

Edyta Ropuszyńska-Surma

Politechnika Wrocławska

e-mail: edyta.ropuszynska-surma@pwr.edu.pl

ŁĄCZENIE METOD ILOŚCIOWYCH I JAKOŚCIOWYCH NA PRZYKŁADZIE REGIONALNEGO FORESIGHTU ENERGETYCZNEGO

Streszczenie: W artykule wskazano metodologię wyboru kluczowych technologii, które stały się podstawą do sformułowania tez w badaniach przeprowadzonych metodą Delphi, i krótko scharakteryzowano wyniki tych badań w odniesieniu do wybranych tez. Ponadto wskazano możliwość ograniczonego zastosowania przewidywania rozwoju technologii na podstawie krzywych *S*-kształtnych (krzywych logistycznych i metody Gomperta). Na podstawie tych funkcji wskazano możliwość substytucji konwencjonalnych technologii wytwarzania energii elektrycznej i technologii odnawialnych źródeł energii. Wyniki badań ilościowych odniesiono do wyników badań metodą Delphi. Na tej podstawie wskazano ograniczenia stosowania metod ilościowych i konieczność konfrontacji wyników badań eksperckich z metodami ilościowymi. Tym samym wskazano konieczność łączenia metod w ramach badań foresightowych.

Słowa kluczowe: metoda Delphi, substytucja technologii, krzywa logistyczna, model Gomperta, Dolny Śląsk, strategia.

DOI: 10.15611/ekt.2014.4.12

1. Wstęp

W podejściu klasycznym badania foresightowe można utożsamiać z prognozowaniem technologicznym. Modele krzywych *S*-kształtnych (np. funkcja logistyczna) służą do analizy trendów długookresowych. Znajdują one powszechne zastosowanie do prognozowania procesów ewolucyjnych w przyrodzie (np. dotyczących wzrostu populacji danego gatunku). Równania opisujące ten proces mają korzenie w teorii Malthusa, a poszczególne modele zaczęto opracowywać w latach 20. XX wieku. Prognozowanie technologiczne było szczególnie popularne w latach 60. i 70. XX wieku (np. prognozy Klubu Rzymskiego).

Obok metod wykorzystujących głównie matematyczne modele prognostyczne zaczęto stosować również metody eksperckie. Po sukcesie projektu Apollo dużą popularność zyskała metoda Delphi. Znalazła ona zastosowanie do przewidywania

rozwoju kierunków badań naukowych¹ i technologii. W kolejnych okresach zaczęto stosować ją do rozwiązywania problemów zarządzania w przedsiębiorstwach. Badania foresightowe wykorzystujące metody eksperckie stały się podstawą do formułowania narodowych strategii badań i rozwoju gospodarek czy też budowy strategii w przedsiębiorstwach.

Metody eksperckie, podobnie jak metody oparte na interakcji interesariuszy, czy też bazujące na indywidualnych wizjach futurologów znalazły zastosowanie w szerszym niż dotychczas rozumieniu pojęcia „foresight”, które wcześniej było związane jedynie z prognozowaniem technologicznym. Koncepcja francuskiego filozofa Bergera, rozpropagowana przez jego uczniów, wskazuje na możliwość kreowania przyszłości, a nie jedynie biernego „odkrywania” jej na podstawie danych historycznych [Godet, Durance 2011]. Podobne poglądy mieli klasycy zarządzania, np. Drucker. Takie rozumienie foresightu znalazło zastosowanie w planowaniu polityki regionalnej i polityk sektorowych w wielu państwach. A pozytywne efekty planowania strategicznego, wykorzystującego metody foresightowe, zachęciły Unię Europejską (UE) do zalecania wykorzystywania tych metod w planowaniu długookresowym rozwoju gospodarki UE, sektorów gospodarki czy też regionów.

Pomimo poszerzenia zakresu badań foresightowych oraz stosowanych metod w stosunku do tych używanych do prognozowania technologicznego nadal istotne jest wskazanie kluczowych technologii dla gospodarki, sektora, regionu lub przedsiębiorstwa. Problemem jest, za pomocą jakich metod wybrać pożądane technologie i wskazać związane z nimi wizje rozwoju regionu lub sektora.

Celem głównym artykułu jest porównanie wyników badań uzyskanych w ramach zrealizowanego projektu przy zastosowaniu metod eksperckich z wynikami uzyskanymi metodami ilościowymi, uznanymi za klasyczne (tj. S-kształtne krzywe logistyczne) w prognozowaniu technologicznym. Celami dodatkowymi są:

- uzyskanie pełniejszej interpretacji wyników badań pozyskanych metodą Delphi,
- zilustrowanie ograniczeń w stosowaniu metod ilościowych w prognozowaniu rozwoju sektora energetycznego.

Zagadnienie to przedstawiono w artykule na podstawie badań foresightowych w ramach projektu „Strategia rozwoju energetyki na Dolnym Śląsku metodami foresightowymi”². Uzyskane wyniki badań, głównie metodą Delphi w ramach projektu, uzupełniono badaniami ilościowymi na podstawie dostępnych danych historycznych

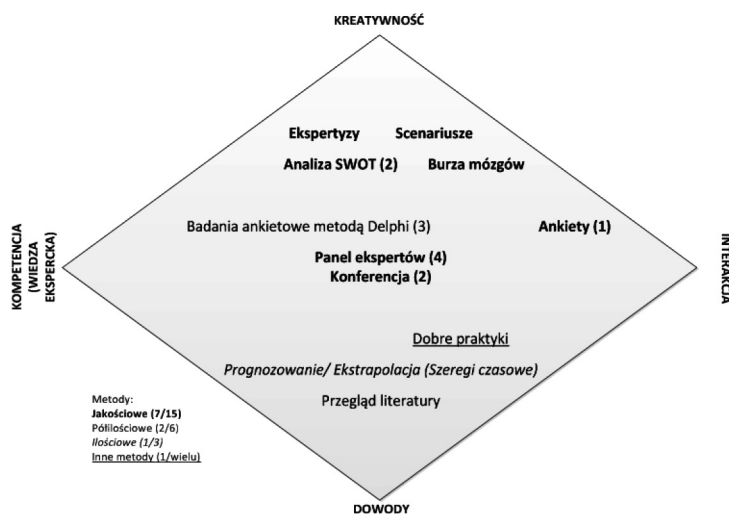
¹ Systematyczne badania w tym zakresie od lat 70. XX wieku prowadzi japoński NISTEP. Eto wprost wskazuje na związek stosowanej metody Delphi z sukcesem projektu Apollo odniesionym w 1969 r. [Eto 2003].

² W artykule wybrano ten projekt, ponieważ autorka uczestniczyła w zarządzaniu projektem oraz w pracach badawczych. Tym samym ma dogłębną wiedzę nt. zastosowanych metod badawczych w projekcie i uzyskanych wyników, ponadto sama była współautorką zastosowanej w projekcie metodologii. Projekt ten był współfinansowany ze środków UE i budżetu państwa w ramach PO IG 2007-2013. Poddziałanie 1.1.1. Projekt był realizowany w Politechnice Wrocławskiej w okresie 2009-2011 (nr POIG.01.01.01-02-005/08-00).

dla Dolnego Śląska. Wykorzystano model krzywej logistycznej oraz Gomperta. Podjęto również próbę określenia substytucyjności dwóch konkurujących technologii.

2. Projekt „Strategia rozwoju energetyki na Dolnym Śląsku” a metody foresightowe

W projekcie „Strategia rozwoju energetyki na Dolnym Śląsku metodami foresightowymi” zastosowano wzajemnie uzupełniające się metody badań foresightowych należące do różnych grup metod, tj. jakościowych, ilościowych i mieszanych (rys. 1).



Rys. 1. Metody badań foresightowych wykorzystane w projekcie „Strategia rozwoju energetyki na Dolnym Śląsku metodami foresightowymi”

Źródło: [Ropuszyńska-Surma, Węglarz 2013, s. 35].

W tej grupie znalazły się metody bazujące zarówno na interakcji (np. konferencje), wiedzy eksperckiej (panele ekspertów, ekspertyzy, badania ankietowe metodą Delphi), jak i na statystykach (ekstrapolacji trendów – szeregi czasowe). Ponadto cennych informacji i propozycji nietypowych rozwiązań dostarczyły ekspertyzy, które zalicza się do metod „kreatywnych”, zgodnie z klasyfikacją według Poppera [2008, s. 60]. Na rysunku 1 przedstawiono użyte w projekcie metody foresightowe graficznie umieszczone w tzw. diamentcie Poppera.

Projekt składał się z pięciu zadań badawczych³. Punktem wyjścia w badaniach była diagnoza stanu dolnośląskiej energetyki oraz określenie kierunków działań

³ Zadanie 1: Analiza stanu obecnego energetyki na DŚ na tle innych regionów kraju i Europy; Zadanie 2: Badania ankietowe wśród ekspertów oraz analiza ankiet i ich weryfikacja; Zadanie 3: Sto-

w ramach przyjętych celów strategicznych w kraju i w UE. Wyniki tych analiz umożliwiły zachowanie realności przyjętych celów strategicznych. Przegląd literatury, który był pomocny na tym etapie badań (zad. 1), stał się również podstawą do przeprowadzenia prognozy zapotrzebowania na poszczególne nośniki energii w województwie (zad. 3) oraz sformułowania wstępnych tez delphickich (zad. 2).

Zadanie 2 było rdzeniem prowadzonych prac badawczych, ponieważ w ramach jego realizacji przeprowadzono trzykrotne ankietowanie respondentów (tzw. ekspertów branżowych) metodą Delphi, cztery panele ekspertów oraz opracowano ekspertyzy przez tzw. ekspertów kluczowych. Eksperti branżowi ocenili tezy dotyczące 15 dziedzin; 14 z nich było związanych z technologiami energetycznymi, a ostatnia dotyczyła aspektów społecznych. Dwie pierwsze ankiety Delphi miały zbliżoną strukturę, a eksperci wskazywali m.in.: prawdopodobny okres realizacji na Dolnym Śląsku badanej tezy, bariery jej realizacji, czynniki sprzyjające jej realizacji, efekty jej realizacji, rodzaj działalności gospodarczej mogący się rozwijać w wyniku wdrożenia technologii proponowanej w danej tezie. Trzecia ankieta Delphi miała inną strukturę, ponieważ jej celem było wskazanie technologii sprzyjających realizacji celów w scenariuszach: społecznym, ekonomicznym i ekologicznym. Ponadto chciano pozyskać informacje dotyczące potencjalnych instrumentów i narzędzi wsparcia dla realizacji badanej tezy. Należy nadmienić, że na podstawie wyników uzyskanych z ankiet, oprócz wspomnianych już trzech scenariuszy, wyróżniono również scenariusz bezpieczeństwa i innowacyjny. Ponadto wskazano 10 najistotniejszych tez dla Dolnego Śląska.

Naprzemiennie z poszczególnymi rundami ankietowania przeprowadzano panele ekspertów dotyczące odpowiednio zagadnień: technicznych, ekonomicznych, ekologicznych i społeczno-samorządowych. Z punktu widzenia tego artykułu najistotniejszy jest panel technologiczny.

Ponadto uzupełniono badania o ekspertyzy opracowane przez ekspertów kluczowych w zakresie elektroenergetyki, gazownictwa, ciepłownictwa i odnawialnych źródeł energii (OZE). W każdej z wymienionych grup tematycznych związanych z nośnikami energii opracowano zagadnienia *stricte* techniczne, ekonomiczne, ekologiczne i społeczno-samorządowe.

W projekcie kierowano się zasadą łączenia metod badawczych, co umożliwiło uzupełnienie badań ilościowych o aspekty jakościowe, bazując głównie na wiedzy ekspertów. Należy zwrócić uwagę na ograniczoność zastosowania metod ilościowych w tego typu badaniach. Na przykład w ramach zadania 3, ze względu na ograniczony dostęp do danych, wykorzystano tylko najprostsze modele stochastyczne, tj. regresję liniową do estymacji trendów oraz model AR (1) do opisu wahań analizowanych procesów wokół długoterminowych trendów.

chastyczna analiza danych z sektora energetycznego – prognozy; Zadanie 4: Opracowanie strategii rozwoju energetyki na DŚ – metody statystyczne i stochastyczne; Zadanie 5: Opracowanie systemu monitoringu wdrażania strategii rozwoju.

Z kolei w przypadku badań metodą Delphi zagrożeniami mogącymi obniżyć jakości uzyskanych wyników są:

- a) nieprawidłowa konstrukcja narzędzia badawczego (ankiety) – głównie wybór i sformułowanie tez badawczych,
- b) nieodpowiedni dobór ekspertów (niewystarczająca wiedza ekspertów),
- c) brak zaangażowania ekspertów i udzielanie przez nich nierzetelnych odpowiedzi.

W omawianym projekcie zagrożenia „b” i „c” starano się wyeliminować, stosując odpowiednie procedury naboru ekspertów i kontroli ich pracy.

3. Procedura wyboru tez do badań ankietowych metodą Delphi

Istotnym zagadnieniem w badaniach metodą Delphi jest wybór i modyfikacja tez. Wybór i modyfikacja w przedstawianym projekcie miały miejsce przede wszystkim na pierwszym, tzw. technologicznym, panelu ekspertów, na którym eksperci wypełniali ankietę, podzieloną na trzy części. Ze względu na cel tego podpunktu istotna jest trzecia część ankiety, w której eksperci mieli określić fazę rozwoju danej technologii. Każda technologia była przypisana do jednej z 14 dziedzin, tj.: węgiel; biomasa; biogaz; elektrownie wiatrowe; elektrownie wodne (hydrogeneracja); energia słoneczna; paliwa jądrowe; gaz; magazynowanie, przesył, dystrybucja; ciepło, ogrzewnictwo, chłodnictwo; ogniwa paliwowe; *Smart Grids*; użytkowanie energii; transport i paliwa alternatywne. W sumie na tym etapie badań rozpatrzono 73 tezy.

Ekspert⁴ mieli przyporządkować każdą technologię do jednej z czterech faz rozwoju technologii. Faza I – przyszłościowa – występuje wtedy, gdy prowadzone są badania teoretyczne lub wstępne, a świat nauki wiąże z nimi pewne nadzieje. Faza II, nazwana prototypową, oznacza, że obecnie prowadzone są badania już na etapie prototypu (badania stosowane). Faza III – wzrostu – oznacza, że rozwiązanie jest wprowadzane na rynek (tzw. wczesna faza wdrażania). Z kolei faza IV oznacza, że technologia już jest stosowana i będzie stosowana w przyszłości. W badaniach nie rozważano technologii, które obecnie są już postrzegane jako przestarzałe i w najbliższej przyszłości wejdą w fazę schyłku.

Procedura wyboru technologii do sformułowania tez delphickich była dosyć złożona. Standardowo odrzucono technologie, które zostały oznaczone przez wszystkich ekspertów jako będące w fazie IV. Jednak w przypadku technologii mających duże znaczenie dla regionu sporadycznie występowały odstępstwa od tej reguły. Jeśli głosy ekspertów były podzielone pomiędzy różne fazy, to wybierano tę fazę, na którą było oddanych więcej głosów. W przypadku tej samej liczby głosów dla różnych faz danej technologii przypisywano fazę o mniejszym numerze porządkowym (opcja przyszłościowa). Jeżeli były zaznaczone dwie lub trzy fazy, to przypisywano

⁴ Oceny danej technologii dokonywali eksperci mający wiedzę dotyczącą danej dziedziny nauki, z którą była związana oceniana technologia.

fazę uśrednioną (opcja rozwojowa). Jeśli zaznaczone były fazy niesąsiadujące, np. I i IV albo I i III, wtedy wybierano fazę najczęściej zaznaczaną, a tę najrzadziej występującą odrzucano. Jeśli najwięcej głosów było oddanych na fazę IV, to dana technologia była przypisywana do tej fazy, jednak nie była odrzucana, bo były inne głosy przypisujące ją do fazy III lub II.

Na przykład w dziedzinie „Węgiel”, w której wstępnie badano 14 technologii, za technologie przyszłościowe (faza I) eksperci uznali [Herlender i in. 2010]:

- technologie zgazowania węgla w złożu,
- blok IGCC⁵ z instalacją CCS⁶.

Za technologię prototypową (faza II) eksperci uznali:

- blok parowy na parametry nadkrytyczne opalany węglem brunatnym (np. 250 bar, 600/610 °C),
- kocioł pyłowy (blok węglowy) o parametrach ultranadkrytycznych (np. 350 bar, 700/700 °C),
- technologie poligeneracji⁷.

Za technologie w fazie wzrostu (faza III) uznano:

- spalanie w cyrkulacyjnym złożu fluidalnym (CFBC) (np. 280 bar, 600/600°C),
- kocioł fluidalny atmosferyczny o parametrach podkrytycznych (np. 170 bar, 570/570 °C),
- zintegrowane układy gazowo-parowe (IGCC) (*CCS Ready*),
- blok parowy na parametry nadkrytyczne opalany węglem kamiennym (np. 250 bar, 600/610 °C),
- ciepłowniczy blok parowy na parametry nadkrytyczne,
- ciepłowniczy blok parowy z turbiną upustowo-przeciwprężną,
- ciepłowniczy blok parowy z turbiną upustowo-kondensacyjną,
- technologie trigeneracji⁸.

Za technologię obecnie stosowaną, która będzie nadal w zastosowaniu (faza IV), eksperci uznali: bloki węglowe z odsiarczaniem gazów odlotowych (PF). Jednak były dwa głosy wskazujące na tę technologię w fazie II, toteż nie została ona usunięta z listy technologii. Analogiczne analizy przeprowadzono dla pozostałych dziedzin, a ich wyniki są w raporcie z realizacji zadania 2 [Herlender i in. 2010].

⁵ Jest to skrót od słów *Integrated Gasification Combined Cycle*, czyli technologii bloku gazowo-parowych ze zgazowaniem.

⁶ Jest to skrót od *Carbon Capture and Storage*, czyli instalacje wychwytywania i magazynowania CO₂.

⁷ Technologie poligeneracji – oprócz produkcji energii elektrycznej, ciepła i chłodu produkowane są inne produkty, np. nawozy.

⁸ Technologie trigeneracji polegają na produkcji energii elektrycznej, ciepła i chłodu w jednym procesie produkcyjnym.

4. S-kształtne krzywe wzrostu technologii i substytucyjność technologii

Na potrzeby tego artykułu, na podstawie dostępnych danych z lat 2000-2013⁹, wyznaczono krzywe logistyczne i Gampertza dla ilości produkowanej energii brutto z niezależnych OZE¹⁰ (rys. 2 i rys. 3). Ponadto podjęto próbę wyznaczenia substytucyjności źródeł produkcji energii elektrycznej na Dolnym Śląsku¹¹. Wykorzystano w tym celu dane dotyczące ilości energii elektrycznej brutto produkowanej przez: elektrownie zawodowe i przemysłowe oraz niezależne źródła odnawialne (OZE).

Pierwsza grupa źródeł wykorzystuje głównie węgiel. Jednak część wytworzonej energii elektrycznej pochodzi z elektrowni wodnych należących do przedsiębiorstw energetyki zawodowej. Jej udział w produkcji energii elektrycznej w tego typu przedsiębiorstwach jest znikomy (np. w 2007 roku wyniósł on niecałe 1,16%). Ponadto w ostatnim okresie energetyka zawodowa wykorzystuje również biomasę w procesie współspalania. Wprawdzie zgodnie z obowiązującym prawem biomasą jest źródłem odnawialnym, ale w przypadku wytwarzania energii elektrycznej w procesie współspalania biomasy w elektrowniach zawodowych energia nie jest przypisana do rozproszonych, niezależnych OZE, ale do energii wytwarzanej przez energetykę zawodową. A fakt ten utrudnia interpretację danych statystycznych.

Na podstawie tej krótkiej charakterystyki można przypisać poszczególne technologie przedsiębiorstwom energetyki zawodowej. Będą to kotły węglowe o dużych mocach, duże źródła opalane gazem (w tym kogeneracyjne, np. bloki gazowo-parowe) czy opalane biomasą (zob. punkt 2).

Z kolei niezależne OZE związane są z innymi technologiami. Po pierwsze, zawsze są to źródła energii odnawialnej, zazwyczaj o małych mocach, chyba że są one zgrupowane w farmy wiatrowe czy fotowoltaiczne.

Można przyjąć, że substytucyjność tych dwóch wyróżnionych w statystykach źródeł energii elektrycznej odpowiada substytucyjności technologii energetyki zawodowej (tj. o dużej skali produkcji i głównie opartej na konwencjonalnych źródłach energii) oraz niezależnych OZE (rys. 4). Ta druga grupa technologii, charakterystyczna dla rozproszonych źródeł o mniejszych mocach, odgrywa istotną rolę w rozwoju energetyki regionalnej, kreowaniu autonomicznych regionów energetycznych, często samowystarczalnych energetycznie i wdrażaniu idei *Smart Grids*.

⁹ Wykorzystano dane publikowane przez Agencję Rozwoju Energetyki [ARE 2000-2013].

¹⁰ Do niezależnych odnawialnych źródeł energii ARE zalicza m.in. farmy wiatrowe, których właścicielem są przedsiębiorstwa energetyki zawodowej, i odnawialne źródła energii, których właścicielem są indywidualni, prywatni, rozproszeni inwestorzy, a nie przedsiębiorstwa energetyki zawodowej (wykorzystującej konwencjonalne źródła energii) i przedsiębiorstwa przemysłowe, które mają własne źródła energii.

¹¹ Ze względu na brak odpowiednich danych statystycznych dla Dolnego Śląska nie można przeprowadzić analizy substytucji konkretnych technologii.

4.1. Podstawy teoretyczne

Wykorzystany w badaniu model Gompertza opisany jest zależnością¹²:

$$\frac{dN}{dt} = \alpha N \ln \frac{K}{N} \quad \text{lub} \quad \frac{dN}{N} = \alpha \ln \frac{K}{N}. \quad (1)$$

Rozwiązaniem tego równania różniczkowego pierwszego rzędu jest:

$$N(t) = K e^{-e^{-\alpha(t-\beta)}}. \quad (2)$$

Z kolei model krzywej logistycznej jest opisany równaniami:

$$\frac{dN}{dt} = \alpha N \left(1 - \frac{N}{K}\right) \quad \text{lub} \quad \frac{dN}{N} = \alpha \left(1 - \frac{N}{K}\right), \quad \text{lub} \quad \frac{dN}{K-N} = \alpha \frac{N}{K}. \quad (3)$$

Rozwiązaniem tego równania różniczkowego pierwszego rzędu dla modelu logistycznego jest:

$$N(t) = \frac{K}{1 + e^{-\alpha(t-\beta)}}, \quad (4)$$

gdzie: N – ilość wytwarzanej energii elektrycznej brutto w czasie t , α – rzeczywista stopa wzrostu, jest to czas potrzebny do osiągnięcia wzrostu z 10% do 90% z pułapu K , charakteryzowanego przez Δt , K – poziom nasycenia, a w analizowanym przykładzie jest to maksymalna ilość wytwarzanej energii (asymptota pozioma), β – parametr określający czas t_m , po którym krzywa osiąga 50% pułapu K .

Krzywa logistyczna, podobnie jak funkcja Gompertza, zależy od trzech parametrów (K , α , β). Parametr K zależy od ilości zasobów naturalnych (np. konwencjonalnych źródeł energii – węgla), ale również ich dostępności uwarunkowanej możliwościami technicznymi (np. pozyskiwanie zasobów naturalnych z miejsc dotychczas niedostępnych dla człowieka)¹³. Tak więc ilość zasobów i możliwości techniczne ich pozyskiwania powinny być podstawą weryfikacji przyjętej wartości parametru K ¹⁴.

Jak zauważa Kwaśnicki [2013, s. 51], funkcja logistyczna może być przedstawiona w bardziej intuicyjnej formie:

$$N(t) = \frac{K}{1 + e^{-\frac{\ln(81)}{\Delta t}(t-t_m)}}, \quad (5)$$

¹² Interesującą interpretację obu krzywych w procesie dyfuzji technologii można znaleźć w [Wu, Chu 2010, s. 497-498].

¹³ Uzależnienie parametru K od ilości zasobów naturalnych jest charakterystyczne dla statycznej (malthuzjańskiej) teorii zasobów. Zgodnie z dynamiczną teorią zasobów należy uwzględnić postęp technologiczny.

¹⁴ Zagadnienie to jest istotne, jednak nie jest ono przedmiotem tego artykułu.

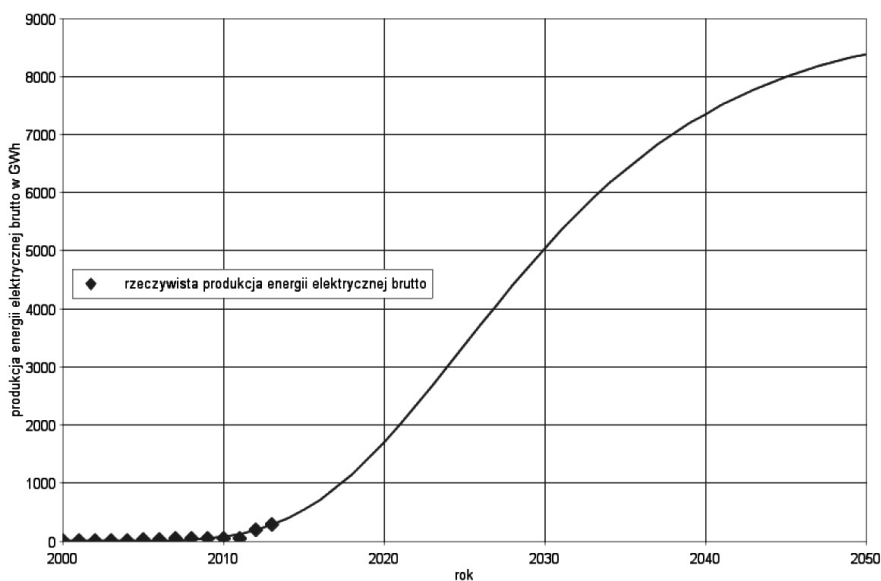
gdzie: Δt – czas potrzebny do wzrostu wartości $N(t)$ z 10% do 80% maksymalnej wartości K , t_m – punkt środkowy, czyli czas, po którym wartość funkcji $N(t)$ będzie wynosić 50% z wartości parametru K .

Analogicznie korzystając ze wzoru (2), można zapisać równanie dla modelu Gompertza.

4.2. Wyniki badań

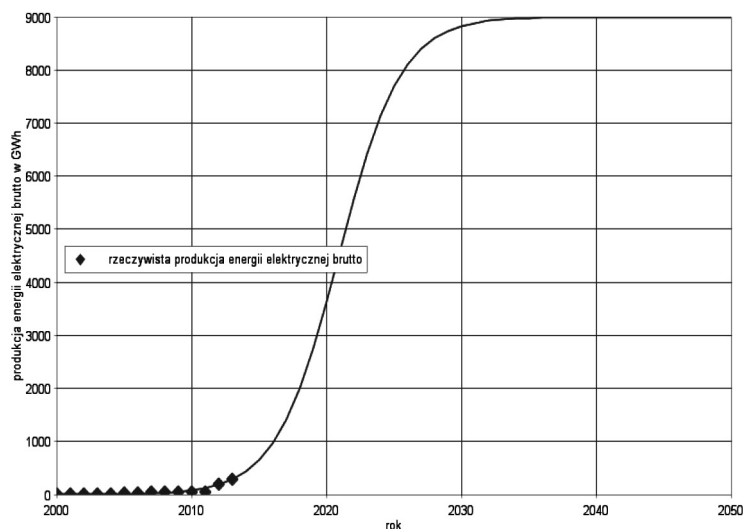
Dopasowanie i modyfikację krzywych logistycznych przeprowadzono przy użyciu oprogramowania IIASA FIT Model oraz IIASA Logistic Substitution Model II Version 0.9.87. Symulację przeprowadzono dla serii 14 danych z lat 2000-2013. W 2012 i 2013 roku znacznie zwiększyła się ilość produkowanej energii elektrycznej na Dolnym Śląsku z niezależnych OZE. Wielkość produkcji 2012 r. w stosunku do 2011 wzrosła aż o 228%, a w 2013 r. w stosunku do 2012 r. blisko o 52%. Były to największe przyrosty w całym badanym okresie, spowodowane polityką polegającą na wsparciu rozwoju OZE.

Wyniki symulacji dla niezależnych OZE przedstawiono na rys. 2 i rys. 3, a parametry modeli, zgodnie z użytymi symbolami we wzorze (5), podano w tab. 1. Uzyskane wyniki wymagają dodatkowych badań, które określiłyby maksymalny pułap (K). W artykule przyjęto, że maksymalna produkcja energii elektrycznej z niezależ-



Rys. 2. Krzywa Gompertza dla produkcji energii elektrycznej brutto z niezależnych OZE

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Krzywa logistyczna dla produkcji energii elektrycznej brutto z niezależnych OZE

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 1. Parametry opisujące krzywą logistyczną i Gompertza dla produkcji energii elektrycznej na Dolnym Śląsku ze źródeł niezależnych OZE

Parametry funkcji	Wartości parametrów dla modelu Gompertza	Wartości parametrów dla modelu logistycznego
K	9000 (GW·h)*	9000 (GW·h)
Δt	29,2 lat	10,15 lat
t_m	2024 r.	2020 r.
R^2	90,7%	91,9%

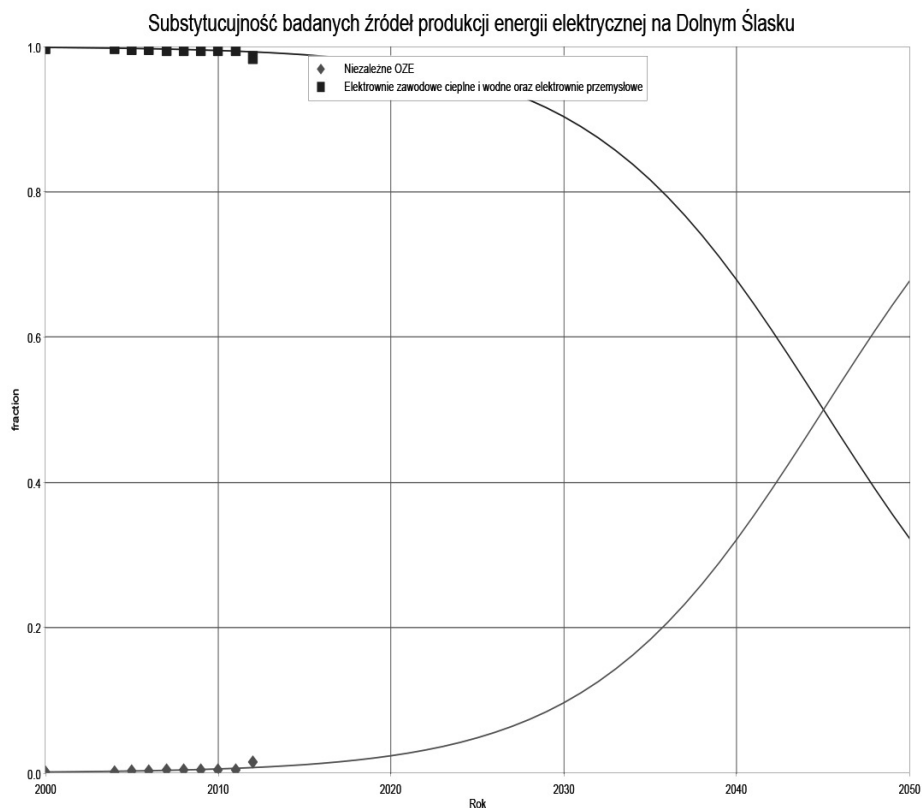
* GW·h – gigawatogodzina.

Źródło: opracowanie własne.

nych OZE wyniesie 9000 [GW·h]¹⁵ i jest to parametr K . W zależności od zastosowanego modelu 50% pułapu K zostanie osiągnięte w 2024 (dla modelu Gompertza) i w 2020 r. dla modelu logistycznego. A czas potrzebny do wzrostu produkcji z 10%

¹⁵ Całkowita produkcja brutto energii elektrycznej ze wszystkich źródeł na Dolnym Śląsku w 2013 r. wyniosła 12686 [GW·h]. A największa wartość produkcji w badanym okresie była równa 15774,20 [GW·h]. Przyjęto pułap K równy 9000 [GW·h], ponieważ mało prawdopodobne wydaje się, aby w województwie wytwarzano 100% energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, i to w źródłach nienależących do dużych przedsiębiorstw sektora energetycznego.

do 80% założonego górnego pułapu (K) wymaga, w zależności od modelu, ponad 29 lat lub ponad 10 lat. Warto zauważyć, że w 2013 r. rzeczywista produkcja stanowi jedynie 3,3% założonej wartości parametru K . Widać, że oba modele są dobrze dopasowane, o czym świadczy stosunkowo duża wartość R^2 , tj. współczynnik determinacji modelu¹⁶. Wskazane byłoby jednak uzupełnienie danych i ciągłe monitorowanie uzyskanych wyników.



Rys. 4. Substytucyjność badanych rodzajów źródeł energii dla Dolnego Śląska

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie danych statystycznych i dopasowania trendu rozwoju dla dwóch analizowanych źródeł energii przy wykorzystaniu funkcji Gomperta widać, że zastąpienie technologii używanych przez energetykę zawodową nastąpi po 2048 r. (rys. 4). Fakt ten należy odpowiednio zinterpretować, uwzględniając dostępne zasoby energetyczne na Dolnym Śląsku.

¹⁶ Dla innych funkcji, np. modelu liniowego R^2 , wynosi 53,9%, a dla dopasowania wykładniczego wartości są zbliżone jak dla modelu logistycznego.

5. Interpretacja uzyskanych wyników

Większość energii elektrycznej wytwarzanej w województwie pochodzi z Elektrowni Turów, ale złoża węgla praktycznie będą wyczerpane w 2048 r. Co można w tej sytuacji zrobić? Możliwych jest kilka opcji:

- transport węgla przy jednoczesnej zmianie paliwa w elektrowni z węgla brunatnego na kamienny lub inne paliwo¹⁷ – opcja ta wymaga zmiany lub modernizacji bloków energetycznych,
- rozwój innych konwencjonalnych lub alternatywnych źródeł energii, ale nie OZE (bloki opalane gazem, rozwój energetyki jądrowej¹⁸),
- rozpoczęcie wydobycia złóż węgla zlokalizowanych w okolicy Legnicy¹⁹,
- znaczne zmniejszenie produkcji energii przez energetykę zawodową na terenie Dolnego Śląska i jej import z innych regionów – opcja ta wymaga znacznej rozbudowy sieci energetycznych,
- dolnośląska energetyka zawodowa rezygnuje z paliw konwencjonalnych na rzecz alternatywnych paliw i jeszcze większego udziału w energetyce odnawialnej (spalanie biomasy i rozwój elektrowni wodnych).

Interpretując łącznie uzyskane wyniki w badaniach bazujących na opinii ekspertów (panele ekspertów, badania ankietowe metodą Delphi) w ramach realizacji projektu pt.: „Strategia rozwoju energetyki na Dolnym Śląsku metodami foresightowymi” z analizą długookresowych trendów wzrostu (krzywą logistyczną i Gomperta), należy zwrócić uwagę na możliwości wykorzystania bloków gazowo-parowych, budowę kopalni węgla w okolicach Legnicy. W tym kontekście można analizować inne wyróżnione przez ekspertów technologie „węglowe”, ale również te przyporządkowane innym dziedzinom, np. energetyce jądrowej²⁰ i OZE.

¹⁷ Węgla brunatnego, z przyczyn technologicznych, nie transportuje się na większe odległości, dlatego elektrownie wykorzystujące ten surowiec są budowane blisko kopalni węgla brunatnego.

¹⁸ Tezy związane z tymi technologiami były badane metodą Delphi w projekcie „Strategia rozwoju energetyki (...)”.

¹⁹ Dokładnie teza ta brzmiała: „Będą podjęte pierwsze próby zagospodarowania złóż węgla brunatnego w okolicach Legnicy”. Eksperti w badaniach ankietowych metodą Delphi w ramach projektu „Strategia rozwoju energetyki (...)” ocenili realizację tej tezy jako najistotniejszą dla zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego Dolnego Śląska [Ropuszyńska-Surma, Szalbierz (red.) 2011, s. 25, 56]. Była to również najistotniejsza teza w realizacji scenariuszy ekonomicznego i społecznego [Ropuszyńska-Surma, Szalbierz (red.) 2011, s. 25, 42].

²⁰ Z grupy tez dotyczących technologii jądrowych badane były dwie, które na technicznym panelu eksperci wskazali jako przyszłościowe. Były to tezy: (1) „Zostanie zainstalowany pierwszy reaktor lekko wodny (LWR) na Dolnym Śląsku”, (2) „Na Dolnym Śląsku zostanie zainstalowany pierwszy blok jądrowy małej mocy (10-40 MW)”. Pierwsza z tych tez została wskazana jako istotna dla scenariusza innowacyjnego, a druga – dla scenariuszy: ekonomicznego, społecznego, bezpieczeństwa i innowacyjnego [Ropuszyńska-Surma, Szalbierz (red.) 2011, s. 27, 42, 57]. Większość ekspertów wskazywała odległą datę realizacji tezy (2). Ponad 63% wskazało, że zostanie ona zrealizowana po 2031 r., a 46%, że po 2050 r. [Herlender i in. 2010, s. 118-119].

Jedną z tez badanych metodą Delphi była teza, że „Na Dolnym Śląsku 20% energii elektrycznej będzie pochodziło z zasobów rozproszonych (OZE)”. Przy zachowaniu dotychczasowego tempa rozwoju tej grupy źródeł jest to możliwe w 2035 r. (rys. 4). Jednak w badaniach Delphi w ramach projektu „Strategia rozwoju (...)” połowa ekspertów wskazała, że to 20% zostanie osiągnięte w latach 2021-2030²¹, a 33% respondentów uważało, że teza zostanie zrealizowana po roku 2030. A więc w celu osiągnięcia zamierzonego efektu w latach 2021-2030 nie można jedynie utrzymać dotychczasowego poziomu wsparcia rozwoju OZE, lecz dążyć do przewyższenia barier, jakie wskazywali m.in. eksperci w ramach przeprowadzonych badań. Eksperci przede wszystkim wskazywali na wysokie i bardzo wysokie bariery finansowe (83,6%²²), na średnie i niskie bariery legislacyjne (70,9%), bariery społeczne (78,2%) i bariery związane z zasobami ludzkimi (92,7%). Na podstawie wskazanych przez ekspertów barier można określić rekomendacje dla systemu wsparcia na rzecz przyspieszenia rozwoju rozproszonych, odnawialnych źródeł energii, co zaproponowano w publikacji [Ropuszyńska-Surma, Szalbierz (red.) 2011, s. 137-138]. 72,3% ekspertów uznało, że teza „Na Dolnym Śląsku 20% energii elektrycznej będzie pochodziło z zasobów rozproszonych (OZE)” będzie miała wysokie i średnie znaczenie dla Dolnego Śląska. Warto również zwrócić uwagę, że wspomniana teza jest postrzegana jako jedna z istotnych dla realizacji scenariusza ekologicznego, społecznego, ekonomicznego i innowacyjnego [Ropuszyńska-Surma, Szalbierz (red.) 2011, s. 27, 42] oraz jako jedna z najistotniejszych tez dla Dolnego Śląska [Ropuszyńska-Surma, Szalbierz (red.) 2011, s. 30].

Analogiczną interpretację można przeprowadzić dla innych tez, potencjalnie związanych z analizowaną substytucją źródeł energii („wielkiej” i rozproszonej, odnawialnej energetyki).

6. Wnioski

Uzyskane rezultaty badań ilościowych wykorzystujących modele wzrostu technologii (krzywe logistyczne i model Gompertza) uzupełniają wyniki wcześniej prowadzonych badań foresightowych w projekcie „Strategia rozwoju energetyki (...)”. Szczególnie dotyczy to ram czasowych wdrożenia technologii oraz substytucji dwóch podstawowych rodzajów źródeł energii elektrycznej, tj. źródeł konwencjonalnych (głównie o dużych mocach) i rozproszonych źródeł energii odnawialnej. Konfrontacja wyników badań, głównie uzyskanych w ramach trzech rund ankietowania metodą Delphi, z wynikami badań ilościowych stanowią uzasadnienie wdrożenia instrumentów wsparcia rozwoju energetyki odnawialnej. Podejście takie jest pomoc-

²¹ Prezentowane wyniki badań Delphi są opisane szczegółowo w raporcie [Herlender i in. 2010, s. 131-133].

²² Procenty w nawiasach informują, jaki procent ekspertów wskazało daną barierę.

ne w budowie scenariuszy rozwoju dla regionu czy też sektora gospodarki. Ponadto systematyczne monitorowanie ilości wytwarzanej energii elektrycznej w podziale według technologii wytwarzania pozwala na systematyczną korektę albo celów strategicznych, albo stosowanych instrumentów wsparcia rozwoju danych technologii.

Innym interesującym zastosowaniem modeli krzywych *S*-kształtnych jest określenie fazy rozwoju badanej technologii, co może być pomocne przy formułowaniu tez delphickich. Alternatywą może być użycie w tym celu zaproponowanej metody eksperckiej w projekcie „Strategia rozwoju energetyki (...)”.

Na podstawie rozważań przedstawionych w artykule widać, że łączenie metod badań foresightowych, niekoniecznie prowadzonych w tym samym czasie, podnosi jakość badań i ma zastosowanie w zarządzaniu.

Zastosowanie metod ilościowych, w tym *S*-kształtnych krzywych wzrostu badanych technologii, jest uwarunkowane dostępnością danych historycznych (np. ilości wytwarzanej energii elektrycznej na danym terenie przy wykorzystaniu danej technologii). Utrudnieniami w tym zakresie są:

- brak odpowiednich danych – dlatego w artykule zaproponowano przeprowadzenie symulacji dla zagregowanych, dostępnych danych, które są tematycznie związane z pewną grupą badanych tez,
- brak porównywalnych danych ze względu na zmianę metody agregacji danych,
- brak danych dotyczących dłuższego okresu,
- brak jakichkolwiek danych dla badanej technologii, np. bloków jądrowych na Dolnym Śląsku.

Tego typu trudności w pozyskaniu danych są przyczyną ograniczenia stosowania np. modeli wzrostu technologii w badaniach foresightowych na poziomie regionalnym. W literaturze przedmiotu są proponowane rozwiązania polegające na szacowaniu parametrów w funkcji logistycznej i Gompertza np. na podstawie opinii ekspertów²³.

Pomimo ograniczonego dostępu do danych, wykorzystanie metod ilościowych pozwala urealnić proponowane rozwiązania, a przede wszystkim uzasadnić wybrane scenariusze, cele strategiczne czy też wybór tez badawczych (np. w metodzie Delphi).

Literatura

- ARE, 2001, *Statystyka elektroenergetyki 2000*, Warszawa.
ARE, 2002, *Statystyka elektroenergetyki 2001*, Warszawa.
ARE, 2003, *Statystyka elektroenergetyki 2002*, Warszawa.

²³ Są to tzw. modele formalne II rodzaju [Pyka, Czaplicka-Kolarz (red.) 2011, s. 24].

- ARE, 2004, *Statystyka elektroenergetyki 2003*, Warszawa.
- ARE, 2005, *Statystyka elektroenergetyki 2004*, Warszawa.
- ARE, 2006, *Statystyka elektroenergetyki 2005*, Warszawa.
- ARE, 2007, *Statystyka elektroenergetyki 2006*, Warszawa.
- ARE, 2008, *Statystyka elektroenergetyki 2007*, Warszawa.
- ARE, 2009, *Statystyka elektroenergetyki 2008*, Warszawa.
- ARE, 2010, *Statystyka elektroenergetyki polskiej 2009*, Warszawa.
- ARE, 2011, *Statystyka elektroenergetyki polskiej 2010*, Warszawa.
- ARE, 2012, *Statystyka elektroenergetyki polskiej 2011*, Warszawa.
- ARE, 2013, *Statystyka elektroenergetyki polskiej 2012*, Warszawa.
- Eto H., 2003, *The suitability of technology forecasting/foresight methods for decision systems and strategy. A Japanese view*, *Technological Forecasting & Social Change*, no 70.
- Godet M., Durance Ph., 2011, *Strategic foresight. For corporate and regional development*, DUNOD – UNESCO – Fondation Prospective et Innovation.
- Herlender K., Ropuszyńska-Surma E., Szalbierz Z., Węglarz M., Wyłomańska A., 2010, *Badania ankietowe wśród ekspertów oraz analiza ankiet i ich weryfikacja*, Raport Instytutu Organizacji i Zarządzania Politechniki Wrocławskiej, Ser. PRE nr 56, Wrocław.
- Kwaśnicki W., 2013, *Logistic growth of the global economy and competitiveness of nations*, *Technological Forecasting & Social Change*, no 80.
- Popper R., 2008, *How are foresight methods selected?*, *Foresight*, vol. 10, no 6, Emerald Group Publishing Limited.
- Pyka I., Czaplicka-Kolarz K. (red.), 2011, *Scenariusze rozwoju zeroemisyjnej gospodarki energią w Polsce w perspektywie 2050 roku*, GIG, Katowice.
- Ropuszyńska-Surma E., 2014, *Metody foresightowe jako wsparcie zarządzania strategicznego*, *Marketing i Rynek*, nr 5.
- Ropuszyńska-Surma E., Węglarz M., 2013, *Metoda, zakres i wyniki badań w projekcie „Strategia rozwoju energetyki na Dolnym Śląsku metodami foresightowymi”*, [w:] K. Safin (red.), *Foresight – podstawy metodologiczne i praktyczne konsekwencje*, *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu*, Wyd. Wyższej Szkoły Bankowej w Poznaniu, Wrocław.
- Ropuszyńska-Surma E., Szalbierz Z. (red.), 2011, *Strategia rozwoju energetyki na Dolnym Śląsku na podstawie metody foresightowej Delphi*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Wu F.-S. Chu W.-L., 2010, *Diffusion models of mobile telephony*, *Journal of Business Research* 63.

COMBINING QUANTITATIVE AND QUALITATIVE METHODS ON THE EXAMPLE OF REGIONAL FORESIGHT RELATED TO ENERGY INDUSTRY

Summary: Regional and sectorial strategies should take into consideration, inter alia, stakeholders' needs and potential problems in the future (e.g. lack of energy security). In this situation, there is often necessity to select key technologies for a region or a sector. The problem is what kind of methods are used to select needed technologies and to point out visions, which are linked to these technologies, of region or sector development. The issue is shown in this article basing on the project called "Energy Development Strategy of Lower Silesia by Using Foresight Methods". The paper presents the procedure of the selection of theses which are

studied by Delphi methods. The results of this research addressed to selected theses are shown briefly. Also there is shown limited usage of technological foresight basing on S-shape curves (logistic curves and Gompert's method). In connection to these functions there is presented a substitution between conventional technologies of electricity production and renewable energy sources technologies. The results of qualitative methods and Delphi method are compared. Basing on this, the limits of the implementation of qualitative methods as well as the necessity to compare the results of two methods: experts' one and qualitative one are shown. In other words, the combining of methods is recommended during foresight research.

Keywords: Delphi method, technological substitution, logistic curve, Gompertz's model, Lower Silesia, strategy.