

Małgorzata Wasiuk
Politechnika Białostocka

RYZIKO W OCENIE EFEKTYWNOŚCI ELEKTROENERGETYCZNYCH INWESTYCJI SIECIOWYCH NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH INWESTYCJI*

1. Wstęp

Zwykle każdej działalności gospodarczej towarzyszą przedsięwzięcia inwestycyjne obciążone ryzykiem. Specyficzne są inwestycje w sektorze elektroenergetycznym. W sektorze tym decyzja o realizacji inwestycji wymaga określenia i oszacowania wpływu wielu różnorodnych czynników ryzyka wpływających na ocenę efektywności inwestycji elektroenergetycznych.

Powodem szacowania (uwzględniania) ryzyka w ocenie opłacalności tego typu inwestycji jest głównie niepewność zjawisk i procesów, mających wpływ na techniczne i ekonomiczne wskaźniki funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. Fakt ten sprawia, że elementem niezbędnym w procesie planowania inwestycji elektroenergetycznej jest analiza ryzyka.

2. Metodyka badań

Inwestycje w elektroenergetyce należą do tzw. nieodwracalnych, tzn. takich, które nie mogą być łatwo sprzedane jako produkt rynkowy. W związku z tym analiza ryzyka jest niezbędnym elementem oceny efektywności inwestycji. Źródłem ryzyka są: złożoność, nieokreśloność i nieciągłość zjawisk i procesów, wpływających na techniczne i ekonomiczne wskaźniki funkcjonowania systemu elektroenergetycznego w przyszłości.

* Artykuł zrealizowano w ramach pracy własnej zespołowej W/WZ/3/02.

Ryzyko, które ponosi inwestor, jest związane zarówno z nakładami na inwestycję, jak też z jej zakładanymi efektami. Można wyróżnić następujące czynniki ryzyka, od których jest uzależnione powodzenie danej inwestycji [Gawron 1997; Nazarko, Jurczuk 2003]:

- rynkowe (błędy w szacunku, zmiany popytu i cen wyrobów, zmiany cen surowców i półfabrykatów, nowi konkurenci),
- polityczne (polityka społeczno-gospodarcza, sytuacja międzynarodowa, stan koniunktury światowej, sytuacja na rynku walutowym),
- techniczne (zawodność maszyn i urządzeń – szczególnie prototypowych, trudności w opanowaniu nowoczesnych technologii),
- losowe (zmiany klimatyczne i inne zjawiska przyrodnicze).

Do oceny i analizy ryzyka można stosować wiele metod, m.in.: drzewo decyzyjne, model analizy prawdopodobieństwa, analizę wrażliwości, analizę scenariuszy czy analizę symulacyjną. Ze względu na to, że zachodzące zmiany zwykle mają charakter wielokierunkowy i niepewny i poszczególne czynniki są ze sobą powiązane do badań wybrano analizę symulacyjną [Kamrat 2001; Niewiedział 1999]. Metoda ta składa się z następujących etapów [Nazarko, Jurczuk 2003, Niewiedział 1999]:

1. Określenie rozkładu prawdopodobieństwa każdej ze zmiennych wejściowych.
2. Generowanie liczb losowych dla każdej zmiennej wejściowej z jej rozkładu prawdopodobieństwa.
3. Podstawienie każdej z wygenerowanych wartości zmiennych wejściowych do modelu efektywności w celu obliczenia wartości wskaźników efektywności.
4. Ustalenie rozkładu prawdopodobieństwa wartości wskaźnika efektywności; obliczenie odchylenia standardowego i współczynnika zmienności wartości wskaźnika efektywności.

Główną zaletą symulacji jest określenie możliwych wartości wskaźnika efektywności wraz z prawdopodobieństwem jego wystąpienia, co jest bardziej przydatne w badaniu ryzyka niż ocena punktowa. Otrzymane w ten sposób wartości oczekiwane wskaźnika efektywności odchylenie standardowe i współczynnik zmienności są znacznie dokładniejsze od uzyskanych innymi metodami analizy ryzyka.

Do oceny efektywności inwestycji stosuje się wiele wskaźników. W artykule skoncentrowano się na wartości bieżącej netto (ang. *net present value* – NPV) – podstawowym wskaźniku w analizie inwestycji [Jajuga, Jajuga 2004; Znanięcka 2001]. W celu wyznaczenia wartości bieżącej netto posługujemy się następującym wzorem [Kamrat 1999; Kawa, Wydymus 1998]:

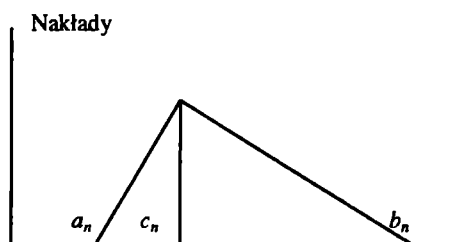
$$NPV = \sum_{t=n-1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=n-1}^n \frac{I_t}{(1+i)^t},$$

gdzie: CF_t – przepływy pieniężne netto związane z bieżącym funkcjonowaniem przedsięwzięcia (bez nakładów inwestycyjnych),

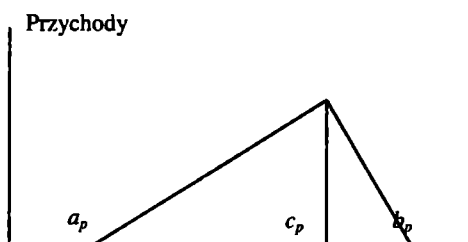
I_t – nakłady inwestycyjne w kolejnych latach okresu obliczeniowego,
 i – stopa procentowa,
 $t = 0, 1, \dots, n$ – kolejny rok okresu obliczeniowego.

NPV jest to zdyskontowana wartość przepływów pieniężnych, pokazująca obecną wartość przyszłych przychodów i wydatków związanych z realizacją inwestycji.

Jednym z podstawowych wyborów w metodzie symulacyjnej jest wybór postaci rozkładów zmiennych. Jest on dobierany przede wszystkim na podstawie opinii ekspertów. W celu ułatwienia ustalenia parametrów rozkładu w przyszłości wybrano rozkład trójkątny [Rybaczuk 2004] (w przypadku symetrycznego rozkładu trójkątnego symulacje niewiele odbiegają od rozkładu normalnego). Ze względu na brak przesłanek empirycznych przyjęto, że nakłady mają rozkład trójkątny asymetryczny lewostronnie (rys. 1), gdyż ponoszone nakłady będą rzadko niższe od założonych. Zazwyczaj przekraczają one wartości ustalone na etapie planowania przedsięwzięcia. W przypadku przychodów sytuacja jest odwrotna. Z większym prawdopodobieństwem można założyć, że nie przekroczą one wartości ustalonych w momencie opracowywania projektu inwestycyjnego. Z tego powodu rozkład trójkątny dla przychodów jest asymetryczny prawostronnie (rys. 2).



Rys. 1. Rozkład trójkątny dla nakładów



Rys. 2. Rozkład trójkątny dla przychodów

Źródło: opracowanie na podstawie [Rybaczuk 2004].

Tabela 1. Wartości graniczne dla symetrycznego i niesymetrycznego rozkładu trójkątnego nakładów i przychodów

	Rozkład symetryczny		Rozkład niesymetryczny	
	$[a_n; b_n]$	$[a_p; b_p]$	$[a_n; b_n]$	$[a_p; b_p]$
I wariant	- 5%; +5%	+5%; -5%	-5%; +10%	-10%; +5%
II wariant	-10%; +10%	+10%; -10%	-7%; +14%	-14%; +7%
III wariant	-15%; +15%	+15%; -15%	-10%; +20%	-20%; +10%
IV wariant	-20%; +20%	+20%; -20%	-20%; +40%	-40%; +20%

Źródło: opracowanie własne.

Wielowariantowe obliczenia symulacyjne przeprowadzono dla rozkładów trójkątnych symetrycznych i niesymetrycznych (tab. 1).

3. Opis przypadku

Omawiana inwestycja jest związana z budową nowej linii przesyłowej o mocy 400 kV oraz modernizacją istniejącej stacji transformatorowej. Dane przyjęte do obliczeń oparte są na wartościach rzeczywistych pozyskanych z inwestycji sieciowej, realizowanej przez PSE SA. Udostępnione szczegółowe dane ekonomiczne, wykorzystane w obliczeniach, zostały objęte przez inwestora tajemnicą handlową.

Podstawą do oszacowania ryzyka w ocenie efektywności inwestycji były dane dotyczące poniesionych nakładów i prognozowanych przychodów możliwych do osiągnięcia w momencie trwania omawianej inwestycji oraz wynikowe CF (tab. 2).

Tabela 2. Nakłady i przychody z tytułu wzrostu mocy przesyłowej oraz przepływy pieniężne (CF) w latach 2004-2023

Wyszczególnienie	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Lata	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nakłady (tys. zł)	3008	376	1880	9023	11278	11278	7519	0	0	0
Przychody (tys. zł)	0	0	0	0	0	0	10941	7690	6229	4739
CF	-3008	-376	-1880	-9023	11278	11278	3422	7690	6229	4739
CF narastająco	-3008	-3383	-5263	-	-	-	-	-	-	-
14286	25564	36842	33420	25730	19501	14762				
Wyszczególnienie	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Lata	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Nakłady (tys. zł)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Przychody (tys. zł)	1649	873	402	406	410	414	418	423	427	431
CF	1649	873	402	406	410	414	418	423	427	431
CF narastająco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13113	12239	11837	11431	11021	10606	10188	-9765	-9338	-8907	

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych rzeczywistych.

Obecnie obowiązującą stopą dyskonta, stosowaną do analiz ekonomicznych przez PSE SA, jest stopa równa 6,5%. Dodatkowo założono dosyć szeroki przedział zmienności rzędu 25%, aby uwypuklić wpływ stopy dyskonta na wielkość *NPV*. W związku z tym, nowe wielowymiarowe obliczenia symulacyjne wykonano przy stopie dyskonta równej 5, 6,5 i 8% dla obu typów rozkładów trójkątnych.

4. Wyniki badań symulacyjnych

W pierwszym etapie obliczeń przy ustalonych nakładach i przychodach wyznaczono deterministycznie wartości kryterialne *NPV* dla różnego poziomu stopy dyskonta. Przy stopie dyskonta równej odpowiednio 5, 6,5 i 8% wartość determini-

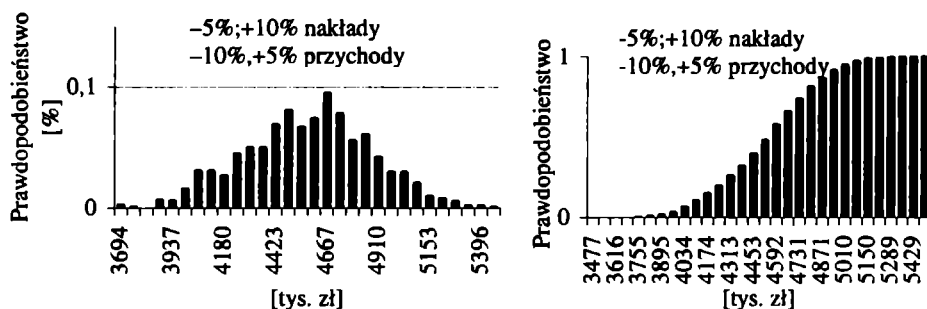
styczna NPV wyniosła odpowiednio 5010, 2019 i –442 tys. zł. Otrzymane wyniki przedstawiono w tab. 3.

Dla wartości stóp dyskontowych 5 i 6,5% inwestycja jest opłacalna, ponieważ $NPV > 0$. Przy stopie 8% inwestycja jest nieefektywna.

Ponieważ zarówno nakłady, jak i efekty zależą od wielu czynników, których wartości w przyszłości są niepewne, wartości przyszłych przychodów i nakładów potraktowano jako zmienne losowe o odpowiednich rozkładach. Obliczenia symulacyjne wykonano dla 1000 powtórzeń każdego opisanego wariantu przy przyjętym rozkładzie prawdopodobieństwa.

W artykule zajęto się dwiema podstawowymi miarami ryzyka, tj. współczynnikiem zmienności oraz prawdopodobieństwem nieosiągnięcia zakładanego poziomu NPV . Akceptowalny poziom współczynnika zmienności oraz prawdopodobieństwa nieosiągnięcia pożądanego poziomu NPV jest związany ze skłonnością inwestora do ryzyka. Ocenę dopuszczalnego poziomu ryzyka w każdej sytuacji musi podjąć inwestor.

W wyniku wielokrotnego wyznaczenia współczynnika NPV dla wartości nakładów i przychodów losowanych z odpowiednich rozkładów, otrzymano szereg wartości NPV , na podstawie, którego wyznaczona została dystrybuanta.



Rys. 3. Histogram i dystrybuanta wartości kryterialnej NPV przy 5% stopie dyskonta

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy diagram obrazujący kształtowanie się NPV analizowanej inwestycji dla 5% stopy dyskonta. Przyjęto, że wartości krańcowe rozkładu trójkątnego wynoszą odpowiednio: $-5\%; +10\%$ dla nakładów i $-10\%; +5\%$ dla przychodów. Dzięki temu możliwe było wyznaczenie prawdopodobieństwa osiągnięcia danej wartości NPV lub prawdopodobieństwa uzyskania mniejszej wartości NPV niż zakładana na podstawie dystrybuty przy założonym prawdopodobieństwie p .

Na podstawie uzyskanych rozkładów wartości NPV dla każdego wariantu oszacowano wartość oczekiwaną $E(NPV)$, odchylenie standardowe $\sigma(NPV)$ oraz współczynnik zmienności $C(NPV)$.

Na podstawie otrzymanych wartości miar statystycznych można wysunąć następujące wnioski:

- można stwierdzić, że przy 5% stopie dyskonta współczynnik zmienności jest dosyć niski, nawet przy ustaleniu dużej rozpiętości przedziałów w rozkładzie

trójkątnym, czyli ryzyko podjęcia błędnej decyzji inwestycyjnej dla tak przyjętych założeń nie jest duże;

- zwiększenie szerokości przedziału przyjętego w rozkładach powoduje wzrost współczynnika zmienności, co można interpretować jako wzrost ryzyka analizowanej inwestycji;
- większy wpływ na poziom ryzyka ma przyjęta wartość stopy dyskontowej niż zwiększenie szerokości przedziału przyjętego w rozkładach;
- w przypadku przyjęcia rozkładu symetrycznego do analizy, wyznaczone $E(NPV)$ są zbliżone do NPV deterministycznych; natomiast zakładając rozkład niesymetryczny $E(NPV)$ są mniejsze od NPV deterministycznego;
- w przypadku badanej inwestycji przy wzroście stopy dyskonta do 8% i przy dowolnym rozkładzie zmiennych wartości NPV będą ujemne, a co za tym idzie, nieefektywna będzie cała inwestycja.

Podsumowując można stwierdzić, że analizowane w niniejszej pracy przedsięwzięcie inwestycyjne jest obciążone dość dużym ryzykiem.

Tabela 3. Miary statystyczne przy różnym poziomie stopy dyskontowej

Miary	Granice zmienności rozkładów trójkątnych								
	-5%;+5%	-10%;+10%	-15%;+15%	-20%;+20%	-5%;+10%	-7%;+14%	-10%;+20%	-20%;+40%	
	-5%;+5%	-10%;+10%	-15%;+15%	-20%;+20%	-10%;+5%	-14%;+7%	-20%;+10%	-40%;+20%	
	Stopa procentowa 5%								
$E(NPV)$	5076,86	5109,31	5102,73	5119,78	4601,08	4393,82	4091,09	3115,90	
$\sigma(NPV)$	196,98	404,54	579,98	789,92	313,92	431,03	623,07	1225,85	
$C(NPV)$	0,04	0,08	0,11	0,15	0,07	0,10	0,15	0,39	
	Stopa procentowa 6,5%								
$E(NPV)$	2081,91	2086,52	2084,01	2059,31	1577,97	2136,06	1125,90	173,60	
$\sigma(NPV)$	193,25	392,02	573,16	771,90	297,89	409,88	587,88	1163,32	
$C(NPV)$	0,09	0,19	0,28	0,37	0,19	0,19	0,52	6,70	
	Stopa procentowa 8%								
$E(NPV)$	-388,44	-416,45	-370,57	-393,89	-880,75	-395,17	1333,89	-2327,38	
$\sigma(NPV)$	186,52	366,30	564,30	751,73	297,37	406,84	584,32	1186,06	
$C(NPV)$	-0,48	-0,88	-1,52	-1,91	-0,34	-1,03	-0,44	-0,51	

Źródło: opracowanie własne na podstawie obliczeń symulacyjnych.

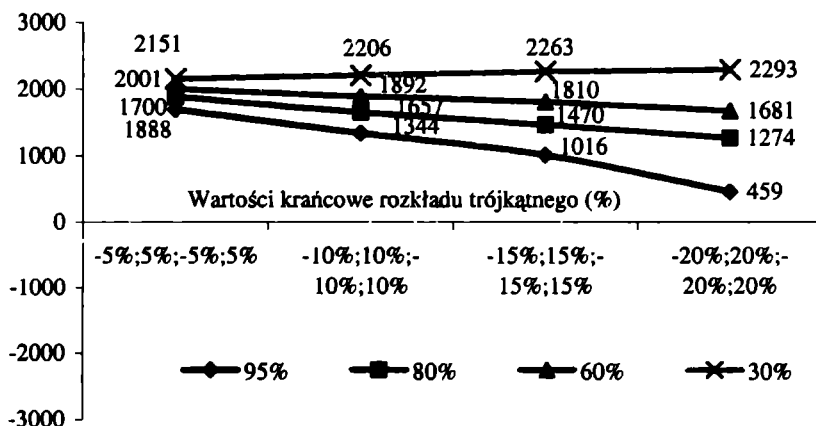
Na rysunkach 4 i 5 zaprezentowano zmiany wartości NPV w zależności od ustalonej szerokości odpowiednio symetrycznego i niesymetrycznego rozkładu trójkątnego przy różnej stopie dyskonta i różnym poziomie ufności. Poziom ufności podany analizie można zinterpretować jako ryzyko nieosiągnięcia wartości kryterialnej NPV . Na przykład przyjęty 95% poziom ufności oznacza, że rzeczywista wartość NPV może być z prawdopodobieństwem 5% niższa od założonej.

Można zauważyć, że:

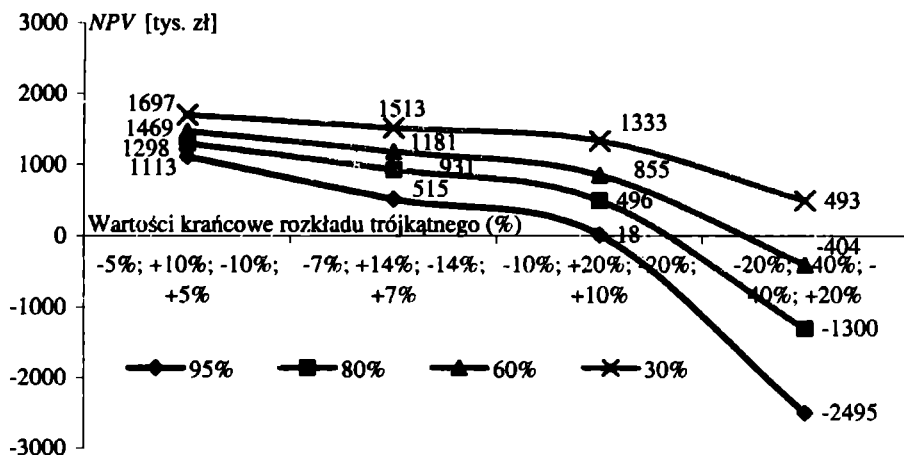
- przyjęcie wyższego poziomu ufności wiąże się ze spadkiem wartości kryterialnej NPV ,

- przy niesymetrycznych rozkładach wartości *NPV* spadają szybciej niż w rozkładach symetrycznych,
- zwiększenie asymetrii przyczynia się do gwałtownej zmiany *NPV*, przechodząc nawet do wartości ujemnych,
- wyraźny wpływ stopy dyskontowej na wielkość *NPV*, wzrost stopy dyskonta prowadzi do ujemnych wartości *NPV*.

NPV [tys. zł]



Rys. 4. Zależności między *NPV* a wartościami krańcowymi symetrycznego rozkładu trójkątnego przy różnym poziomie ufności i ustalonej 6,5% stopie dyskonta
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5. Zależności między *NPV* a wartościami krańcowymi niesymetrycznego rozkładu trójkątnego przy różnym poziomie ufności i ustalonej 6,5% stopie dyskonta
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Wyniki testów zgodności rozkładu *NPV*

Nazwa testu	Granice zmienności rozkładów trójkątnych							
	-5%; +5%	-10%; +10%	-15%; +15%	-20%; +20%	-5%; +10%	-7%; +14%	-10%; +20%	-20%; +40%
	-5%; +5%	-10%; +10%	-15%; +15%	-20%; +20%	-10%; +5%	-14%; +7%	-20%; +10%	-40%; +20%
Stopa procentowa 5%								
Test Smimowa-Kolmogorowa - <i>d</i>	0,00846	0,00827	0,00680	0,00940	0,01091	0,00672	0,01019	0,01261
Test $\chi^2 - p$	0,57198	0,62268	0,94261	0,86264	0,40291	0,93417	0,64040	0,77103
Stopa procentowa 6,5%								
Test Smimowa-Kolmogorowa - <i>d</i>	0,01216	0,01517	0,00870	0,00881	0,01376	0,01482	0,00554	0,00928
Test $\chi^2 - p$	0,89793	0,87011	0,59868	0,98174	0,77038	0,76550	0,78021	0,79050
Stopa procentowa 8%								
Test Smimowa-Kolmogorowa - <i>d</i>	0,00498	0,01267	0,02001	0,00469	0,00764	0,00856	0,01064	0,01918
Test $\chi^2 - p$	0,73446	0,65167	0,74473	0,93060	0,90751	0,84509	0,58210	0,55591

Źródło: opracowanie własne na podstawie obliczeń w pakiecie STATISTICA 6.0.

Testowanie zgodności z rozkładem normalnym wykonano za pomocą pakietu STATISTICA 6.0. We wszystkich badanych wariantach nie było podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności *NPV* (tab. 4). W takim przypadku kryterialne wartości *NPV* i prawdopodobieństwo *p* można wyznaczać w sposób analityczny bądź można posługiwać się tablicami rozkładu normalnego.

5. Wnioski

Podsumowując, można stwierdzić, że:

1. Uzyskane wyniki zależą od przyjętych parametrów rozkładu trójkątnego oraz przyjętych przedziałów ufności.
2. Przy wyborze parametrów rozkładu trójkątnego należy uwzględnić wiedzę ekspertów na temat rynku, na którym chcemy inwestować.
3. Przeprowadzono wielowariantowe symulacje, przyjmując różne progi wartości krańcowych rozkładu w sposób arbitralny.
4. Wybór poziomu stopy procentowej ma istotne znaczenie dla racjonalności wyników. Odzwierciedla ona bowiem w tym przypadku graniczną, wymaganą przez inwestora rentowność przedsięwzięcia rozwojowego.

6. Zakończenie

Oplacalność inwestycji elektroenergetycznych w dużym stopniu zależy od trafności długookresowych prognoz oraz od trafności danych i założeń przyjętych do analizy.

Ponadto wiarygodne oszacowanie potrzeb elektroenergetyki jest trudne, dlatego decyzje rozwojowe w tym sektorze są podejmowane w warunkach dużej niepewności, a tym samym są obciążone wysokim stopniem ryzyka. Nie należy zapominać o tym, że podjęcie właściwej decyzji inwestycyjnej w dużej mierze zależy od rzetelnego oszacowania wartości zmiennych, mających wpływ na efektywność danego przedsięwzięcia. Mimo tych trudności, zastosowanie metody symulacyjnej Monte Carlo pozwala na otrzymanie dodatkowych przesłanek decyzyjnych o planowanym (realizowanym) przedsięwzięciu. Dzięki wynikom uzyskanym za pomocą symulacji inwestor może zmniejszyć stan niepewności decyzyjnej, a przez to zmniejszyć ryzyko podejmowanych decyzji. Należy podkreślić również, że zaprezentowana w niniejszej pracy ocena ryzyka jest tylko jednym z elementów pozwalających na całościową analizę opłacalności (efektywności) planowanego przedsięwzięcia.

Literatura

- Gawron H., *Ocena efektywności inwestycji*, AE, Poznań 1997.
- Jajuga K., Jajuga T., *Inwestycje. Instrumenty finansowe. Ryzyko finansowe*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004.
- Kamrat W., *Metodyka oceny efektywności inwestowania na lokalnym rynku energii*, „Monografia”, nr 5, Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1999.
- Kamrat W., *Wybrane zagadnienia oceny efektywności inwestowania w sektorze energii*, „Rynek Energii” 2001, nr 2 (33).
- Kawa P., Wydymus S., *Metody oceny efektywności projektów inwestycyjnych według standardów Unii Europejskiej*, WSZiB w Krakowie, Kraków 1998.
- Nazarko J., Jurczuk A., *Ocena ryzyka w działalności spółki dystrybucyjnej energii elektrycznej*, maszynopis, Białystok 2003.
- Niewiedział E., *Zastosowanie metody Monte Carlo do analizy ryzyka w badaniach opłacalności inwestycji elektroenergetycznych*, [w:] *Prognozowanie w elektroenergetyce*, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2000.
- Niewiedział E., *Zarządzanie ryzykiem przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych w elektroenergetyce*, [w:] *Aktualne problemy w elektroenergetyce*, materiały konferencyjne, Gdańsk-Jurata, 9-11 czerwca 1999.
- Rybaczuk M., *Generowanie zmiennej losowej o rozkładzie trójkątnym*, maszynopis, Białystok 2004.
- Znanięcka K., *Zarządzanie finansami przedsiębiorstw*, Stowarzyszenie Księgowych w Polsce – Zarząd Główny, Centralny Ośrodek Szkolenia Zawodowego, Warszawa 2001.

RISK IN EFFECTIVENESS ASSESSMENT OF ENERGETIC INVESTMENT BASED ON SELECTED INVESTMENTS

Summary

The economic effectiveness of investment decision we can evaluate on the basis of NPV. Effectiveness assessment concerns future effects, which are based on estimated incomes and expenses (during 10- 25 years). Indexes calculated for simulated future effects are burden with suspense, it involves risk that effects will be different that expectations.

In this paper the results of risk assessment researches as one of the element of whole planning investment were presented. The molding of distribution of NPV index was carried out by means of Monte Carlo method. The parameters of the distribution were also estimated. The relationships between NPV index and extreme values of individual distribution were described.