



Mirosław Wójciak

Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach
Wydział Zarządzania
Katedra Ekonometrii
mwojciak@ue.katowice.pl

WPLYW ZGODNOŚCI OPINII EKSPERTÓW NA PRECYZJĘ ZBUDOWANYCH PROGNOZ

Streszczenie: Głównym celem badania jest sprawdzenie, na ile eksperci powinni być zgodni, aby prognozy ilościowe zbudowane na podstawie ich opinii były precyzyjne. W pierwszym etapie badania przedstawiono stosowane miary zgodności ekspertów wraz z ich własnościami. Pozwoliło to na wyznaczenie granicznych wartości miar zgodności ekspertów, których osiągnięcie sprawi, że będzie można uznać, iż eksperci są zgodni. W drugiej części badania ukazano, jaki wpływ ma zgodność ekspertów na precyzję prognozy postawionej na podstawie ich opinii.

Słowa kluczowe: foresight, zgodność opinii ekspertów, prognozowanie heurystyczne, precyzja prognoz.

Wprowadzenie

W przypadku budowy prognoz w stosunkowo długiej perspektywie, tj. kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu lat, z powodu braku możliwości skorzystania z tradycyjnych modeli statystyczno-ekonometrycznych korzysta się z opinii ekspertów. Zajmują one szczególne miejsce w badaniach typu foresight, których nadrzędnym celem jest konstrukcja scenariuszy rozwoju sytuacji w stosunkowo dalekiej perspektywie, a także gdy nie jest możliwa ekstrapolacja posiadanej wiedzy. Eksperci, jak wiadomo, powinni być kompetentni w danej dziedzinie, a równocześnie mieć szerokie horyzonty. Nawet w przypadku gdy zespół ekspertów będą tworzyli specjaliści z zakresu badanego problemu, nie będzie gwarancji, że ich opinie będą spójne. Oczywiście, w niektórych typach badań eksperci wręcz nie powinni być zgodni, przykładowo podczas „burzy mózgów”, ale np. w metodzie Delphi taka zgodność jest już wymagana. Może być ona potrzebna także w celu:

- budowy prognoz o wysokiej dokładności,

- oceny wpływu czynników i zdarzeń na rozwój danego zjawiska,
- określenia oraz oceny barier i stymulatorów rozwoju danego zjawiska.

Celem badania jest próba wyznaczenia granicznych wartości miar zgodności ekspertów, które umożliwią zbudowanie prognozy o założonej precyzji. Pozwoli to na zwiększenie efektywności badania typu Delphi poprzez określenie, czy jest możliwa budowa prognoz, czy też konieczne będzie przeprowadzenie kolejnej tury badania w celu uzyskania wyższej zgodności ekspertów.

1. Metodologia foresightu

Badanie foresight jest zadaniem dla specjalistów. Stanowi ono dogodną okazję do przedstawienia swego stanowiska przez szeroki krąg osób w społeczeństwie, dla którego wyniki takiej analizy nie powinny być obojętne. W celu kreowania przyszłości foresight korzysta z wielu różnych metod, które są ciągle modyfikowane. Dużym uznaniem cieszą się działania oparte na uzyskiwaniu wiedzy eksperckiej (głównie panele eksperckie i burze mózgów oraz metoda Delphi), a także metody ilościowe [Poradowska i Wójciak, 2009].

Założenia wielu foresightów wyznaczają rolę metody Delphi jako głównego narzędzia uzyskania wiedzy na temat przyszłości. Polega ona na przeprowadzeniu kilkukrotnego ankietowania wybranej grupy anonimowych ekspertów, którzy nie mogą się naradzać i komunikować ze sobą w tej sprawie. Po zebraniu wyników i przeprowadzeniu ich statystycznej analizy, prezentuje się ekspertom kolejną wersję ankiety, zawężającą i uściślającą obszar działania. Cykl ten jest powtarzany kilkakrotnie, aż do wypracowania pełnej zgody pomiędzy ekspertami, dostatecznego zawężenia priorytetów oraz utworzenia spójnego obrazu rozwoju danej dziedziny.

Aby wyniki badania można było uznać za wiarygodne, ankietowana grupa ekspertów powinna być liczna (podręczniki foresightu zalecają zaangażowanie przynajmniej kilkudziesięciu osób) i reprezentatywna. Eksperti powinni posiadać dużą wiedzę merytoryczną, a także doświadczenie w tematyce będącej przedmiotem badania, szerokie horyzonty myślowe oraz intuicję w zakresie oddziaływania badanej dziedziny na szeroko rozumiane otoczenie.

2. Metody budowy prognoz w badaniach foresight

W sytuacjach gdy nie można z różnych przyczyn obiektywnie ocenić szans realizacji danego zdarzenia (np. przy braku danych empirycznych, stanowiących próbę losową), za pomocą metod ilościowych wykorzystywane jest prawdopo-

dobieństwo subiektywne, inaczej zwane personalnym (ang. *personal probability*). Prawdopodobieństwo to jest naszą osobistą miarą szansy wystąpienia danego zdarzenia [Poradowska i Wójciak, 2009]. Związek tego pojęcia z ocenami ekspertów jest oczywisty, a jego zastosowanie w tym obszarze nie jest podejściem nowym [zob. np. Orzeł, 2005]. W rozważanej w niniejszym artykule sytuacji, wobec braku danych empirycznych, na podstawie których można wnioskować o rozkładzie interesującej nas zmiennej losowej, pozostaje założyć *a priori* określoną postać takiego rozkładu, opierając się przy tym na różnych rodzajach informacji – w szczególności na opinii ekspertów i „subiektywnym” przekonaniu o słuszności tych opinii. Do opisu prawdopodobieństwa subiektywnego można wykorzystać funkcję gęstości rozkładu prostokątnego, trapezowego, trójkątnego, jego uogólnienia – rozkład TSP, rozkładu beta oraz rozkładu Weibulla [Poradowska, 2009b]. Poprawne określenie postaci rozkładu jest istotne, gdyż dla tych samych opinii ekspertów, różne rozkłady mogą dać odmienne prognozy, a długości przedziałów prognoz mogą znacznie się różnić. W przypadku gdy grupa ekspertów nie jest liczna lub nie ma dodatkowych przesłanek do podjęcia decyzji o wyborze odpowiedniego rozkładu, zaleca się założenie rozkładu trójkątnego lub prostokątnego, ze względu na to, iż otrzymane prognozy będą charakteryzowały się większym stopniem niepewności [Poradowska, 2009b]. W związku z tym w artykule przeanalizowano rozkład trójkątny wraz z jego uogólnieniem – rozkładem TSP. Funkcję gęstości rozkładu trójkątnego można wyrazić formułą:

$$f(x | a, w, b) = \begin{cases} \frac{2}{b-a} \cdot \frac{x-a}{w-a} & \text{dla } x \in [a, w] \\ \frac{2}{b-a} \cdot \frac{b-x}{b-w} & \text{dla } x \in (w, b] \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

a – minimalna wartość zmiennej,

w – wartość najbardziej prawdopodobna (modalna),

b – wartość maksymalna.

Dystrybuanta, wartość oczekiwana $E(X)$ oraz wariancja $V(X)$ zmiennej losowej o gęstości (1) mają następujące formuły:

$$F(x | a, w, b) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} \cdot \frac{x-a}{w-a} & \text{dla } x \in [a, w] \\ 1 - \frac{b-x}{b-a} \cdot \frac{b-x}{b-w} & \text{dla } x \in (w, b] \end{cases} \quad (2)$$

$$E(X) = \frac{a + w + b}{3} \quad (3)$$

$$V(X) = \frac{a^2 + w^2 + b^2 - ab - aw - bw}{18} \quad (4)$$

W niektórych sytuacjach, zamiast wartości parametrów a i b , wygodniej jest na podstawie opinii ekspertów określić dwa wybrane kwantyle rozkładu: a_p – kwantyl dolny rzędu p , b_q – kwantyl górny rzędu $(1 - q)$, wówczas a i b można wyznaczyć, rozwiązując układ równań wynikający z postaci dystrybuanty rozkładu trójkątnego [Poradowska, 2009a]:

$$\begin{cases} (a_p - a)^2 = p(b - a)(w - a) \\ (b - b_q)^2 = q(b - a)(b - w) \end{cases} \quad (5)$$

Zaletą rozkładu trójkątnego jest fakt, że można dla niego wyznaczyć analitycznie najkrótszy z przedziałów $[x_1, x_2]$, który z zadanyim prawdopodobieństwem p pokryje rzeczywistą wartość zmiennej¹. Przeprowadzając odpowiednie obliczenia [Poradowska, 2009a], otrzymujemy:

$$x_1 = a + (w - a)\sqrt{(1 - p)} \quad (6)$$

$$x_2 = b - (b - w)\sqrt{(1 - p)} \quad (7)$$

Długość przedziału $[x_1, x_2]$ wynosi:

$$\Delta = (b - a) \left[1 - \sqrt{(1 - p)} \right] \quad (8)$$

W literaturze występuje również pewne uogólnienie rozkładu trójkątnego, otrzymane poprzez dodanie do formuł rozkładu dodatkowego parametru n [zob. van Dorp i Kotz, 2002; Poradowska, 2009a] – rozkład TSP (a, b, w, n) – ang. *two-sided power distributions*.

Jego funkcja gęstości wyrażona jest następująco:

$$f(x | a, w, b, n) = \begin{cases} \frac{n}{b - a} \cdot \left(\frac{x - a}{w - a} \right)^{n-1} & \text{dla } x \in (a, w] \\ \frac{n}{b - a} \cdot \left(\frac{b - x}{b - w} \right)^{n-1} & \text{dla } x \in (w, b) \end{cases} \quad (9)$$

¹ Ten sposób postępowania koresponduje z regułą prognozy przedziałowej [zob. Pawłowski, 1973].

a przedział prognozy otrzymujemy z następujących wzorów:

$$x_1 = a + (w - a)(1 - p)^{\frac{1}{n}} \quad (10)$$

$$x_2 = b - (b - w)(1 - p)^{\frac{1}{n}} \quad (11)$$

W rozkładzie tym występuje dodatkowy parametr kształtu n . Gdy $n = 1$, rozkład ten sprowadza się do rozkładu prostokątnego na przedziale $[a, b]$. Przy $n = 2$ rozkład TSP staje się rozkładem trójkątnym. Gdy $1 < n < 2$, wykres funkcji gęstości ma kształt „trójkąta o wypukłych bokach”, natomiast gdy $n > 2$ – mamy do czynienia z „trójkątem o wklęsłych bokach”. Za pomocą rozkładu TSP można opisać wiele kształtów rozkładów prawdopodobieństwa – jednomodalnych, „U-kształtnych” oraz „J-kształtnych” – wystarczy tylko odpowiednio dobrać parametr n [van Dorp i Kotz, 2002].

3. Zgodność opinii ekspertów a precyzja prognoz

W pierwszym etapie badań autor przedstawił mierniki oceny zgodności opinii ekspertów wraz z ich własnościami [Wójciak, 2015]. Wynika z nich, że zarówno współczynnik dyspersji, liczony ze wzoru:

$$h = \frac{k}{k-1} \left(1 - \sum_j f_j^2 \right), \quad h_r \in [0,1] \quad (12)$$

gdzie:

k – liczba wariantów dla r -tego pytania,
 f_j – częstość występowania j -tego wariantu wśród odpowiedzi,
 jak i współczynnik konkordancji:

$$W = \frac{12S}{n^2(k^3 - k)} \quad (13)$$

gdzie:

n – liczba ekspertów,
 k – liczba wariantów,
 S – wyraża się wzorem:

$$S = \sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^n x_{ij} - \bar{x} \right)^2 \quad (14)$$

są wrażliwe na zmiany w rozkładzie odpowiedzi ekspertów. Empiryczny rozkład odpowiedzi znacznie odchyła się od rozkładu jednostajnego. Oznacza to, że niewielkie różnice w odpowiedziach ekspertów mogą powodować duże różnice wartości współczynnika dyspersji [Wójciak, 2015]. W celach interpretacyjnych, na podstawie empirycznego rozkładu, zbudowanego na podstawie wszystkich możliwych kombinacji odpowiedzi ekspertów, wyznaczono wartości progowe współczynnika dyspersji, obliczając percentyle wyników [por. tab. 1]. Uzyskane wyniki pozwolą określić, czy w danym przypadku eksperci byli zgodni, czy też nie.

Tabela 1. Percentyle rozkładu wyników współczynnika dyspersji – skala nominalna

Wyszczególnienie	h k=5	h k=4	h k=3
Percentyl 10	0,658	0,540	0,444
Percentyl 25	0,766	0,687	0,644
Percentyl 50	0,851	0,793	0,788
Percentyl 75	0,909	0,880	0,896
Percentyl 90	0,946	0,933	0,960

h – współczynnik dyspersji liczony według wzoru (12),
k – liczba kategorii skali nominalnej.

Źródło: Obliczenia własne.

Zbudowana prognoza będzie pełniła swoje funkcje (preparacyjną, aktywizującą czy informacyjną) tylko i wyłącznie wtedy, gdy będzie ona wiarygodna i precyzyjna. Wiarygodnością prognozy nazywamy prawdopodobieństwo realizacji prognozy, co można formalnie wyrazić wzorem:

$$P(|Y_t - y_t^*| < \varepsilon) = \gamma_t \quad (15)$$

gdzie:

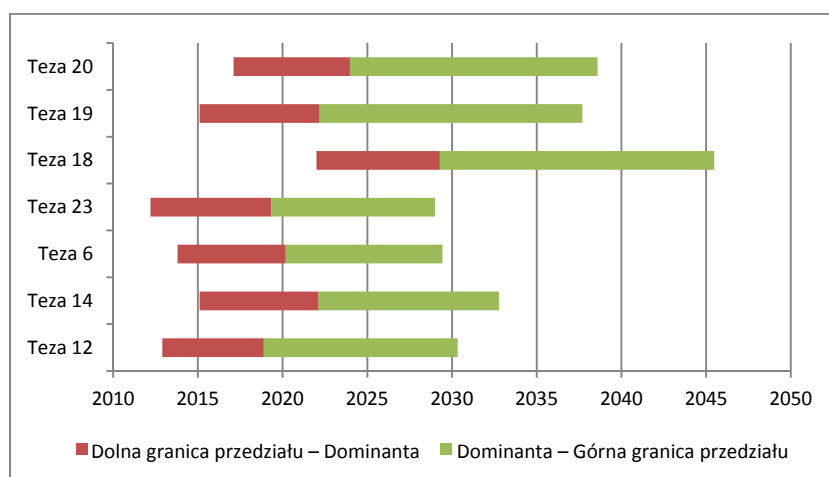
γ_t – prawdopodobieństwo, że zmienna Y przyjmie wartość bardzo bliską y_t^* .

W przypadku przedziału prognozy, jej wiarygodność odnosi się do zadanego prawdopodobieństwa, z którym skonstruowany przedział pokryje przyszłą, nieznaną wartość prognozowanej zmiennej.

Precyzję prognozy będziemy wyrażali błędem prognozy, zarówno *ex ante*, jak i *ex post*. W przypadku prognoz przedziałowych precyzja będzie zdefiniowana jako połowa szerokości oszacowanego przedziału [Zeliaś, Pawełek i Wanał, 2003]. Należy zwrócić uwagę, że w sytuacji prognoz przedziałowych uzyskanych za pomocą rozkładów prawdopodobieństwa subiektywnego otrzymujemy przedziały asymetryczne względem prognozy punktowej (por. rys. 1). Przykładowe

wyniki prognoz przedziałowych przedstawiono dla tez, które najsilniej wpływają na rozwój zeroemisyjnej gospodarki [por. Poradowska i Wójciak, 2011]:

1. TEZA 20. Rozwój małych źródeł wytwarzania (wiatraki, panele słoneczne) przyczyni się do wzrostu pewności zasilania w energię.
2. TEZA 19. Polska stanie się atrakcyjnym miejscem inwestowania w odnawialne źródła energii.
3. TEZA 18. W Polsce powszechnie użytkowane będą środki i formy transportu eliminujące emisję zanieczyszczeń do środowiska.
4. TEZA 23. Dobra sytuacja finansowa przedsiębiorstw sprzyja energooszczędnym inwestycjom.
5. TEZA 6. W Polsce powstaną warunki prawne i ekonomiczne, które będą sprzyjały badaniom naukowym w zakresie energetyki, wprowadzaniu nowych technologii energetycznych oraz nowych rozwiązań w zakresie oszczędności energii.
6. TEZA 14. Racjonalizacja zużycia energii w gospodarstwach domowych i w budownictwie mieszkaniowym zmniejszy emisję do środowiska.
7. TEZA 12. Polacy wybierają polityków dbających o oszczędność energii i ochronę środowiska.



Rys. 1. Przykładowe przedziały prognoz dla czasu realizacji wybranych tez

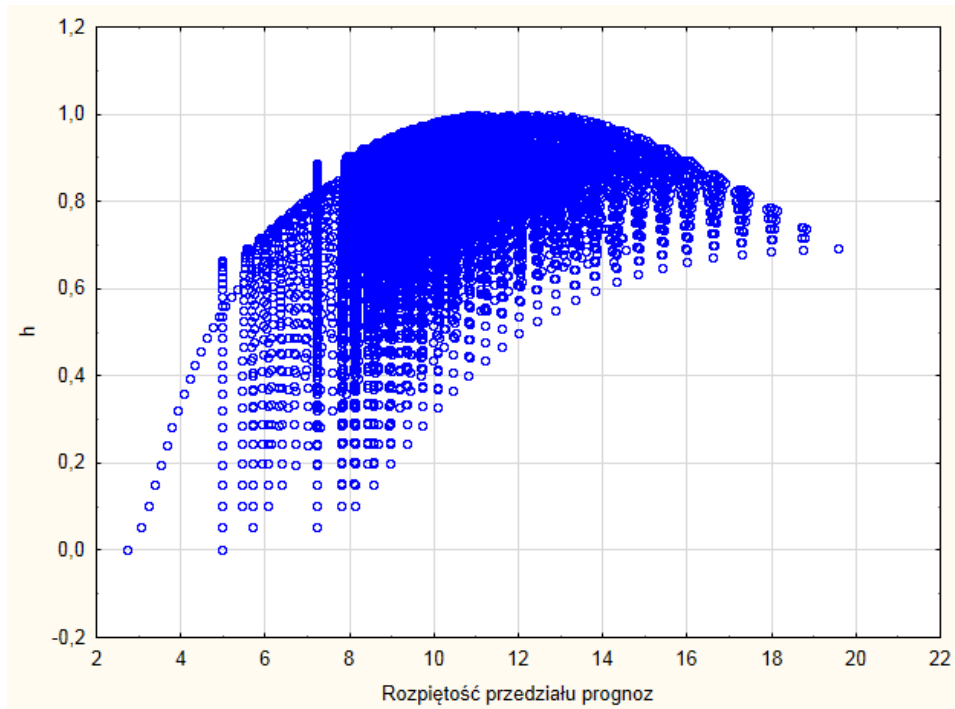
W przypadku gdy eksperci nie wykażą się dostateczną zgodnością swoich opinii, prognozy będą obarczone wysokim stopniem niepewności, a rozpiętość zbudowanych przedziałów prognoz będzie zbyt szeroka. W związku z tym autor badania sprawdził, czy można znaleźć wartości graniczne dla miar zgodności ekspertów, które pozwolą zbudować prognozy z dostatecznie wysoką precyzją.

4. Badania symulacyjne

Często w badaniach foresight pyta się ekspertów o czas wdrożenia tez podanych w badaniu Delphi. Pytanie to można uznać za kluczowe w całej ankiecie delfickiej. Najczęściej przedstawia się ekspertom kilka przedziałów do wyboru, np. do 2020 r.; w latach 2021-2030; w latach 2031-2040; po 2041 r. W związku z tym sprawdzono wpływ zgodności ekspertów na precyzję prognoz o różnym horyzoncie predykcji. W celu uniknięcia wpływu liczby ekspertów na rozkład wyników posłużono się odsetkiem ekspertów, którzy wskazali daną kategorię odpowiedzi. Rozpatrzono wszystkie możliwe kombinacje układu wyników odpowiedzi ekspertów z dokładnością do jednego procenta. W przypadku pytania z czterema kategoriami odpowiedzi takich przypadków było 8037. Z dalszych badań wykluczono przedziały, dla których odsetek odpowiedzi dla przedziału otwartego był wyższy niż 0,1 oraz przedziały, dla których uzyskano przedziały dwumodalne, gdyż dla nich układ odpowiedzi znacznie odbiegał od rozkładu trójkątnego.

Parametry rozkładów prawdopodobieństwa czasu realizacji zadanej tezy określano na podstawie hipotetycznych odpowiedzi ekspertów. Za wartość minimalną (a) prognozowanej zmiennej przyjęto 2015 r. Tam, gdzie było to możliwe, obliczono na podstawie odsetka odpowiedzi wartość najbardziej prawdopodobną zmiennej (w), stosując wzór interpolacyjny na dominantę. Dla wszystkich przypadków przyjęto wstępne założenie, że czas ich realizacji ma rozkład trójkątny i obliczono wartość maksymalną (b), wykorzystując w tym celu układ zależności (5).

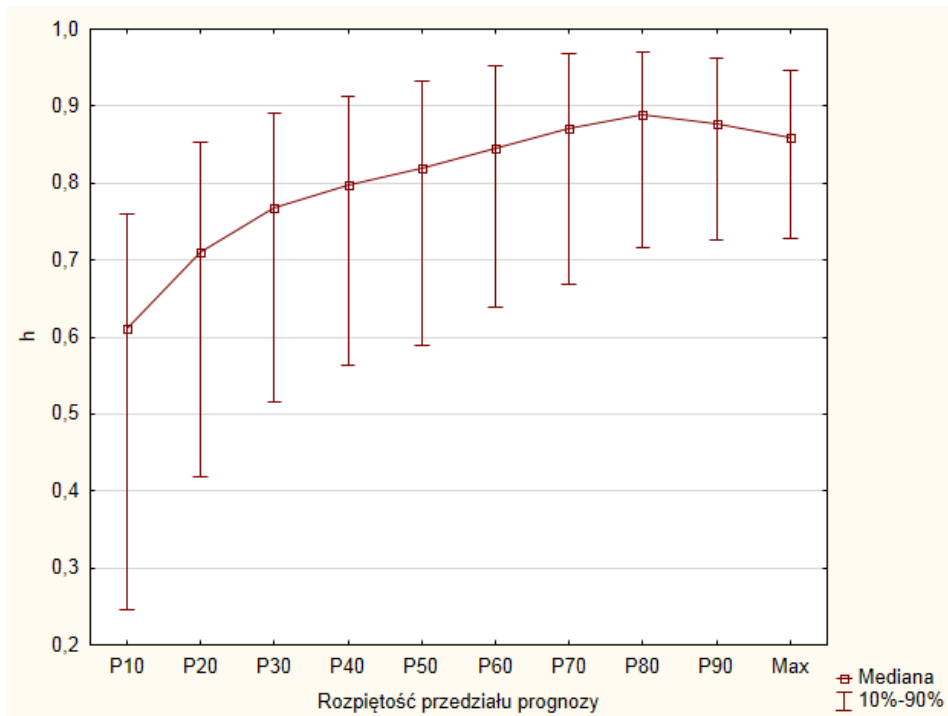
W zależności od układu odpowiedzi zastosowano rozkład trójkątny lub jego uogólnienie – rozkład TSP (a, w, b, n). Do wyznaczenia parametru n wykorzystano metodę największej wiarygodności [por. van Dorp i Kotz, 2002]. Wyniki przedstawiono graficznie na rys. 2.



Rys. 2. Zależność pomiędzy miarą zgodności opinii ekspertów a rozpiętością przedziałów prognoz

Na rys. 2 można zauważyć, że wraz ze wzrostem miary dyspersji (h), co świadczy o niższej zgodności opinii ekspertów, rośnie rozpiętość przedziałów prognoz. Jednak uzyskane wyniki nie są jednoznaczne. W przypadku miary zgodności o wartościach mniejszych od 0,2 rozpiętość przedziałów prognoz waha się pomiędzy 2,4 a 9. W przypadku maksymalnej wartości miary dyspersji rozpiętość przedziału prognoz wynosi 12. Jednak najwyższe rozpiętości przedziału prognoz, wynoszące powyżej 18, mają wartości miary dyspersji oscylujące wokół 0,75.

W związku z tym sprawdzono typowe rozpiętości dla zadanych wartości miary dyspersji. W tym celu skategoryzowano rozpiętości przedziałów prognoz, obliczając kolejne decyle rozkładu i porównano je z wartościami miary dyspersji. Wyniki przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Zależność pomiędzy miarą zgodności opinii ekspertów a statystykami pozycyjnymi rozpiętości przedziałów prognoz

Przeprowadzona analiza potwierdziła wcześniejsze przypuszczenia, iż otrzymane wyniki nie są jednoznaczne. Dodatnią zależność pomiędzy wartościami miary dyspersji i rozpiętością przedziałów można zauważyć jedynie do percentyla 80 rozpiętości przedziałów prognoz. W razie większych rozpiętości wartości miary h zaczynają maleć, co nie jest zgodne z oczekiwaniami. Obliczone przedziały wartości miary h na podstawie 10 i 90 percentyli rozkładu dla wyszczególnionych kategorii rozpiętości przedziałów prognoz pokrywają się. W przypadku kategorii rozpiętości P10 lewy kraniec przedziału wartości miary h wyniósł 0,25, a prawy – 0,76. Dla kategorii P20 granice wyniosły odpowiednio: 0,42 oraz 0,86. Oznacza to, że nie można jednoznacznie wyznaczyć wartości progowych wartości miary dyspersji, które mogłyby wskazać, że otrzymane prognozy będą charakteryzowały się wymaganą maksymalną rozpiętością odpowiadającą wymaganiom odbiorcy.

Podsumowanie

Przeprowadzona analiza nie pozwoliła na określenie jednoznacznych wartości progowych miary dyspersji, która umożliwiłaby uznanie prognoz przedziałowych, uzyskanych na podstawie opinii ekspertów, za dostatecznie precyzyjne. Po pierwsze, związek pomiędzy miarą dyspersji a rozpiętością prognoz nie jest jednoznaczny. Po początkowej dodatniej zależności pomiędzy tymi zmiennymi następuje punkt zwrotny i wraz z dalszym wzrostem rozpiętości przedziału wartości miary h maleją. Po drugie, nawet dla przypadków gdy ta zależność jest dodatnia, nie jest możliwe wyznaczenie wartości progowych, gdyż percentyle 10 i 90 możliwych wartości miary dyspersji są zbyt zróżnicowane i dla poszczególnych kategorii rozpiętości przedziałów prognoz zachodzą na siebie. Dalsze badania autora skupią się na sprawdzeniu, czy dla pozostałych rozkładów prawdopodobieństwa subiektywnego możliwa będzie kwantyfikacja zależności pomiędzy miarami zgodności opinii ekspertów a precyzją prognoz.

Literatura

- Dorp J.R. van, Kotz S. (2002), *A Novel Extension of the Triangular Distribution and its Parameter Estimation*, "The Statistician", 51, Part 1.
- Orzeł J. (2005), *Rola metod heurystycznych, w tym grupowej oceny ekspertów, oraz prawdopodobieństwa subiektywnego w zarządzaniu ryzykiem operacyjnym*, „Bank i Kredyt”, nr 5.
- Pawłowski Z. (1973), *Prognozy ekonometryczne*, PWN, Warszawa.
- Poradowska K.A. (2009a), *Możliwości wykorzystania rozkładu trójkątnego do konstrukcji prognoz punktowych i przedziałowych* [w:] J. Pociecha (red.), *Współczesne problemy statystyki, ekonometrii i matematyki stosowanej*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Kraków.
- Poradowska K.A. (2009b), *Prawdopodobieństwo subiektywne w prognozowaniu czasu zajścia nowych zdarzeń* [w:] Materiały wydane po XI Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Zarządzanie przedsiębiorstwem”, <http://www.worldcat.org/title/zarządzanie-przedsiębiorstwem-teoria-i-praktyka-xi-międzynarodowa-konferencja-naukowa-krakow-27-28-listopada-2008-r/oclc/751148424>
- Poradowska K., Wójciak M. (2009), *Uogólniony rozkład trójkątny w analizie wyników badania foresight* [w:] Acta Universitatis Nicolai Copernici, *Ekonomia XXXIX*, zeszyt specjalny: *Dynamiczne modele ekonometryczne*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń.
- Poradowska K., Wójciak M. (2011), *Stymulatory i bariery rozwoju gospodarki zeroemisyjnej w opinii społeczeństwa* [w:] *Modelowanie i prognozowanie gospodarki na-*

rodowej, Prace i Materiały Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Gdańskiego, zeszyt 4/8, Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, Sopot.

Wójciak M. (2015), *Metody oceny zgodności opinii ekspertów na potrzeby badania foresight*, „Studia Ekonomiczne”, nr 220.

Zeliaś A., Pawełek B., Wanat S. (2003), *Prognozowanie ekonomiczne – teoria, przykłady, zadania*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

INFLUENCE OF EXPERT OPINION COHERENCE ON PRECISION OF FORECASTS CONSTRUCTED

Summary: The research predominantly aims at verifying the extent to which expert should agree that the quantitative forecasts constructed by means of their opinions should be precise. Firstly, the measures of expert coherence applied along with their properties are presented. This allows for setting border measures of expert coherence. When the borders are reached, it is possible to assume that experts are coherence. Then, some attention is paid to the influence of expert opinion coherence on precision of forecasts constructed.

Keywords: foresight, expert opinion coherence, heuristic forecasting, forecast precision.