwem pod względem rozważanego zagadnienia. Natomiast podzbiór C był odmienny od wymienionych wcześniej podzbiorów.

W ostatnim etapie badania sprawdzono, które z analizowanych wskaźników finansowych miały znaczący wpływ na wyniki prognozowania bankructwa przedsiębiorstw. Dla każdego z 32 wskaźników i każdego badanego podzbioru obliczono średnie wartości miernika przydatności. Następnie spośród wyników uzyskanych dla wskaźników należących do grupy wskaźników płynności, zadłużenia, rentowności lub sprawności działania wybrano wartość największą. Wyniki uzyskane dla poszczególnych metod zamieszczono w tabelach 2–5. Wartości największe dla danego podzbioru zaznaczono pogrubioną czcionką.

Tabela 2. Wyniki dla drzewa klasyfikacyjnego

Grupa wskaźników	A	B	C	ABC
Płynności	0,0097	0,2344	0,0390	0,0442
Zadłużenia	0,0667	0,2629	0,0831	0,1528
Rentowności	0,3128	0,0677	0,1528	0,1056
Sprawności działania	0,0651	0,0010	0,1561	0,0789

Źródło: obliczenia własne.

Tabela 3. Wyniki dla metody bagging

Grupa wskaźników	A	B	C	ABC
Płynności	0,0165	0,1033	0,0574	0,0325
Zadłużenia	0,0905	0,1642	0,1051	0,1527
Rentowności	0,1704	0,0695	0,1256	0,1191
Sprawności działania	0,1059	0,0232	0,0770	0,0513

Źródło: obliczenia własne.

Tabela 4. Wyniki dla metody boosting

Grupa wskaźników	A	B	C	ABC
Płynności	0,0290	0,0369	0,0345	0,0255
Zadłużenia	0,0808	0,0939	0,0838	0,1005
Rentowności	0,0986	0,0559	0,1023	0,1061
Sprawności działania	0,0678	0,0603	0,0632	0,0519

Źródło: obliczenia własne.

Tabela 5. Wyniki dla metody lasów losowych

Grupa wskaźników	A	B	C	ABC
Płynności	0,0227	0,0712	0,0396	0,0277
Zadłużenia	0,0499	0,0896	0,0753	0,0943
Rentowności	0,0992	0,0490	0,0868	0,0973
Sprawności działania	0,0758	0,0304	0,0522	0,0421

Źródło: obliczenia własne.

Na podstawie wyników zamieszczonych w tabelach 2–5 można stwierdzić, że w przypadku przedsiębiorstw z podgrupy A, czyli przedsiębiorstw charakteryzujących się udziałem w aktywach ogółem większym od ich udziału w liczbie obiektów, główną rolę w prognozowaniu bankructwa przedsiębiorstw pełniły wskaźniki rentowności. W podgrupie B, czyli w zbiorze przedsiębiorstw o udziale w aktywach ogółem zbliżonym od ich udziału w liczbie obiektów, największe znaczenie miały wskaźniki zadłużenia. W przypadku podgrupy C, czyli przedsiębiorstw cechujących się udziałem w aktywach ogółem mniejszym od ich udziału w liczbie obiektów, znaczący wpływ na wyniki prognozowania miały głównie wskaźniki rentowności. W modelach budowanych na podstawie wszystkich danych (zbiór ABC) ważną rolę odgrywały przede wszystkim wskaźniki zadłużenia i rentowności.

4. Zakończenie

Wyniki przeprowadzonej analizy wskazują na występowanie zróżnicowania znaczenia wskaźników finansowych dla prognozowania bankructwa przedsiębiorstw z wykorzystaniem drzewa klasyfikacyjnego, metody bagging, boosting i lasów losowych w zależności od rozmiaru badanych obiektów.

Dla większości analizowanych wskaźników finansowych hipoteza zerowa została odrzucona (na poziomie istotności 0,05) na rzecz hipotezy alternatywnej, głoszącej, że zbiory wyników nie pochodzą z populacji mających takie same wartości oczekiwane w przypadku następujących par analizowanych podzbiorów: A i C oraz B i C, tj. zbiorów otrzymanych z wykorzystaniem *ABC Analysis*. Można zatem wnio-

skować, że podzbiory A i B były generalnie podobne pod względem analizowanego problemu, natomiast podzbiór C różnił się od wymienionych wcześniej podzbiorów.

Wyniki badań wskazują na występujące w analizowanych podzbiórach zróżnicowanie przydatności wskaźników finansowych do prognozowania bankructwa przedsiębiorstw z wykorzystaniem wybranych metod:

- W podzbiórach A i C główną rolę w prognozowaniu bankructwa przedsiębiorstw z sektora przetwórstwa przemysłowego w Polsce odgrywały wskaźniki rentowności.
- W podzbiórze B generalnie bardziej przydatne do prognozowania były wskaźniki zadłużenia.
- Wyniki prognozowania z wykorzystaniem modelu opartego na zbiorze ABC zależały przede wszystkim od wskaźników zadłużenia i rentowności.

Powyższe wnioski zostały sformułowane w oparciu o wyniki analiz przeprowadzonych na podstawie danych rzeczywistych. Każde badanie empiryczne charakteryzuje się określonymi ograniczeniami. W prezentowanym badaniu skupiono uwagę na przedsiębiorstwach działających w sektorze przetwórstwa przemysłowego w Polsce. Dane finansowe dotyczyły lat 2005-2008, a prognozowanie odbywało się z dwuletnim wyprzedzeniem. Zbiór badawczy był niezbilansowany. Część ucząca obejmowała $\frac{2}{3}$ przedsiębiorstw ze zbioru badawczego, natomiast część testowa zawierała pozostałe obiekty, tj. $\frac{1}{3}$ ogółu przedsiębiorstw.

W opinii autorów badania nad wpływem rozmiaru przedsiębiorstwa na wyniki prognozowania bankructwa powinny być kontynuowane.

W dalszych badaniach autorzy zamierzają zastosować inne algorytmy *Sensitivity Analysis* (SA), takie jak *Monte-Carlo SA* i *Cluster-based SA*. Celem będzie weryfikacja wyników przeprowadzonych badań empirycznych nad przydatnością wskaźników finansowych do prognozowania bankructwa przedsiębiorstw, otrzymanych z wykorzystaniem algorytmu *Data-based SA*.

Literatura

- Brown M.B., Forsythe A.B., 1974, *Robust tests for the equality of variances*, Journal of the American Statistical Association, vol. 69, no. 346, s. 364–367.
- Cortez P., 2015, *rminer: Data Mining Classification and Regression Methods. R package version 1.4.1*, <http://CRAN.R-project.org/package=rminer>.
- Cortez P., Embrechts M.J., 2013, *Using sensitivity analysis and visualization techniques to open Black Box Data Mining Models*, Information Sciences, vol. 225, s. 1–17. doi: 10.1016/j.ins.2012.10.039.
- Dunn O.J., 1964, *Multiple comparisons using rank sums*, Technometrics, vol. 6, no. 3, s. 241–252.
- Gatnar E., 2008, *Podejście wielomodelowe w zagadnieniach dyskryminacji i regresji*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Heiberger R.M., 2016, *HH: Statistical Analysis and Data Display: Heiberger and Holland. R package version 3.1-31*, <http://CRAN.R-project.org/package=HH>.
- Kruskal W.H., Wallis W.A., 1952, *Use of ranks in one-criterion variance analysis*, Journal of the American Statistical Association, vol. 47, no. 260, s. 583–621.

- Pawełek B., 2017, *Prediction of company bankruptcy in the context of changes in the economic situation*, [w:] *The 10th Professor Aleksander Zeliaś International Conference on Modelling and Forecasting of Socio-Economic Phenomena. Conference Proceedings*, eds. M. Papież, S. Śmiech, Foundation of the Cracow University of Economics, Cracow, s. 290–299.
- Pawełek B., Pocięcha J., Baryła M., 2016, *Dynamic aspects of bankruptcy prediction logit model for manufacturing firms in Poland*, [w:] *Analysis of Large and Complex Data. Studies in Classification*, eds. A.F.X. Wilhelm, H.A. Kestler, Data Analysis, and Knowledge Organization, Springer, Switzerland, s. 369–382.
- Shapiro S.S., Wilk M.B., 1965, *An analysis of variance test for normality (complete samples)*, *Biometrika*, vol. 52, no. 3/4, s. 591–611.
- Thrun M., Lötsch J., Ultsch A., 2015, *ABCAnalysis: Computed ABC Analysis. R package version 1.1.0*, <http://CRAN.R-project.org/package=ABCAnalysis>.
- Ultsch A., Available from: Alfred Ultsch, Oct 21, 2014, *Proof of Pareto's 80/20 law and Precise Limits for ABC-Analysis*, <https://www.researchgate.net/publication/228908722> (17.10. 2016).
- Ultsch A., Lötsch J., 2015, *Computed ABC Analysis for rational selection of most informative variables in multivariate data*, *PLoS one*, vol. 10, no. 6, s. e0129767. doi: 10.1371/ journal.pone.0129767.