

Tomasz NOWAKOWSKI\*, Agnieszka TUBIS\*\*

## ZASTOSOWANIE KONCEPCJI ANALIZY WRAŻLIWOŚCI W ZARZĄDZANIU PROCESAMI LOGISTYCZNYMI

### Streszczenie:

Analiza wrażliwości jest narzędziem szeroko wykorzystywanym w różnych dziedzinach nauki związanych nie tylko z przedsiębiorstwem. Jest to koncepcja, która z powodzeniem może być wykorzystywana również w procesach logistycznych. Autorzy na podstawie przeprowadzonych badań literatury przedstawili różne definiowanie i zastosowanie analizy wrażliwości w trzech wybranych przez siebie obszarach - rachunkowości zarządczej, teorii decyzji oraz naukach technicznych. Następnie w oparciu o przeprowadzoną analizę pojęciową autorzy podjęli próbę scharakteryzowania zakresu tej analizy i jej zastosowania w zarządzaniu procesami logistycznymi.

**Słowa kluczowe:** analiza wrażliwości, analiza niepewności, procesy logistyczne, pozyskiwanie informacji, procesy decyzyjne

### 1. WPROWADZENIE

Analiza wrażliwości jest koncepcją, którą badacze różnych środowisk zajmują się już od wielu lat. Jest ona również przedmiotem szczególnego zainteresowania praktyków, którzy wykorzystują jej narzędzia do pozyskania istotnych informacji niezbędnych im w procesach decyzyjnych, bardzo często o znaczeniu strategicznym. Szerokie badania dużych firm amerykańskich z listy Fortune 500 i najlepszych małych firm z listy Forbes 200, dotyczące metod podejmowania decyzji inwestycyjnych i oceny ryzyka zostały przeprowadzone w 1992. Dowiodły one, iż 72,4% przedsiębiorstw z listy Fortune 500 i 42,3% firm z listy Forbes 200 wykorzystuje w tych procesach właśnie koncepcję analizy wrażliwości[1]. Podobne badania przeprowadzone w Wielkiej Brytanii w 1997 wśród dużych, średnich i małych przedsiębiorstw z listy Times 1000 dowiodły, iż większość biorących udział w wywiadzie ankietowym przedsiębiorstw wykorzystuje właśnie analizę wrażliwości, jak metodę oceny przedsięwzięć inwestycyjnych i ryzyka [2]. Wyniki tych badań przedstawiono w tabeli nr 1.

**Tabela 1.** Wyniki badań dotyczące zastosowania analizy wrażliwości przeprowadzone wśród przedsiębiorstw z listy Times 1000

Rodzaj przedsiębiorstwa	Małe	Średnie	Duże
Analiza wrażliwości	82%	83%	89%

Źródło: Arnold G.C., Hatzopoulos, *The Theory-Practice Gap In Capital Budgeting: Evidence from the United Kingdom*, Journal of Business Finance and Accounting, 27 (5) & (6), June / July 2000

Przedstawione powyżej wyniki badań wykorzystania przez przedsiębiorstwa analizy wrażliwości w procesach decyzyjnych odnoszą się jednak wyłącznie do koncepcji analizy jako metody oceny przedsięwzięć inwestycyjnych i ryzyka, a więc sięgają do badań z obszaru rachunkowości zarządczej. Tymczasem pogłębione studia literatury z tego tematu dowodzą, iż analiza wrażliwości jest koncepcją rozwijaną również w innych dziedzinach naukowych.

\* Politechnika Wroclawska

\*\* Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie różnych poglądów na teorię analizy wrażliwości oraz głównych, zdaniem autorów, obszarów jej zastosowania. Jednocześnie autorzy podejmą próbę zdefiniowania podstawowych założeń dla koncepcji wykorzystania analizy wrażliwości w systemach logistycznych.

## 2. POJĘCIE ANALIZY WRAŻLIWOŚCI W RACHUNKOWOŚCI ZARZĄDCZEJ.

Jak zauważono to we wstępie, w rachunkowości zarządczej analiza wrażliwości utożsamiana jest zazwyczaj z oceną projektów inwestycyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem związanego z nim poziomu ryzyka. W podejściu tym przedmiotem badań jest wówczas wskaźnik NPV, który stanowi różnicę między zdyskontowanymi przepływami pieniężnymi a nakładami początkowymi (zakładanymi lub poniesionymi). Podejście takie odzwierciedlone jest w wielu definicjach. I tak przykładowo C. Drury definiuje analizę wrażliwości *"jako metodę umożliwiającą menedżerom szacowanie, jak reaguje wskaźnik NPV na modyfikację zmiennych, które zostały użyte do jego obliczenia"*[3]. Jednocześnie wyróżnia on te zmienne, które w pierwszej kolejności obciążone są niepewnością, a mianowicie [3]:

- oszacowane ceny sprzedaży;
- oszacowane wolumeny sprzedaży;
- oszacowane koszty operacyjne;
- oszacowane początkowe nakłady inwestycyjne;
- oszacowany czas funkcjonowania projektu;
- oszacowany koszt kapitału.

W swoim podejściu Drury zakłada również, iż modyfikacje każdej uwzględnionej zmiennej będą rozpatrywane w izolacji, czyli przy stałości pozostałych parametrów.

Takie podejście zakłada, iż celem przeprowadzanej analizy wrażliwości jest określenie, który z kluczowych czynników oddziałuje najbardziej na projekt inwestycyjny i w ten sposób pokazanie występujących efektów niepewności[6]. Na podstawie takich analiz menedżerowie mogą dokonywać oceny ryzyka i podejmować decyzję, czy projekt powinien być realizowany.

Podobnie ideę zastosowania analizy wrażliwości definiuje T. Kiziukiwicz. Stwierdza ona, iż wyniki przeprowadzonej analizy *"pozwalają określić kierunek i stopień reakcji NPV na zmiany danego czynnika, a także umożliwiają ustalenie granicy, której przekroczenie powoduje nieopłacalność przedsięwzięcia"*[7]. W definicji tej uwzględniony został również drugi element będący przedmiotem prowadzonych analiz wrażliwości w ramach rachunkowości zarządczej, a mianowicie zysk operacyjny.

Ten drugi aspekt analiz również został zobrazowany w wybranych definicjach. Przykładem tego może być podejście prezentowane przez W. Gabrusewicz, który stwierdza, iż analiza wrażliwości *"polega na badaniu reakcji progów rentowności, czyli zmiany jego wysokości, na zmianę cen i kosztów"*[4]. Gabrusewicz zakłada podobnie jak Drury, iż przy niezmiennych pozostałych czynnikach poszukiwana jest maksymalna zmiana danego czynnika, dla którego przedsiębiorstwo pozostaje nadal w strefie zysku. Analiza wrażliwości w takim ujęciu dotyczy następującego zakresu działań[4]:

- określenia granicznego poziomu poszczególnych składników analizy, gwarantujących osiągnięcie progów rentowności na poziomie zerowym;
- określenia strefy (marginesu) bezpieczeństwa;
- ustalenia wrażliwości progów rentowności na zmianę danego czynnika.

W ramach prowadzonych badań dla tak pojmowanej analizy wrażliwości S. Sojak wyznaczył graniczny poziom zmiennych dla których zysk jest zerowy oraz określił margines bezpieczeństwa. Badając natomiast wrażliwość zysku operacyjnego na zmiany poszczególnych czynników, zaproponował koncepcję dźwigni i mnożników zysku, które wskazują, o ile procent zmieni się zysk operacyjny, jeżeli dany czynnik zmieni się o 1%, przy założeniu stałości pozostałych czynników wpływających na zysk[8].

Analiza wrażliwości nie zawsze jednak skupia się na modyfikacji wyłącznie jednego wybranego elementu. W. Janik mimo, iż definiuje analizę wrażliwości w analogiczny sposób jak Gabrusewicz, to jednak w swoich rozważaniach zakłada, iż analiza ta dotyczy zmiany cen albo kosztów przy niezmiennym poziomie pozostałych czynników, ale także równoczesną zmianę cen i wybranych pozycji kosztowych[5].

### 3. ANALIZA WRAŻLIWOŚCI W TEORIACH DECYZYJNYCH.

Analiza wrażliwości wykorzystywana w teoriach decyzyjnych jest definiowana przez badaczy w sposób bardziej ogólny. Zazwyczaj jest ona charakteryzowana jako koncepcja polegająca na *"poddawaniu danych operacyjnych testom w celu sprawdzenia, jakie mogłyby być rezultaty zmian kluczowych zmiennych, oddziałujących na daną decyzję"* [9].

Niektórzy badacze, w tym C.T. Horngren, A. Bhimani, G. Foster i S.M. Datar, utożsamiają analizę wrażliwości z analizą "what-if" (co-jeżeli) dla zmiany przyjmowanych założeń lub różnych od przewidywanych danych początkowych [10]. Inni zaś wprowadzają wyraźne rozróżnienie między analizą wrażliwości a analizą "what-if", kierując się kryterium celu. Stwierdzają oni, iż jeżeli badany jest efekt zmiany parametru na decyzję, to mamy do czynienia z analizą wrażliwości. Jeżeli jednak badany jest efekt zmiany parametru na wynik, to mamy do czynienia z analizą what-if. Takie rozróżnienie jest jednak często krytykowane i podważane, jako nieuzasadnione i niejednoznaczne[1].

Według A. Rappaport'a analiza "what-if" powinna być wprowadzeniem do analizy wrażliwości. Definiuje on przy tym analizę wrażliwości, w ujęciu bardziej matematycznym, jako badanie określające, *"jak możliwe zmiany i błędy w wartości parametrów wpływają na wyjście modelu"*[11]. W takim podejściu koncepcja ta postrzegana będzie jako badanie mające na celu określenie reakcji na wyniki analiz, aby możliwe zmiany i błędy w wartości poszczególnych parametrów wykorzystać w tych analizach. Rappaport podkreśla również, iż technika ta jest dedykowana nie tylko do doskonalenia decyzji operacyjnych, ale oferuje również wsparcie dla decyzji informacyjnych[11].

### 4. ANALIZA WRAŻLIWOŚCI W NAUKACH TECHNICZNYCH

Analiza wrażliwości (*sensitivity study, sensitivity analysis*) w zagadnieniach modelowania obiektów lub systemów technicznych jest często prowadzona jednocześnie z analizą niepewności (*uncertainty evaluation, uncertainty analysis*) i koncentruje się na analizie wpływu niepewności hipotez przyjętych do modelowania na efekty działania systemu [15].

Niepewność jest terminem używanym w wielu dziedzinach [16] takich jak: filozofia, statystyka, ekonomia, finanse, ubezpieczenia, psychologia, inżynieria, i nauka.

Niepewność stosuje się do przewidywania przyszłych zdarzeń, do oceny zrealizowanych pomiarów fizycznych lub do szacowania niewiedzy. Niepewność jest często kojarzona z problemem podejmowania decyzji. Oznacza wówczas sytuację, w której wybranie danego wariantu rozwiązania pociąga za sobą możliwości wystąpienia różnych konsekwencji. Miary określające możliwość wystąpienia tych konsekwencji nie są jednak znane. Formalnie, decyzjami podejmowanymi w warunkach niepewności nazywa się taką klasę problemów decyzyjnych, w której dla przynajmniej jednej decyzji nie są znane możliwości pojawienia się danych konsekwencji.

Obszary aktywności ludzkiej, w których ważny jest problem niepewności dotyczą m.in.[17]:

- inwestowania na rynkach finansowych, np. na giełdzie papierów wartościowych,
- stosowania oznaczeń inżynierskie dotyczące miejsc znaczących w zapisie wartości lub możliwości popełnienia błędu podczas realizacji pomiarów,
- projektowania / udziału w grach, szczególnie w tych w których prowadzony jest hazard, gdzie przypadkowość jest podstawą rozgrywki,
- fizyki - w różnych sytuacjach niepewność została wprowadzona jako prawo np. zasada nieoznaczoności Heisenberga,
- prognozowania pogody - powszechne jest uwzględnianie stopnia niepewności w przewidywaniu pogody,
- podejmowania decyzji w działalności gospodarczej np. kursy wymiany walut,
- metrologii – niepewność (dokładność, błąd pomiaru) pomiaru jest centralnym zagadnieniem w wartościowaniu rozrzutu, który można przypisać do wyniku pomiaru. Oczekiwana niepewność pomiaru dla urządzeń pomiarowych jest często określana przez producenta urządzenia.

Najważniejsze powody niepewności związanej z modelowaniem obiektu wynikają z [15]:

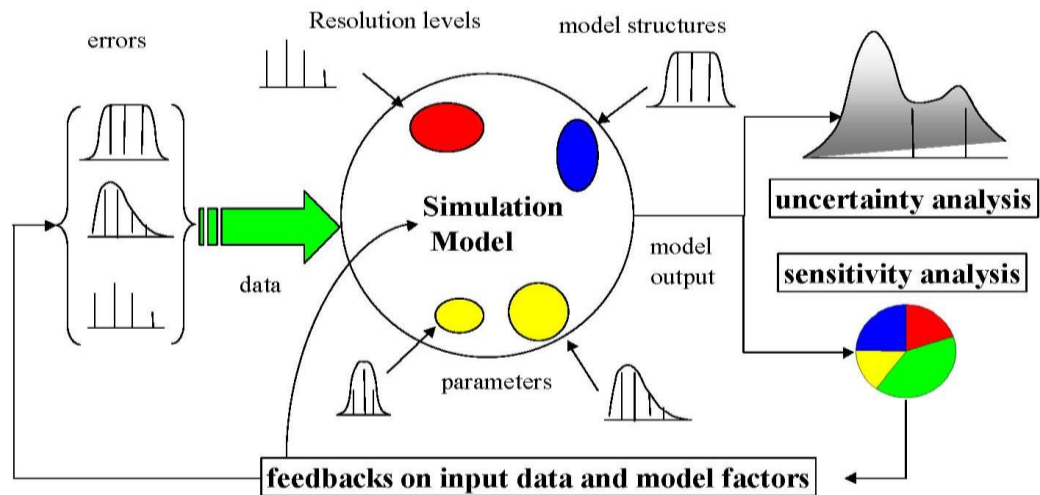
- niepewności dotyczącej parametrów modelu (np. mała liczność próbki statystycznej i związany z tym szeroki przedział ufności parametru, ekstrapolacja danych z jednego obiektu na inny),
- niepewności dotyczącej procesu modelowania (np. modele funkcjonowania obiektu technicznego są często przybliżone, szczególnie w zakresie wpływu otoczenia systemu eksploatacji lub wpływu człowieka),
- niepewności wynikającej z niewyczerpującego charakteru przeprowadzonej analizy (analityk nie może być zupełnie pewien czy wzięto pod uwagę wszystkie istotne czynniki dotyczące modelowanych zjawisk i ich interakcji).

W literaturze poświęconej analizie niepewności [17] powszechnie rozróżnia się dwie kategorie niepewności: niepewność epistemologiczną (*epistemic uncertainty* – ang.) i niepewność przypadkową (*aleatory uncertainty* – ang.).

Niepewność epistemologiczna wynika z braku podstawowej wiedzy dotyczącej istoty analizowanego zjawiska. Niepewność przypadkowa wywodzi się ze zmienności w znanej / możliwej do obserwowania populacji i reprezentuje „wrodzoną” losowość zjawiska.

Rozróżnienia pomiędzy niepewnością przypadkową i epistemologiczną uważa się za bardzo użyteczne z praktycznego punktu widzenia, ponieważ epistemologiczne niepewności są w zasadzie redukowalne poprzez pozyskiwanie coraz większej ilości wiedzy. Dlatego też, jeśli wiemy, jaką część niepewności w informacjach wyjściowych wynika z epistemologicznych źródeł niepewności, wówczas wiemy, że ta niepewność jest, w zasadzie, usuwalna (a przynajmniej możliwa do zmniejszenia), podczas gdy część wynikająca z niepewności przypadkowej jest niemożliwa do zredukowania.

Analiza wrażliwości jest narzędziem do badania, jak różne niepewności wpływają na informację wyjściową i czy można określić zakres zredukowania niepewności wynikających ze źródeł epistemologicznych. Ten sposób podejścia jest dobrze pokazany na rysunku 1 [12].



**Rys. 1.** Idea relacji między analizą niepewności a analizą wrażliwości

Źródło: Saltelli A., Ratto M., Tarantola S., Campolongo F., *Sensitivity analysis practices: Strategies for model-based inference*, Reliability Engineering & System Safety, 91, 2006, s. 1109-1125

Schemat wskazuje na możliwości analizy wrażliwości i jej powiązania z analizą niepewności. Niepewność wynika z wielu źródeł, takich jak: błędy danych wejściowych, błędy oceny parametrów modelu lub alternatywne modele struktury obiektu. W efekcie obserwujemy niepewność parametrów na wyjściu z modelu podlegającą analizie niepewności. Natomiast względna istotność poszczególnych przyczyn niepewności jest przedmiotem analizy wrażliwości.

Można więc stwierdzić [14], iż analiza wrażliwości zajmuje się badaniem, jak zmienność (niepewność) na wyjściu modelu (statystycznego) może być przypisana do różnych zmienności wielkości wejściowych do modelu. Inaczej ujmując analiza wrażliwości jest metodą na sprawdzenie jak systematyczne zmiany zmiennych modelu wpływają na skutki tych zmian.

Stosowane w praktyce miary wrażliwości zależą od możliwości formalizacji zagadnienia do modelu matematycznego. Jeżeli możliwe jest użycie modelu matematycznego to w literaturze zagadnienia można znaleźć wiele metod postępowania (np. [12]). Najprostsze rozwiązanie zakłada liniowy model regresyjny postaci:

$$Y = \sum_{i=1}^r \Omega_i Z_i$$

gdzie:

$Y$  – wielkość wyjściowa modelu,

$Z_i$  – niepewne wielkości wejściowe,

$\Omega_i$  – współczynnik (waga) parametru  $i$ .

Zakłada się, że wielkości  $Z_i$  mają normalny rozkład prawdopodobieństwa o wartości oczekiwanej równej zero i różnej wariancji. Można wówczas wykazać [14], że wygodną do

zastosowania miarą wrażliwości jest wskaźnik wynikający z unormowania pochodnych cząstkowych przez odpowiednie odchylenia standardowe:

$$S_{Z_i}^{\sigma} = \left( \frac{\sigma_{Z_i}}{\sigma_Y} \right) \left( \frac{\delta Y}{\delta Z_i} \right)$$

Taki wskaźnik pozwala ocenić, na ile dany czynnik wpływa na zmienność wielkości wyjściowej i jest rekomendowany przez np. [13].

Zastosowanie miary  $S_{Z_i}^{\sigma}$  jest ograniczone do modeli liniowych, choć proponuje się jej stosowanie także w metodzie OAT (*one-factor-at-a-time*) polegającej na ustaleniu wszystkich wartości parametrów modelu poza jednym, którego wpływ jest oceniany. Wówczas można oszacować miary wrażliwości także dla modeli nieliniowych [14] przy wykorzystaniu szeregu metod symulacyjnych, m.in. metody Monte Carlo.

Jeżeli nie ma możliwości zapisania problemu w sposób formalny, a na przykład przez wykorzystanie scenariuszy to i tak są możliwości pokazania, że [14]:

- przestrzeń przyjętych założeń została starannie przebadana, tzn. nie ma kombinacji założeń, które nie zostały zweryfikowane i które prowadzą do sprzecznych wyników,
- upewniono się, że zakres analizy jest dostatecznie szeroki, żeby objąć różne zbiory atrybutów i wartości potrzebne wszystkim użytkownikom.

Metody analizy wrażliwości w naukach technicznych mają więc bardzo szerokie spektrum zastosowania. Wykorzystuje się je np. do uproszczenia stosowanych modeli poprzez zrezygnowanie z czynników mało istotnych, badania wiarygodności wyników otrzymanych z przeprowadzonych oszacowań, badania możliwości i celowości różnych hipotetycznych scenariuszy lub poszukiwania możliwych błędów lub pominiętych czynników w opracowanych modelach.

## 5. WYKORZYSTANIE ANALIZY WRAŻLIWOŚCI DO WSPIERANIA PROCESÓW DECYZYJNYCH W OBSZARZE LOGISTYKI

Przestawiony powyżej obszar zastosowania analizy wrażliwości nie wyczerpuje zakresu tematycznego związanego z wykorzystaniem tego narzędzia. Pokazuje jednak jak szerokie jest spektrum zastosowania tej analizy w różnych dziedzinach nauki, życia i biznesu. Analizę wrażliwości należy wykorzystać również jako narzędzie wspierające procesy decyzyjne w obszarze logistyki. Autorzy podjęli więc próbę sformułowania wymagań oraz zakresu realizacji analizy wrażliwości w procesach logistycznych.

Zarządzanie procesami logistycznymi ze względu na swój kompleksowy charakter wymaga szczególnego podejścia i szerszego zakresu informacji, niż to zobrazowane w powyższych obszarach. Nie ulega więc wątpliwości, iż analiza wrażliwości dotycząca procesów logistycznych musi mieć charakter wieloaspektowy i dostarczać informacji nie tylko w wymiarze ekonomicznym, ale również technicznym. Z tego też względu realizowane pomiary dotyczyć powinny zarówno:

- elementów "miękkich" związanych z realizacją przepływów materiałowo - towarowych, informacyjnych i finansowych;

- jak i elementów "twardych" związanych z infrastrukturą materialno - techniczną oraz systemami informatycznymi.

Dla potrzeb prowadzonych pomiarów należy stworzyć modelowe odzwierciedlenie realizacji procesów logistycznych, dla których przeprowadzana będzie analiza wrażliwości. W pierwszej kolejności konieczne jest określenie warunków początkowych (założeń) dla realizacji procesu, w tym w szczególności zapotrzebowania na infrastrukturę materialno-techniczną, informatyczną, wraz ze wskazaniem jej wykorzystania na poszczególnych etapach procesu, oraz infrastrukturę personalną (liczba pracowników, wymagane kompetencje).

Następnie konieczne jest przygotowanie modelu procesu, który obrazować powinien:

- szczegółowe działania realizowane w ramach badanego procesu;
- relacje łączące poszczególne działania, określające ich kolejności oraz wzajemną zależność;
- osoby odpowiedzialne za realizację poszczególnych działań wraz z przypisanymi im kompetencjami;
- rozkłady prawdopodobieństwa czasu przebywania w poszczególnych stanach procesu / realizacji kolejnych działań;
- przepływy informacyjne towarzyszące poszczególnym działaniom.

Dla potrzeb przeprowadzanej analizy wrażliwości niezbędne jest także określenie parametrów będących przedmiotem realizowanych pomiarów. W przypadku procesów logistycznych najbardziej zasadnymi parametrami wydają się być koszty i czas związany z realizacją badanego procesu.

Analiza wrażliwości dla procesów logistycznych odnosić się może do dwóch kategorii oceny modelu:

1. Analiza wrażliwości wyników na zmiany wprowadzonych założeń dla realizacji procesu.
2. Analiza wrażliwości procesu na występujące zakłócenia / błędy.

W pierwszym przypadku to decydent określa, które założenia powinny być przedmiotem prowadzonych analiz lub może to wynikać z przewidywanych / planowanych zmian dotyczących realizacji badanych procesów. W drugim przypadku na podstawie danych historycznych możliwe jest ustalenie dotychczas występujących zakłóceń i błędów występujących w ramach realizacji badanego procesu oraz określenie czynników warunkujących ich wystąpienie. Jednocześnie na podstawie analizy benchmarkingowej można podjąć próbę oszacowania ewentualności wystąpienia innych prawdopodobnych czynników pozostających w relacjach przyczynowo - skutkowych z badanym procesem.

Analiza wrażliwości procesów logistycznych może mieć zarówno charakter jedno-, jak i wieloczynnikowy. Zasadne wydaje się być przy tym przeprowadzenie w pierwszej kolejności analizy wpływu zmiany / wystąpienia jednego warunku / zakłócenia, a dopiero w ramach pogłębianych analiz dołączanie powiązanych z nim czynników.

Metodyka przeprowadzania analizy wrażliwości procesów logistycznych, zdaniem autorów, powinna obejmować zarówno metody ilościowe i wykorzystywać możliwe modele symulacyjne, jak i metody jakościowe, w tym przede wszystkim modele scenariuszowe.

## 6. PODSUMOWANIE

Jak wykazują studia literaturowe analiza wrażliwości jest obecnie wykorzystywana w fizyce i chemii, w zastosowaniach finansowych, analizie ryzyka, jak i modelach sztucznej inteligencji (np. sieci neuronowych). Uznaje się przy tym, iż zastosowanie metod analizy wrażliwości jest celowe we wszystkich tych obszarach, w których opracowano modele formalne. Autorzy niniejszego artykułu w przeprowadzonych rozważaniach skupili się przede wszystkim na trzech najbardziej popularnych obszarach jej wykorzystania, a mianowicie: rachunkowości zarządczej, teoriach decyzyjnych oraz naukach technicznych.

Bazując na wiedzy pochodzącej z badań nad zastosowaniem analizy wrażliwości we wskazanym zakresie, autorzy podjęli próbę określenia wymagań dotyczących wykorzystania tej metody do pozyskiwania informacji wspierających zarządzanie procesami logistycznymi. W artykule określono potencjalne zakresy, które powinny być uwzględnione w ramach analizy wrażliwości przeprowadzanej dla procesów logistycznych, jak i określono wymagania formalne warunkujące kompleksowość przeprowadzonych postępowań analitycznych.

Dzięki wykorzystaniu metod analizy wrażliwości menedżerowie logistyki mogą wzbogacić swoją wiedzę na temat stabilności realizacji procesów im podlegających oraz ich podatności na ewentualne zakłócenia i zmiany warunków wstępnych. Zobrazowanie efektów planowanych i losowych zmian, jak mogą wystąpić w systemach logistycznych, pozwoli z odpowiednim wyprzedzeniem zaplanować działania prewencyjne lub ograniczające negatywne skutki. Połączenie metod analizy wrażliwości z planowaniem awaryjnym pozwoli menedżerom lepiej zarządzać procesami logistycznymi, przez co możliwe będzie zwiększenie elastyczności działalności przedsiębiorstwa oraz podniesienie jakości świadczonych usług.

## LITERATURA:

- [1] Mielcarek J., *Analiza wrażliwości w rachunkowości zarządczej*, Wydawnictwo Target, Poznań 2006
- [2] Arnold G.C., Hatzopoulos, *The Theory-Practice Gap In Capital Budgeting: Evidence from the United Kingdom*, Journal of Business Finance and Accounting, 27 (5) & (6), June / July 2000
- [3] Drury C., *Management and Cost Accounting* Thomson Learning, United Kingdom 2004
- [4] Gabrusewicz W., *Analiza prognozy rentowności* [w:] Czubałowska K., Gabrusewicz W., Nowak E., *Podstawy rachunkowości zarządczej*, PWE, Warszawa 2006
- [5] Janik W. *Rachunek kosztów i rachunkowość zarządcza*, Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Administracji w Lublinie, Lublin 2002
- [6] Lucey T., *Management Accounting, 3 ed.*, DP Publications Ltd, London 1992
- [7] Kiziukiewicz T., *Rachunki decyzyjne w warunkach ryzyka*, [w:] *Zarządcze aspekty rachunkowości*, pod red. T. Kiziukiewicz, PWE, Warszawa 2003
- [8] Sojak S., *Rachunkowość zarządcza*, "Dom Organizatora", Toruń 2003
- [9] Glynn J.J., Perlin J., Murphie M.P., *Rachunkowość dla menedżerów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003
- [10] Horngren C.T., Bhimani A., Foster G., Datar S.M., *Management and Cost Accounting*, Prentice Hall Inc., London 1999
- [11] Rappaport A., *Sensitivity Analysis in Decision Making*, The Accounting Review, July 1967



- [12] Saltelli A., Ratto M., Tarantola S., Campolongo F., *Sensitivity analysis practices: Strategies for model-based inference*, Reliability Engineering & System Safety, 91, 2006, s. 1109-1125
- [13] IPCC, *Background papers – IPCC expert meeting on good practice guidance and uncertainty management in National Greenhouse Gas Inventories*, 1999 <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/gpg-bgp.htm>
- [14] Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D. Saisana, M., and Tarantola, S., *Global Sensitivity Analysis. The Primer*, John Wiley & Sons, 2008
- [15] Villemeur A., *Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment*, John Wiley and Sons 1992.
- [16] Nowakowski T., *Metodyka prognozowania obiektów mechanicznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1999.
- [17] Nowakowski T., *Problems with analyzing operational data uncertainty*, Archives of Civil and Mechanical Engineering, vol. 10, nr 3, 2010, s. 95-109.

## IMPLEMENTATION OF THE SENSITIVITY ANALYSIS IN THE LOGISTIC PROCESS MANAGEMENT

### Abstract

Sensitivity analysis is tool that is broadly applied in different branches of science, not only related to the enterprise. It is a concept that can be successfully used with logistic processes as well. On the basis of literature review authors present different definitions and application of sensitivity analysis in three chosen areas – management accounting, decision theory and engineering. Afterward on the basis of conceptual analysis authors attempt to characterize the range of aforementioned analysis and its application to logistic processes.

**Keywords:** Sensitivity analysis, uncertainty analysis, logistic processes, decision-making processes