

Konstancja Poradowska

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

MODELE DYFUZJI INNOWACJI W ANALIZIE DANYCH SUBIEKTYWNYCH

Streszczenie: W przypadku analizy i prognozowania zjawisk nowych, co do których brak wystarczającej liczby danych empirycznych z przeszłości, budowa formalnego modelu klasycznymi metodami nie jest możliwa. Alternatywnym podejściem może być wykorzystanie w tym celu tzw. danych subiektywnych, czyli opinii pozyskanych od ekspertów merytorycznych, formułowanych na podstawie intuicji i doświadczenia. Spośród formalnych modeli, stosowanych do opisu rozwoju nowych zjawisk, najsolidniejsze podstawy teoretyczne zdają się mieć matematyczne modele dyfuzji innowacji. W niniejszym artykule zaprezentowano sposób konstrukcji prognoz na podstawie takich modeli. Przydatność przedstawionych rozwiązań zostanie zweryfikowana w oparciu o materiały z badania *foresight*: „Zeroemisyjna gospodarka energią w warunkach zrównoważonego rozwoju Polski do 2050”.

Słowa kluczowe: dyfuzja innowacji, prognozy eksperckie, *foresight*.

1. Wstęp

Dynamiczny rozwój gospodarki, cywilizacji i postępu technologicznego stwarza potrzebę modelowania i prognozowania zjawisk nowych, czego potwierdzeniem może być wciąż wzrastająca w Polsce i na świecie popularność badań typu *foresight*. Główną przyczyną trudności bywa tu jednak brak dostatecznej liczby danych empirycznych, pozwalających na „klasyczną budowę” matematycznego modelu rzeczywistości.

W warunkach braku danych empirycznych alternatywą dla „tradycyjnych” metod heurystycznych może być budowa formalnego modelu na podstawie tzw. danych subiektywnych, które pozyskuje się poprzez zadanie ekspertom określonych pytań, niekoniecznie bezpośrednio związanych z przyszłością badanego zjawiska. Spośród tego rodzaju modeli najsolidniejsze podstawy teoretyczne wydają się mieć modele dyfuzji innowacji, czyli procesów rozprzestrzeniania się i upowszechniania innowacji w gospodarce.

Za cel główny artykułu przyjęto przedstawienie możliwości wykorzystania modeli dyfuzji (w szczególności modeli Rogersa i Bassa) w szeroko rozumianej analizie danych subiektywnych, pochodzących od ekspertów. Rozważania teore-

tyczne będą weryfikowane w oparciu o materiały z projektu *foresight*: „Zeroemisyjna gospodarka energią w warunkach zrównoważonego rozwoju Polski do 2050”, realizowanego przez Główny Instytut Górnictwa w Katowicach. Na potrzeby niniejszego badania modele dyfuzji innowacji posłużą do konstrukcji prognoz rozwoju nowych technologii energetycznych.

2. Wybrane modele dyfuzji innowacji

Pierwszym szeroko rozwiniętym teoretycznie modelem dyfuzji jest zaproponowany przez F.M. Bassa model wzrostu nowego produktu. Model ten stosowano do przewidywania dyfuzji innowacji w handlu detalicznym, technologii przemysłowej, rolnictwie oraz na rynku dóbr trwałego użytku. Bazuje on na założeniu, że istnieje analogia pomiędzy dyfuzją innowacji a rozprzestrzenianiem się epidemii [Bass 1969]. Ponadto przyjmuje się w nim wiele założeń upraszczających [Karcz 1997]:

- 1) potencjał rynku M pozostaje niezmienny w czasie,
- 2) dyfuzja określonej innowacji jest niezależna od innych innowacji,
- 3) geograficzne granice systemu społecznego nie ulegają zmianie w czasie przebiegu procesu dyfuzji,
- 4) proces dyfuzji ma charakter binarny, tzn. potencjalni adaptatorzy mogą albo przyjąć innowację, albo ją odrzucić,
- 5) na dyfuzję innowacji nie wpływają strategie marketingowe,
- 6) cechy innowacji oraz rynku nie wpływają na wzory dyfuzji,
- 7) nie występują ograniczenia po stronie podaży,
- 8) w procesie dyfuzji występuje pojedynczy akt akceptacji innowacji przez jednostkę.

Model Bassa można opisać za pomocą następującego równania różniczkowego:

$$\frac{dN(t)}{dt} = \left[p + \left(\frac{q}{M} \right) N(t) \right] [M - N(t)], \quad (1)$$

które ma rozwiązanie postaci:

$$N(t) = B(t, M, p, q) = M \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}}, \quad (2)$$

gdzie: $dN(t)/dt$ – tempo zmian w skumulowanej liczbie nabywców, którzy wdrożyli innowację w czasie t ,

$N(t)$ – ogólna liczba nabywców, którzy wdrożyli innowację w czasie t ,

M – potencjał rynkowy,

p – współczynnik innowacji (prawdopodobieństwo pierwszego zakupu przez grupę innowatorów),

q – współczynnik imitacji.

Pierwszy czynnik modelu (1) reprezentuje prawdopodobieństwo wdrożenia innowacji, drugi – liczbę potencjalnych nabywców, którzy jeszcze tego nie dokonali. W modelu przyjmuje się, że na skłonność do przyjęcia innowacji wpływają dwa podstawowe rodzaje środków komunikacji – masowa oraz ustna. Dzieli się zatem konsumentów na: innowatorów (którzy działają pod wpływem komunikacji masowej) oraz imitatorów (naśladowców, którzy działają pod wpływem komunikacji ustnej). W wyniku analizy modelu Bassa pojawiają się dwa podstawowe pytania [Karcz 1997]:

1. Czy model wystarczająco wyjaśnia strukturę komunikacji pomiędzy grupami innowatorów i imitatorów?

2. W jakim stopniu zagregowany sposób opisu procesu dyfuzji przystaje do procesu podejmowania decyzji na poziomie indywidualnego odbiorcy innowacji?

Próbie rozwiązania tych problemów stanowi model E.M. Rogersa [Rogers 1983], który zakłada, że w związku z występowaniem w procesie dyfuzji relacji interpersonalnych, krzywa adaptacji ma rozkład normalny. Wykorzystując parametry rozkładu normalnego, Rogers skategoryzował konsumentów według tempa przyjmowania innowacji i podzielił ich na 5 grup: innowatorów, wczesnych naśladowców, wczesną większość, późną większość, maruderów. Model dyfuzji Rogera można opisać następującym równaniem:

$$\frac{dN(t)}{dt} = \frac{a \cdot M \cdot e^{-a(t-b)}}{\left[1 + e^{-a(t-b)}\right]^2}, \quad (3)$$

którego rozwiązaniem jest krzywa logistyczna:

$$N(t) = L(t, M, a, b) = \frac{M}{1 + e^{-a(t-b)}}, \quad (4)$$

gdzie: $dN(t)/dt$ – tempo zmian w skumulowanej liczbie nabywców, którzy wdrożyli innowację w czasie t ,

$N(t)$ – ogólna liczba nabywców, którzy wdrożyli innowację w czasie t ,

M – potencjał rynkowy,

a, b – parametry modelu.

3. Określanie parametrów modeli na podstawie danych subiektywnych

Do budowy modelu dyfuzji niezbędna jest znajomość poziomu nasycenia rynku (potencjału innowacji) M , który w opisanych modelach jest stały¹.

Przy braku danych empirycznych z przeszłości, parametry p i q modelu Bassa można określić następująco [Lilien, Rangaswamy 2004]:

¹ W literaturze można spotkać różne modyfikacje modeli dyfuzji, przyjmujące, że potencjał rynku jest funkcją pewnych zmiennych objaśniających (zob. np. [Horsky 1990; Kalish 1985]).

- na podstawie danych dotyczących produktów o analogicznym cyklu życia,
- przyjąć wartości *a priori*, np. $p = 0,003$, $q = 0,5^2$,
- na podstawie sądów eksperckich (wykorzystując na przykład uogólnioną metodę najmniejszych kwadratów).

W przypadku modelu logistycznego Rogera można tak sformułować pytania do ekspertów, aby otrzymać informację o punktach szczególnych modelu (zob. rys. 1), które posłużą do oceny parametrów a i b .

W zależności od sytuacji, można wybrać jeden spośród następujących zestawów pytań³ (por. [Sokele 2008]):

Zestaw I

1. W którym okresie (t^*) rynek innowacji osiągnie połowę potencjału? $\rightarrow b$

2. Ile nowych jednostek w okresie t^* zaadaptuje innowację? $\rightarrow a$

Parametry modelu wyznacza się tu z zależności:

$$\max \frac{dN(t)}{dt} = \frac{aM}{4} \quad \text{dla} \quad t = b. \quad (5)$$

Zestaw II

1. W którym (możliwie krótkim) przedziale czasowym $[t_1, t_2]$ najwięcej nowych użytkowników wdroży innowację? $\rightarrow b$

2. Jaka to będzie liczba (n) użytkowników? $\rightarrow a$

Parametry modelu wyznacza się z zależności:

$$n \approx (t_2 - t_1) \frac{aM}{4}, \quad \frac{t_2 - t_1}{2} = b. \quad (6)$$

Zestaw III

1. W którym okresie (t_s) zostanie osiągnięte $u \cdot 100\%$ potencjału?

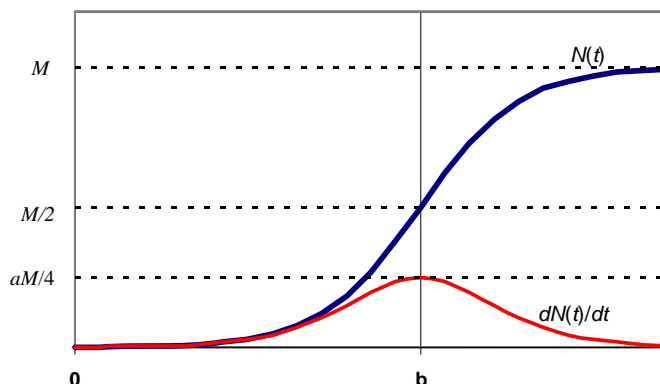
2. Jaki czas jest potrzebny (Δt), licząc od okresu t_s , aby osiągnąć $v \cdot 100\%$ potencjału?

Znając wartości t_s , Δt , u oraz v , parametry a i b , wyznacza się ze wzorów:

$$a = \frac{1}{\Delta t} \left[\ln \left(\frac{1}{u} - 1 \right) - \ln \left(\frac{1}{v} - 1 \right) \right], \quad b = t_s + \Delta t \frac{\ln \left(\frac{1}{u} - 1 \right)}{\ln \left(\frac{1}{u} - 1 \right) - \ln \left(\frac{1}{v} - 1 \right)}. \quad (7)$$

² Przyjęcie takich wartości proponuje F. Bass na założonej przez siebie stronie internetowej o tematyce modeli Bassa [www.bassbasement.org]. Lilien i Rangaswamy przyjmują tu średnią wartość parametrów oszacowanych dla określonej grupy produktów.

³ W poszczególnych pytaniach po symbolu „ \rightarrow ” podano parametr, którego wartość otrzymuje się w wyniku odpowiedzi.



Rys. 1. Krzywe Rogersa oraz ich punkty szczególne

Źródło: opracowanie własne.

4. Modele dyfuzji w badaniu *foresight* – studium przypadku

Przedstawione w poprzedniej części artykułu modele dyfuzji zostały wykorzystane do konstrukcji prognoz rozwoju nowych technologii energetycznych na potrzeby badania *foresight*: „Zeroemisyjna gospodarka energią w warunkach zrównoważonego rozwoju Polski do 2050”, prowadzonego w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach⁴. Poniżej zostaną przedstawione wybrane wyniki, dotyczące rozwoju technologii OZE.

We wcześniejszych etapach badania *foresight* panele ekspertów dostarczyły ocen:

- wielkości produkcji energii z OZE w Polsce w latach 2010, 2020, 2050;
- rynkowego potencjału energetycznego M dla poszczególnych źródeł energii do roku 2050.

Opinie ekspertów oraz wyznaczone na ich podstawie oceny parametrów modeli dyfuzji przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Opinie ekspertów dotyczące rozwoju technologii OZE oraz wyznaczone na ich podstawie oceny parametrów modeli dyfuzji.

Technologia OZE	Opinie ekspertów				Model Rogersa		Model Bassa	
	2010	2020	2050	M	a	b	p	q
Kolektory słoneczne płaskie/próżniowe	66	2350	4000	5500	0,41	11,71	0,04	0
Fotowoltaika	1,3	450	1000	4000	0,60	14,46	0,01	1E-14
Energetyka wodna klasyczna i szczytowa	2200	2800	10000	12500	0,03	52,25	0,02	0,03
Energetyka wiatrowa wielkiej skali	1400	14000	22000	25000	0,31	10,21	0,07	1E-09
Pompy ciepła i geotermia	320	2700	25000	50000	0,22	24,12	0,01	0,12
Mikrogeneracja na bazie biomasy	0,001	10	25	50	0,94	12,47	0,02	1E-11
Mikroenergetyka wiatrowa	0,001	1	10	20	0,70	15,23	0,01	1E-08

* Wielkości dla mikrogeneracji na bazie biomasy zostały określone w MWh, dla pozostałych technologii – w GWh.

Źródło: opracowanie własne.

⁴ Nr POIG.01.01.01-00-007/08.

Parametry modelu Rogersa wyznaczono na podstawie ocen dotyczących lat 2010, 2020 oraz potencjału M . Wartości określone przez ekspertów zostały tak przeliczone, aby stanowiły odpowiedzi na pytania zestawu III. Za okres t_s , występujący w pierwszym pytaniu zestawu III, przyjęto rok 2010. Następnie dla każdej technologii obliczono, jaką część potencjału rynkowego stanowi wartość określona dla 2010 roku, otrzymując w ten sposób wartość u . Podobnie postąpiono z wartością dla roku 2020, otrzymując w ten sposób wartość v oraz przedział Δt , wynoszący 10 lat. Parametry a i b obliczono z wzoru (7).

Do oceny parametrów modelu Bassa wykorzystano wszystkie cztery wartości, określone przez ekspertów dla poszczególnych technologii. Wstępnie przyjęto $p = 0,003$, $q = 0,5$. Po wyznaczeniu wartości teoretycznych na lata 2010-2050, wielkości p i q zostały tak skorygowane, aby zminimalizować średnią ważoną kwadratów odchyłeń:

$$\alpha = 0,5 \cdot (y_{2010} - \hat{y}_{2010})^2 + 0,3 \cdot (y_{2020} - \hat{y}_{2020})^2 + 0,2 \cdot (y_{2050} - \hat{y}_{2050})^2, \quad (8)$$

gdzie: $y_{2010}, y_{2020}, y_{2050}$ – wartości określone przez ekspertów odpowiednio na lata 2010, 2020, 2050;

$\hat{y}_{2010}, \hat{y}_{2020}, \hat{y}_{2050}$ – wartości teoretyczne otrzymane na podstawie wstępnie oszacowanego modelu.

Wagi nadane poszczególnym odchyleniom przyjęto arbitralnie, chcąc w ten sposób większe znaczenie nadać ocenom ekspertów formułowanym na okresy bliższe terażniejszości.

Prognozy rozwoju technologii OZE na lata 2010-2050, otrzymane na podstawie zbudowanych modeli Rogersa i Bassa, przedstawiono na rys. 2.

W celu porównania dopasowania poszczególnych modeli do wartości określonych przez ekspertów określono mierniki:

$$\varepsilon 1 = \sqrt{\frac{(y_{2010} - \hat{y}_{2010})^2 + (y_{2020} - \hat{y}_{2020})^2 + (y_{2050} - \hat{y}_{2050})^2}{3}}, \quad (9)$$

dotatkowo nadając większe wagi informacjom dotyczącym okresów bliższych terażniejszości (analogicznie jak we wzorze (8)):

$$\varepsilon 2 = \sqrt{0,5 \cdot (y_{2010} - \hat{y}_{2010})^2 + 0,3 \cdot (y_{2020} - \hat{y}_{2020})^2 + 0,2 \cdot (y_{2050} - \hat{y}_{2050})^2}, \quad (10)$$

gdzie: $y_{2010}, y_{2020}, y_{2050}$ – wartości określone przez ekspertów odpowiednio na lata 2010, 2020, 2050;

$\hat{y}_{2010}, \hat{y}_{2020}, \hat{y}_{2050}$ – wartości teoretyczne, otrzymane na podstawie modeli dyfuzji.

Następnie sprawdzono, jaką część określonego potencjału rynkowego M stanowią wartości powyższych mierników w przypadku rozważanych technologii. Wyniki przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2. Wartości mierników ε_1 oraz ε_2 (w %) w stosunku do potencjałów rynkowych dla oszacowanych modeli dyfuzji.

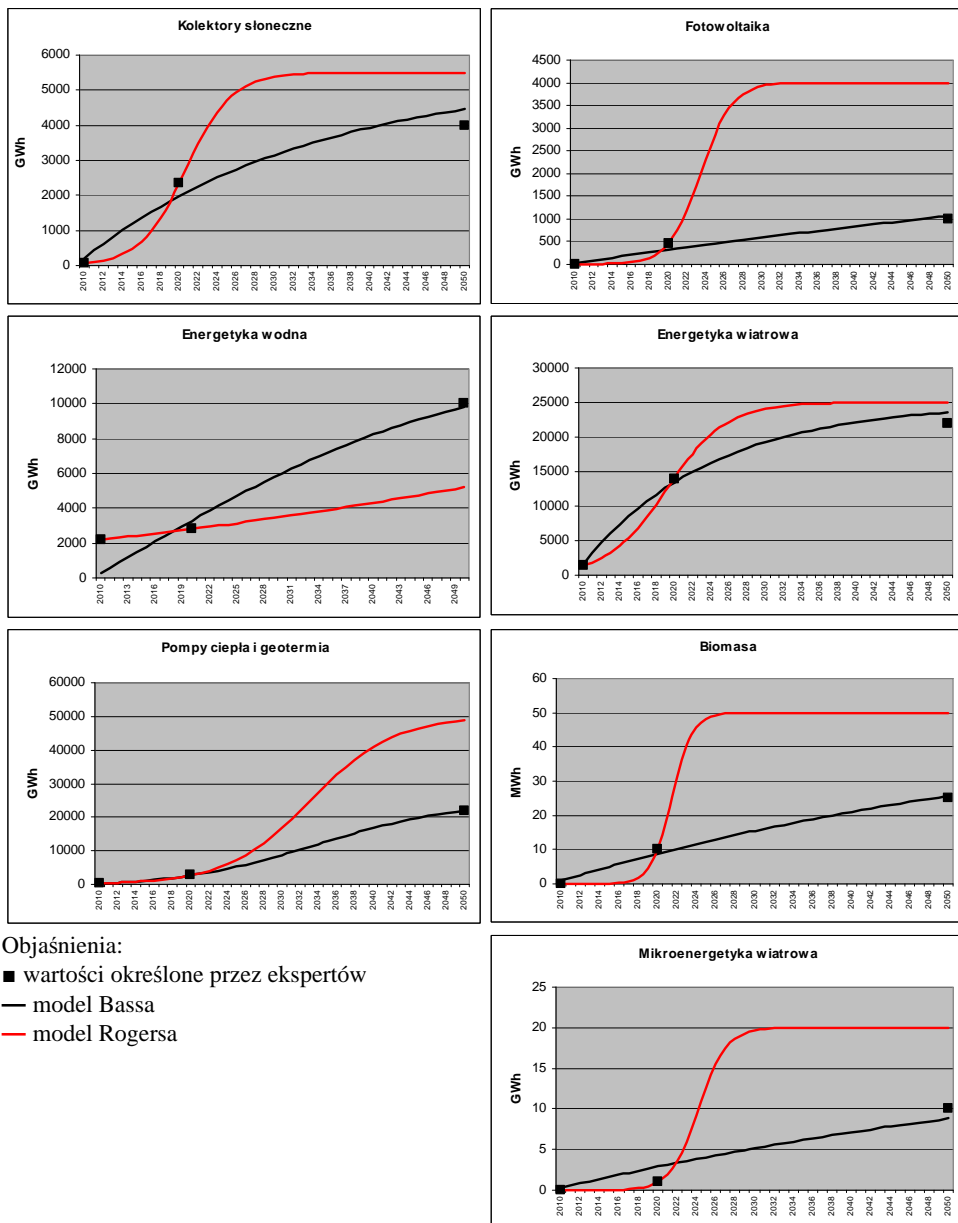
Technologia OZE	ε_1/M		ε_2/M	
	m. Rogersa	m. Bassa	m. Rogersa	m. Bassa
Kolektory słoneczne płaskie/próżniowe	16	6	12	6
Fotowoltaika	43	2	34	2
Energetyka wodna klasyczna i szczytowa	22	9	17	11
Energetyka wiatrowa wielkiej skali	7	4	5	3
Pompy ciepła i geotermia	27	3	21	3
Mikrogeneracja na bazie biomasy	29	2	22	2
Mikroenergetyka wiatrowa	29	6	22	6

Źródło: opracowanie własne.

Jako wada modelu Rogersa ujawniła się zbyt duża wrażliwość na wartość potencjału rynkowego i niemożność skorzystania ze wszystkich informacji pozyskanych od ekspertów – w modelu nie uwzględniono wartości dla 2050 roku. Odległość tej wartości od teoretycznego, wyznaczonego na podstawie modelu, poziomu zjawiska może być pewnego rodzaju miernikiem dopasowania modelu do danych eksperckich. Na tej podstawie można stwierdzić, że najbliższy modelowi Rogersa jest (według ekspertów) wzrost produkcji energii wiatrowej. Powodem tego może być stosunkowo dobra znajomość tej technologii na tle innych, dopiero wkraczających na polski rynek. Zakładając, że intuicja ekspertów, dotycząca przyszłości, była trafna, można wnioskować, że technologie OZE nie będą rozwijały się zgodnie z logistycznym modelem dyfuzji innowacji.

W każdym z rozważanych przypadków (por. tab. 2) model Bassa okazał się lepiej dopasowany do posiadanych danych subiektywnych. Jedynie dla energetyki wodnej model ten, zwłaszcza w początkowym okresie, nie odpowiadał opiniom ekspertów. Tłumaczyć to można między innymi tym, że to źródło energii ma już za sobą fazę wdrożenia (wielkość produkcji energii wodnej w 2010 roku to 2200 GWh, a w ostatnich latach został zanotowany niewielki spadek tej wielkości), natomiast model dyfuzji Bassa służy do opisu rozwoju technologii dopiero pojawiających się na rynku, których aktualny poziom jest bliski zeru.

Ciekawych wyników dostarczyła analiza otrzymanych współczynników innowacji (p) i imitacji (q) – oprócz dwóch technologii (Energetyka wodna... i Pompy ciepła...) pozostają w relacji $p > q$, co oznacza dominację efektu innowacji w procesie adaptacji technologii, czyli dane technologie nie zostały jeszcze zaakceptowane na rynku (por. np. [Alberts 2004]).



Rys. 2. Prognozy rozwoju technologii OZE, otrzymane na podstawie modeli dyfuzji

Źródło: opracowanie własne.

5. Podsumowanie

W obliczu wzrastającej popularności badań *foresight* zachodzi potrzeba konstrukcji długookresowych prognoz i scenariuszy rozwoju nowych technologii, o których brakuje obiektywnych danych z przeszłości. Podstawowym źródłem informacji są więc dane subiektywne, pozyskane od ekspertów dziedzinowych. W takiej sytuacji prognozowanie można oprzeć na założeniu, że technologia rozprzestrzenia się zgodnie z modelem dyfuzji innowacji. Postać modelu dyfuzji można wybrać w oparciu o informacje o oczekiwanym rozwoju badanego zjawiska, natomiast parametry modelu określa się na podstawie opinii ekspertów. W tym celu można zadać ekspertom określony zestaw pytań.

Modele dyfuzji innowacji mogą być cennym narzędziem do konstrukcji długookresowych prognoz rozwoju nowych zjawisk w przypadku niepełnej informacji, wynikającej jedynie z cząstkowych opinii ekspertów o możliwym kształtowaniu się zjawiska. Koniecznym warunkiem efektywności prognozowania jest w takiej sytuacji „dobra jakość” danych eksperckich, wymagających dogłębnej wiedzy eksperta na temat struktury prognozowanego zjawiska i rzetelności w procesie ich pozyskiwania.

Doświadczenia praktyczne wynikające z próby zastosowania modelu dyfuzji Bassa do prognozowania rozwoju nowych technologii energetycznych dostarczyły koncepcji, mającej na celu poprawę trafności otrzymanych prognoz poprzez włączenie do modeli informacji obiektywnej. Miałyby ona wynikać z analizy danych historycznych o rozwoju technologii w innych krajach (które wdrożyły technologię wcześniej) i stanowić podstawę do wyznaczenia parametrów modelu p i q . Opinie ekspertów można wykorzystać wówczas wyłącznie do oceny wartości początkowej oraz poziomu nasycenia rynku, co redukuje niepewność modelu, generowaną przez duży wpływ subiektywnego czynnika ludzkiego.

Literatura

- Alberts S., *Forecasting the Diffusion of an Innovation Prior to Launch*, [w:] *Cross-functional Innovation Management. Perspectives from Different Disciplines*, Gabler, Wiesbaden 2004.
- Bass F.M., *A new product growth model for consumer durables*, „Management Science” January 1969.
- Horsky D., *The effect of income, price and information on the diffusion of new consumer durables*, „Marketing Science” 1990.
- Kalish S., *A new product adoption model with pricing, advertising and uncertainty*, „Management Science” 1985, no. 31.
- Karcz K., *Proces dyfuzji innowacji. Podejście marketingowe*, Prace Naukowe AE, Katowice 1997.
- Lilien G. L., Rangaswamy A., *Marketing Engineering: Computer-Assisted Marketing Analysis and Planning*, Revised Second Edition, Trafford Publishing, Victoria 2004.
- Rogers E.M., *Diffusion of Innovations*, Free Press, New York 1983.
- Sokele M., *Growth models for the forecasting of new product market adoption*, „Elektronikk” 2008, 3/4.

MODELS OF INNOVATION DIFFUSION IN SUBJECTIVE DATA ANALYSIS

Summary: In case of the analysis and forecast of new phenomena upon which there is no sufficient amount of empirical data from the past it is impossible to construct a formal model by means of classic methods. The alternative approach may be the application of the so called subjective data, i.e., the opinions gained from the substantive experts, based on intuition and experience. Among the formal models applied to describe the development of new phenomena the mathematical models of innovation diffusion seem to have the most reliable theoretical grounds. The following article presents the way of constructing forecasts on the basis of such models. The usefulness of presented solutions will be verified on the strength of materials from *foresight* research: “Zero-emission economy of energy in the conditions of balanced development of Poland up to 2050”.