

STUDIA METODOLOGICZNE

Tomasz KLIMANEK
Marcin SZYMKOWIAK

Podejście kalibracyjne w badaniu losów absolwentów na przykładzie projektu „Kadry dla gospodarki”

Streszczenie. *Celem pracy jest przedstawienie zastosowania podejścia kalibracyjnego w badaniu losów absolwentów Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, realizowanego w ramach projektu „Kadry dla gospodarki”, w którym partnerem uczelni był Urząd Statystyczny w Poznaniu. Obowiązek przeprowadzenia badania nakładały na szkoły wyższe akty prawne dotyczące monitorowania przebiegu karier zawodowych absolwentów. Kluczowym problemem badania były przypadki niewzięcia w nim udziału absolwentów objętych monitorowaniem, co powodowało obciążenie uzyskanych wyników na skutek występowania błędu nielosowego.*

Wykorzystując kalibrację, stosowaną w badaniach reprezentacyjnych do korygowania wag wynikających ze schematu losowania próby, zaprezentowano, jak poprzez dobór odpowiednich zmiennych pomocniczych można zredukować ujemny wpływ braków odpowiedzi w pełnym badaniu losów absolwentów. W artykule szczegółowo przedstawiono zakres badania, teoretyczne podstawy kalibracji oraz opisano wykorzystanie zmiennych pomocniczych do budowy wag kalibracyjnych, które następnie mogły zostać uwzględnione w procesie tabulacji i graficznej prezentacji wyników. W artykule zaprezentowano również zagadnienia dotyczące oceny jakości precyzji uzyskanych wyników estymacji.

Słowa kluczowe: „Kadry dla gospodarki”, badanie losów absolwentów, kalibracja, braki odpowiedzi.

JEL: C13

w Poznaniu, było przeprowadzenie badania ankietowego losów absolwentów. Obowiązek monitorowania losów absolwentów nakładała na uczelnie znolizowana w 2011 r. ustawa — Prawo o szkolnictwie wyższym z dnia 8 marca 2011 r.¹. Obecnie — po kolejnej nowelizacji tej ustawy — tego rodzaju obserwację prowadzi Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego na podstawie danych ZUS (art. 13b ust. 2). Uczelniom pozostawiono jednak możliwość prowadzenia monitoringu karier zawodowych absolwentów w celu dostosowywania programu kształcenia do potrzeb rynku pracy².

W przypadku tego rodzaju badań jednym z najważniejszych problemów są braki danych, które mogą zniekształcić uogólnianie wyników dla populacji. Autorzy opracowania — związani z Urzędem Statystycznym i Uniwersytetem Ekonomicznym w Poznaniu — zaproponowali wykorzystanie podejścia kalibracyjnego w badaniu losów absolwentów. Takie podejście zastosowano m.in. do skorygowania wag z losowania w reprezentacyjnej części Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszkań w 2011 r. (Szymkowiak, 2014). Kalibracja jest również wykorzystywana w innych badaniach statystycznych, np. w EU-SILC³.

Głównym celem artykułu — obok przedstawienia idei kalibracji w badaniach z brakami odpowiedzi — jest szczegółowy opis doboru zmiennych kalibrujących oraz statystyczna analiza wag kalibracyjnych w badaniu losów absolwentów w ramach projektu „Kadry dla gospodarki”, uwzględniająca wybrane aspekty oceny jakości wyznaczonych wag⁴. Autorzy pragną podkreślić, że artykuł ma przede wszystkim charakter aplikacyjny i w swoim podejściu zastosowali procedurę kalibracji omówioną w pracy Wallgrena i Wallgren (2007). Jest to szczególny przypadek estymatora kalibracyjnego opisanego przez Särndala i Lundströma (2005).

KADRY DLA GOSPODARKI

To projekt UEP⁵, finansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, skierowany do wszystkich studentów studiów dziennych UEP mających obywatelstwo polskie. Za jego cel uznano poprawę

¹ „Art. 13a. Uczelnia monitoruje kariery zawodowe swoich absolwentów w celu dostosowania kierunków studiów i programów kształcenia do potrzeb rynku pracy, w szczególności po trzech i pięciu latach od dnia ukończenia studiów.” — <http://isip.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20110840455+2011%2410&min=1>.

² <http://isip.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20051641365>.

³ Europejskie badanie dochodów i warunków życia (*European Union Statistics on Income and Living Conditions*).

⁴ Autorzy skupili uwagę na analizie rozkładu oraz statystyce opisowej wag przed zastosowaniem procedury kalibracji i po niej. Podjęto również dyskusję na temat metody oceny precyzji uzyskanych oszacowań. W tym celu przedstawione zostały odpowiednie wzory na estymator wariancji estymatora kalibracyjnego wykorzystanego w badaniu losów absolwentów. W artykule pominięto ocenę obciążenia rozpatrywanego estymatora kalibracyjnego. Szczegółowe informacje na temat oceny obciążenia estymatorów kalibracyjnych w badaniach z brakami zamieszczono w monografii Särndala i Lundströma (2005).

⁵ Projekt był realizowany od 1.09.2010 do 30.09.2015 r.

szans absolwentów UEP na dynamicznie zmieniającym się rynku pracy poprzez zwiększenie udziału pracodawców w procesie kształcenia. Działania podjęte w ramach projektu zostały ukierunkowane na stworzenie studentom i absolwentom możliwości poszerzenia i pogłębienia wiedzy oraz umiejętności uzyskanych w czasie studiów, a także na zdobycie doświadczenia zawodowego. Projekt obejmował⁶:

- staże studenckie i absolwenckie, których głównym celem było zorganizowanie płatnych praktyk podnoszących kwalifikacje studentów u różnego rodzaju pracodawców (włączając w to partnera projektu — Urząd Statystyczny w Poznaniu), w wymiarze 180 godzin przez 3 miesiące;
- dodatkowe zajęcia z matematyki i fizyki, których podstawowym zadaniem było ugruntowanie i wyrównanie wiedzy studentów I roku na poziomie szkoły ponadgimnazjalnej w zakresie zgodnym z wymaganiami każdego kierunku studiów;
- udział pracodawców w dostosowaniu treści kształcenia do potrzeb rynku pracy, m.in. poprzez: wykłady otwarte (połączenie teorii z praktyką), warsztaty specjalistyczne z praktykami biznesu, badanie losów absolwentów oraz stopnia dostosowania umiejętności studentów do potrzeb przyszłych pracodawców;
- rozszerzenie oferty Biura Karier UEP o działalność związaną z doradztwem i pośrednictwem w znalezieniu pracy, badaniem profilu potencjału zawodowego itp.;
- otwarcie i prowadzenie kierunku studiów „Gospodarka turystyczna”;
- dostosowanie infrastruktury edukacyjnej do potrzeb osób niepełnosprawnych.

BADANIE LOSÓW ABSOLWENTÓW

Jednym z kluczowych działań w ramach projektu „Kadry dla gospodarki” był, jak wspomniano wcześniej, udział pracodawców w dostosowaniu treści kształcenia do potrzeb rynku pracy. Ten element projektu obejmował: organizację wykładów otwartych, warsztatów prowadzonych przez pracodawców, analizy stopnia dostosowania umiejętności studentów do potrzeb przyszłych pracodawców, badania losów absolwentów itp.

Ważną częścią projektu „Kadry dla gospodarki” było badanie losów absolwentów, co — jak już wspomniano — wynikało z obowiązujących wówczas aktów prawnych. Uczelnie zainteresowane były tym, jak wiedzie się na rynku pracy ich absolwentom, na ile wiedza zdobyta podczas studiów jest przydatna w pracy zawodowej oraz jakie otrzymują wynagrodzenia. Informacje te pomagają uczelniom w dostosowywaniu treści programowych do dynamicznie zmieniających się warunków na rynku pracy.

⁶ Szczegółowe informacje na temat projektu „Kadry dla gospodarki” można znaleźć na stronie www.kdg.ue.poznan.pl.

Badaniem losów absolwentów UEP objęto wszystkich studentów studiów stacjonarnych I i II stopnia. Samo badanie przebiegało wieloetapowo, a absolwentów pytano o rozmaite kwestie dotyczące przede wszystkim ich aktywności zawodowej, mobilności zawodowej i przestrzennej, statusu na rynku pracy, kompetencji nabytych w czasie studiów i wykorzystywanych w pracy zawodowej oraz oceny uczelni i jakości kształcenia na UEP.

Bezpośrednio po ukończeniu studiów absolwenci wypełniali pierwszą ankietę, wyrażając przy okazji zgodę na udział w dalszym badaniu. Drugie badanie przeprowadzono rok po ukończeniu studiów, kolejne — trzy lata po studiach, a następne pięć lat po ukończeniu UEP. W badaniu wykorzystano specjalnie utworzony kwestionariusz ankietowy w programie IBM SPSS Data Collection, a każdy absolwent otrzymywał e-mail z linkiem kierującym do formularza znajdującego się na serwerze UEP. Szczegółowy opis metodologii badania podają Białowas, Buttler, Klimanek i Szwarz (2012).

DYLEMATY DOTYCZĄCE BADANIA LOSÓW ABSOLWENTÓW

Badanie losów absolwentów UEP było z założenia badaniem pełnym — objęto nim wszystkich studentów studiów stacjonarnych I i II stopnia⁷. Jak każde badanie prowadzone drogą internetową (CAWI — Computer Assisted Web Interviewing) ma swoje zalety i wady. Do zalet można zaliczyć relatywnie niskie koszty oraz szybkość uzyskania wyników, z kolei do wad — niski wskaźnik odpowiedzi, co może wpływać na obciążenie uzyskanych szacunków⁸. Problem ten, choć niewątpliwie bardzo ważny, nie będzie jednak w artykule poruszany⁹. Wynika to z przyjętego charakteru badania, a ponadto badacze dysponowali informacjami na temat kilku ważnych cech wszystkich absolwentów (takich jak płeć, ukończony wydział czy średnia ze studiów). Kluczowym problemem, jaki należało rozwiązać w tym badaniu, były niewypełnione ankiety (braki danych) niektórych absolwentów. Wynikać to mogło z wielu przyczyn, do których można zaliczyć: zmianę adresu e-mailowego absolwenta, niechęć do wzięcia udziału w badaniu lub brak czasu czy nieodczytanie wiadomości zachęcającej do wzięcia udziału w badaniu (np. wskutek przechwycenia jej przez filtr antyspamowy).

Tablica 1 pokazuje udział absolwentów studiów II stopnia w dwóch edycjach badania ich losów zawodowych.

⁷ Procedura wyznaczania wag kalibracyjnych, a także przedstawione wyniki dotyczą jedynie absolwentów studiów II stopnia.

⁸ Należy zwrócić uwagę, że w przypadku badań losów absolwentów ten wskaźnik jest dosyć wysoki i przede wszystkim wynika z więzi, jaka w tego typu badaniach łączy respondentów i uczelnie.

⁹ Czytelnika zainteresowanego zagadnieniami związanymi z brakami danych, ich wpływem na estymację nieznanymi parametrów, a także metodami ograniczania oddziaływania tego rodzaju błędów nielosowych odsyłamy do bogatej literatury przedmiotu (Särndal i Lundström, 2005, 2008; Kott, 2016).

**TABL. 1. UDZIAŁ ABSOLWENTÓW UEP W BADANIU LOSÓW
ABSOLWENTÓW STUDIÓW II STOPNIA W LATACH 2012—2014**

Edycja	Razem	Niewzięcie udziału w badaniu	Częściowe wypełnienie ankiety	Całkowite wypełnienie ankiety
W liczbach bezwzględnych				
2012/13	696	170	76	450
2013/14	1073	395	135	543
W odsetkach				
2012/13	100,0	24,4	10,9	64,7
2013/14	100,0	36,8	12,6	50,6

Źródło: opracowanie własne.

Z tabl. 1 wynika, że ok. 25% absolwentów UEP nie wzięło udziału w badaniu w edycji 2012/13. Z kolei w edycji 2013/14 nie udało się uzyskać informacji od blisko 37% z nich. Należy jednak podkreślić, że dysponowano pewnymi informacjami dotyczącymi absolwentów, którzy nie uczestniczyli w badaniu (takimi jak płeć, średnia ze studiów czy rodzaj ukończonego wydziału/kierunku). Było to szczególnie istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania kalibracji do uogólniania wyników, o czym będzie mowa w dalszej części artykułu.

Można również zauważyć, że niektórzy absolwenci biorący udział w badaniu tylko częściowo wypełnili ankietę. Takich ankiet — w stosunku do całości — nie było jednak zbyt dużo. Braki odpowiedzi dotyczyły zazwyczaj pojedynczych punktów.

Naturalnym pytaniem, które należało sobie postawić, było to, w jaki sposób radzić sobie w badaniu z absolwentami, którzy z różnych powodów nie wzięli w nim udziału. Oprócz prób ponownego kontaktu drogą e-mailową, zasadne wydawało się wykorzystanie statystycznych technik niwelowania ujemnego wpływu braków odpowiedzi, do których można zaliczyć imputację czy metody polegające na ważeniu. W ankietowaniu, obok nielicznych pozycyjnych braków danych (*item nonresponse*), występowały także liczne braki danych dla całych rekordów (*unit nonresponse*), dlatego ostatecznie zdecydowano się skorzystać z kalibracji, która jest jedną z metod wykorzystywanych w badaniach statystycznych z brakami odpowiedzi (Piasecki, 2014).

TEORETYCZNE PODSTAWY KALIBRACJI

W badaniach statystycznych (zarówno częściowych, jak i pełnych) odmowy i braki odpowiedzi stanowią jedno z najważniejszych źródeł błędów nielosowych. Zmniejszają one efektywną liczebność próby, zniekształcają rozkłady analizowanych zmiennych, powodują występowanie obciążenia szacowanych parametrów, a także zwiększają wariancję wykorzystywanych estymatorów, przez co zmniejsza się precyzja oszacowań.

Jedną z metod umożliwiających redukcję obciążenia i zwiększenie precyzji szacunku na skutek występowania braków informacji jest kalibracja, której podstawy teoretyczne zostały zaproponowane przez Deville'a i Särndala (1992).

Zgodnie z definicją zaproponowaną przez Särndala i Lundströma (2005) kalibracja to metoda polegająca na korygowaniu wag wyjściowych wynikających ze schematu losowania próby, tak aby spełnione były odpowiednie równania kalibracyjne w odniesieniu do zmiennych pomocniczych. W wyniku jej zastosowania najczęściej udaje się zredukować obciążenie i wariancję estymatorów wykorzystywanych w uogólnianiu wyników.

W klasycznym ujęciu wyznaczanie wag kalibracyjnych oparte jest na odpowiednio dobranej funkcji odległości, która minimalizuje odległość między wyjściowymi wagami wynikającymi ze schematu losowania próby a tzw. wagami kalibracyjnymi (Särndal, 2007). Wykorzystuje się przy tym najczęściej funkcję odległości opartą na tzw. metryce chi-kwadrat. W dalszej części artykułu kalibracja zostanie opisana od strony teoretycznej¹⁰.

Niech dana będzie N -elementowa populacja $U = \{1, \dots, N\}$. Z populacji tej losujemy zgodnie z określonym schematem losowania n -elementową próbę $s \subseteq U$. Niech π_i oznacza prawdopodobieństwo inkluzji i -tej jednostki do próby, tzn. $\pi_i = \sum_{s \in A(k)} P(s)$, gdzie $P(s)$ oznacza rozkład prawdopodobieństwa określony dla prób Ω , który dla każdej $s \in \Omega$ spełnia warunki $P(s) \geq 0$ i $\sum_{s \in \mathcal{T}} P(s) = 1$ oraz $A(k) = \{s : k \in s\}$. Niech ponadto d_i będzie wagą odpowiadającą jednostce i , czyli $d_i = \frac{1}{\pi_i}$.

Żałujemy, że celem badania jest oszacowanie wartości globalnej pewnej zmiennej y , określonej wzorem:

$$Y = \sum_U y_i \quad (1)$$

gdzie y_i — wartość zmiennej y dla i -tej jednostki badania, $i = 1, \dots, N$.

Klasycznym estymatorem wartości globalnej (1) jest znany z metody reprezentacyjnej estymator Horvitz-Thompsona, który wyraża się wzorem:

$$\hat{Y}_{HT} = \sum_s d_i y_i \quad (2)$$

¹⁰ Autorzy rozważają szczególnie przypadek estymatora kalibracyjnego wartości globalnej dla tzw. funkcji odległości chi-kwadrat. Zarówno w części teoretycznej, jak i empirycznej rozpatrują możliwość jego modyfikacji w badaniach pełnych poprzez odpowiednie przyjęcie wag wyjściowych d podlegających procesowi kalibracji. Literatura z zakresu estymacji w badaniach statystycznych z brakami odpowiedzi i odpowiednim wykorzystaniem zmiennych pomocniczych w konstrukcji poszczególnych estymatorów jest jednak niezwykle bogata i znacznie wykracza poza ramy niniejszego opracowania. Szczegółowy opis estymatorów wykorzystujących zmienne pomocnicze na potrzeby estymacji parametrów w badaniach statystycznych z brakami odpowiedzi zainteresowany Czytelnik znajdzie w wielu pracach (m.in. Särndal, Swensson i Wretman, 1992; Chang i Kott, 2008, 2010).

Jeżeli nie są znane wszystkie wartości zmiennej y dla jednostek wylosowanych do próby (np. na skutek braków odpowiedzi), estymator Horvitz-Thompsona może charakteryzować się znacznym obciążeniem i dużą wariancją. Wynika to na ogół z faktu, że braki informacji nie mają charakteru czysto losowego, a powstałe błędy są konsekwencją różnic pomiędzy respondentami i nierespondentami (w naszym badaniu pomiędzy absolwentami, którzy zdecydowali się wziąć udział w badaniu, a tymi, którzy z różnych powodów tego nie zrobili). Zmniejsza się ponadto efektywna liczebność próby, co w konsekwencji powoduje, że sumowanie we wzorze (2) nie odbywa się po zbiorze wszystkich jednostek, które miały wziąć udział w badaniu, a tylko po zbiorze respondentów $r \subseteq s$. Zakładać przy tym będziemy, że jest to zbiór m -elementowy, przy czym $m \leq n$. W efekcie ważona suma (2) jest najczęściej niedoszacowana w stosunku do prawdziwej wartości (1). Wagi d_i powinny zatem zostać odpowiednio skorygowane (skalibrowane), aby zredukować obciążenie wynikające z braków odpowiedzi.

Oznaczmy przez w_i poszukiwaną wagę (tzw. wagę kalibracyjną) odnoszącą się do i -tego respondenta, $i=1, \dots, m$. Naszym celem jest poszukanie wag w_i w taki sposób, aby były możliwie jak najbliższe, co do wartości, wyjściowym wagom d_i i aby zmniejszały obciążenie będące konsekwencją występowania braków odpowiedzi. Konstrukcja wag kalibracyjnych uzależniona jest od wyboru odpowiedniej funkcji odległości. W literaturze przedmiotu — na potrzeby wyznaczania wag kalibracyjnych — przyjmuje się najczęściej tzw. funkcję odległości chi-kwadrat:

$$D(\mathbf{w}, \mathbf{d}) = \sum_r \frac{(w_i - d_i)^2}{d_i} \quad (3)$$

gdyż umożliwia to uzyskanie wektora wag kalibracyjnych w jawnej postaci. Można pokazać (Deville i Särndal, 1992; Szymkowiak, 2007), że dla tej funkcji odległości składowe wektora wag kalibracyjnych wyrażają się wzorem:

$$w_i = d_i + d_i (\mathbf{X} - \hat{\mathbf{X}})^T \left(\sum_r d_i \mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^T \right)^{-1} \mathbf{x}_i \quad (4)$$

przy czym \mathbf{X} to wektor utworzony z wartości globalnych zmiennych pomocniczych x_1, \dots, x_k , czyli

$$\mathbf{X} = \left(\sum_U x_{i1}, \sum_U x_{i2}, \dots, \sum_U x_{ik} \right)^T \quad (5)$$

\hat{X} jest wektorem złożonym z oszacowanych wartości globalnych zmiennych pomocniczych:

$$\hat{X} = \left(\sum_r d_i x_{i1}, \sum_r d_i x_{i2}, \dots, \sum_r d_i x_{ik} \right)^T \quad (6)$$

a

$$\mathbf{x}_i = (x_{i1}, \dots, x_{ik})^T \quad (7)$$

jest wektorem złożonym z wartości wszystkich k zmiennych pomocniczych dla i -tego respondenta, $i=1, \dots, m$. Estymator kalibracyjny wartości globalnej (1) wyraża się wówczas wzorem:

$$\hat{Y}_X = \sum_r w_i y_i \quad (8)$$

Jedną z zalet, wyznaczonych na podstawie funkcji odległości (3) wag kalibracyjnych (4), jest możliwość uzyskania ich wprost ze wzoru. Wagi te jednak w pewnych sytuacjach wykazują niepożądane właściwości, np. mogą być ujemne dla niektórych respondentów bądź odstające (tzn. znacznie różnić się od wag wyjściowych wynikających ze schematu losowania próby). Na wagi¹¹ zatem nakłada się czasami warunki ograniczające — wymusza się, aby znajdowały się w pewnym z góry określonym przedziale, co zapobiega występowaniu wag ujemnych i odstających. Takie podejście zazwyczaj nie zapewnia uzyskania wag w jawnej postaci i zachodzi potrzeba korzystania z metod iteracyjnych w poszukiwaniu wektora wag kalibracyjnych. Problem ten omówili Deville i Särndal (1992).

Kluczową kwestią w odniesieniu do estymatora kalibracyjnego wyrażonego wzorem (8) jest ocena jego wariancji. W monografii Särndala i Lundströma (2005) zagadnieniu temu poświęcono cały rozdział. Zgodnie z ich propozycją estymator wariancji estymatora kalibracyjnego (8) może być wyrażony jako:

$$\hat{V}(\hat{Y}_X) = \hat{V}_{sam} + \hat{V}_{nr} \quad (9)$$

¹¹ Dokładniej na iloraz wag kalibracyjnych w_i i wag wynikających ze schematu losowania próby d_i , czyli w_i/d_i .

Estymator wariancji (9) uwzględnia zatem w swojej konstrukcji dwa źródła losowości — będące konsekwencją planu losowania oraz rozkładu generowanego przez braki odpowiedzi. Pierwszy z komponentów można opisać następującym wzorem:

$$\hat{V}_{sam} = \sum_r \sum_r (d_i d_j - d_{ij}) (v_i \hat{e}_i) (v_j \hat{e}_j) - \sum_r d_i (d_i - 1) v_i (v_i - 1) (\hat{e}_i)^2 \quad (10)$$

a drugi jako:

$$\hat{V}_{nr} = \sum_r v_i (v_i - 1) (d_i \hat{e}_i)^2 \quad (11)$$

gdzie:

$$\hat{e}_i = y_i - \mathbf{x}_i^T \left(\sum_r d_i v_i \mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^T \right)^{-1} \left(\sum_r d_i v_i \mathbf{x}_i y_i \right) \quad (12)$$

$$v_i = 1 + \lambda_r^T \mathbf{x}_i \quad (13)$$

$$\lambda_r^T = (\mathbf{X} - \hat{\mathbf{X}})^T \left(\sum_r d_i \mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^T \right)^{-1} \quad (14)$$

$d_{ij} = 1 / \pi_{ij}$, a π_{ij} oznacza prawdopodobieństwo inkluzji drugiego rzędu.

Przedstawione rozważania dotyczące estymatora kalibracyjnego wartości globalnej (8) oraz jego wariancji (9) można przenieść w dość łatwy sposób na przypadek estymacji wartości globalnej w odpowiednich domenach. Przykładowo, możemy być zainteresowani oszacowaniem charakterystyki absolwentów według wydziałów, które definiują domeny. Załóżmy w dalszym ciągu, że $U_1, U_2, \dots, U_q, \dots, U_Q$ oznaczają odpowiednie domeny. Celem jest oszacowanie wartości globalnej Y_q zmiennej y w każdej domenie oddzielnie, $q=1, 2, \dots, Q$.

Wartość globalną zmiennej y w odpowiedniej domenie można zdefiniować w następujący sposób:

$$Y_q = \sum_U y_{qi} \quad (15)$$

gdzie

$$y_{qi} = \begin{cases} y_i & \text{dla } i \in U_q \\ 0 & \text{dla } i \in U / U_q \end{cases} \quad (16)$$

Estymatorem kalibracyjnym wartości globalnej (15) w domenie U_q jest zatem statystyka postaci:

$$\hat{Y}_q = \sum_U w_i y_{qi} = \sum_{U_q} w_i y_i \quad (17)$$

gdzie y_{qi} zdefiniowano wzorem (16). Estymator wariancji estymatora kalibracyjnego wartości globalnej w domenie można przedstawić w postaci wzoru (9), zastępując y_i poprzez y_{qi} . Wartości reszt zdefiniowanych w równaniu (12) stają się zatem uzależnione od domeny, do której należy wylosowana do próby jednostka badania (Särndal i Lundström, 2005).

Opisana procedura wyznaczania wag kalibracyjnych dotyczyła sytuacji, w której występowały braki danych, ale dysponowaliśmy informacjami z badania reprezentacyjnego, tzn. istniały wagi wyjściowe d_i wynikające ze schematu losowania próby. W badaniach pełnych (takich jak spisy czy omówione w artykule badanie losów absolwentów) również mamy do czynienia z problemem braków danych, więc zastosowanie właściwych metod ważenia jest szczególnie ważne z punktu widzenia końcowych wyników. Możliwość wykorzystania podejścia kalibracyjnego w badaniach pełnych z brakami danych, których obecność jest konsekwencją niewzięcia udziału w badaniu części respondentów, polega na zastosowaniu odpowiedniego sposobu konstrukcji wyjściowych wag d_i podlegających kalibracji. W tego typu badaniach nie dokonuje się losowania próby. W badaniach pełnych, z uwagi na to, że badana jest cała populacja, każdej jednostce z tej populacji można zatem przypisać wagę równą 1, czyli $d_i = 1$ dla $i = 1, \dots, N$. Dotyczy to zarówno sytuacji, gdy wszystkie jednostki z populacji uczestniczą w badaniu, jak i przypadku, w którym część jednostek odmawia bądź z innych powodów nie bierze w nim udziału. W sytuacji gdy mamy do czynienia z brakami danych będącymi konsekwencją niewzięcia udziału w badaniu, można postąpić jednak w następujący sposób: wszystkim jednostkom nieprzystępującym do badania przypisać wagę 0 i pozostawić wagi 1 pozostałym. Tak ustalony wektor wag można następnie poddać procesowi przeważania, korzystając z opisanej idei podejścia kalibracyjnego. Zabieg ten umożliwi publikację końcowych tabel czy wykresów bez kategorii „brak danych” dla wielu zmiennych, z wyjątkiem zmiennych, w odniesieniu do których dla niektórych jednostek biorących udział w badaniu stwierdzono występowanie pozycyjnych braków danych.

Algorytm wyznaczania wag kalibracyjnych w badaniach pełnych, w których mamy do czynienia z zagadnieniem braków danych wraz z egzemplifikacją, został szczegółowo omówiony przez Wallgrena i Wallgren (2007). Można go również znaleźć w publikacji Józefowskiego i Szymkowiaka (2012). W tym artykule zostaną przedstawione najważniejsze kroki procedury wyznaczania wag kalibracyjnych dla badania pełnego, w którym z różnych powodów nie bierze udziału część jednostek:

1. Ustalenie wyjściowych wag d_i , które podlegać będą procesowi kalibracji. Wagi d_i ustala się w następujący sposób:

$$d_i = \begin{cases} 1 & \text{dla } i \in r \\ 0 & \text{dla } i \notin r \end{cases} \quad (18)$$

We wzorze (18) r oznaczać będzie zbiór respondentów. W przypadku badania losów absolwentów UEP, r oznacza tych absolwentów, którzy zdecydowali się wziąć udział w badaniu i wypełnić kwestionariusz ankietowy w wersji elektronicznej (zbiór ten obejmuje zarówno tych, którzy wypełnili cały kwestionariusz, jak i tych, którzy odpowiedzieli tylko na niektóre pytania). Dla przykładu, w edycji 2012/13 zbiór r składał się z 526 absolwentów, a w edycji 2013/14 — z 678 (por. tabl. 1).

2. Wybór zmiennych pomocniczych x_1, \dots, x_k , które zostaną wykorzystane do konstrukcji wektora X złożonego z ich wartości globalnych.
3. Wyznaczenie wag kalibracyjnych w_i , np. przy wykorzystaniu wzoru (4), oraz posłużenie się nimi w procesie estymacji — uogólniania wyników na całą zbiorowość.
4. Wykorzystanie wyznaczonych wag kalibracyjnych w_i do obliczenia wartości ocen średnich błędów szacunku — pierwiastka z $\hat{V}(\hat{Y}_X)$ — oraz oceny względnego błędu szacunku CV określonego w następujący sposób:

$$CV = \frac{\sqrt{\hat{V}(\hat{Y}_X)}}{\hat{Y}_X} \quad (19)$$

z wykorzystaniem wzoru (9) na estymator wariancji estymatora kalibracyjnego. Należy przy tym zwrócić uwagę, że ze względu na fakt, iż badanie losów absolwentów jest badaniem obejmującym pełną populację, oceny średnich błędów szacunku mierzyć będą precyzję oszacowań uwzględniającą jedynie losowość estymatora wynikającą z faktu istnienia braków odpowiedzi. W tym celu na potrzeby estymacji wariancji estymatora kalibracyjnego można skorzystać z drugiego składnika we wzorze (9), pomijając źródło losowości wynikające z planu losowania, czyli skorzystać jedynie ze wzoru (11).

PROCEDURA BADAWCZA KALIBRACJI WAG W BADANIU LOSÓW ABSOLWENTÓW STUDIÓW II STOPNIA

Jak wcześniej wspomniano, w badaniu losów absolwentów nie zastosowano schematu losowania próby — objęto nim wszystkich absolwentów UEP. Niestety z różnych powodów nie wszyscy absolwenci wzięli w nim udział.

Ze względu na to, że znane były informacje o płci, ukończonym wydziale czy kierunku i średniej ocen wszystkich absolwentów, a także o tym, czy w trak-

cie studiów wykonywali pracę, czy nie¹², możliwe stało się jednak wykorzystanie tych informacji w charakterze zmiennych pomocniczych. W pierwszej kolejności utworzono jednak wektor wag wyjściowych d , zgodnie z opisaną wcześniej procedurą. Wagi wyjściowe podlegające kalibracji zostały utworzone w następujący sposób — dychotomiczna waga początkowa przyjmująca wartość 1 dla wszystkich absolwentów, którzy wzięli udział w badaniu (respondenci), oraz wartość 0 dla tych, którzy w nim nie uczestniczyli. W kolejnym kroku dokonano wyboru zmiennych pomocniczych, które w podejściu kalibracyjnym odgrywają szczególną rolę. Ze względu na dostępność pewnych informacji dla wszystkich absolwentów zdecydowano się ostatecznie wykorzystać w charakterze zmiennych pomocniczych następujące cechy:

- płeć,
- średnią ocen ze studiów (przyjęto dwa warianty: średnia do 4,1 oraz średnia powyżej 4,1),
- ukończony wydział (Wydział Towaroznawstwa — WT, Wydział Informatyki i Gospodarki Elektronicznej — WIGE, Wydział Zarządzania — WZ, Wydział Ekonomii — WE oraz Wydział Gospodarki Międzynarodowej — WGM).

Wyboru tego zestawu zmiennych kalibrujących spośród zmiennych dostępnych dla wszystkich absolwentów dokonano na podstawie analizy ich siły różnicowania zbiorowości na respondentów i nierespondentów. W tym celu posłużono się testem niezależności chi-kwadrat, przy czym w przypadku średniej oceny ze studiów oraz ukończonego wydziału dokonano odpowiedniej dychotomizacji rozważanych pierwotnie zmiennych¹³. Wymienione zmienne charakteryzowały się największymi wartościami mierników asocjacji z faktem zaklasyfikowania absolwenta jako respondenta lub nierespondenta. Na potrzeby kalibracji zastosowano makro CALMAR napisane w języku 4GL w programie SAS. Informacje na ten temat, które wykorzystano również w kalibracji wag w Narodowym Spisie Powszechnym Ludności i Mieszkań 2011, można znaleźć w artykule Szymkowiaka (2014). Dzięki zastosowaniu opisaney procedury kalibracji możliwe było odtworzenie struktury populacji absolwentów studiów II stopnia UEP określonych przez kombinacje zmiennych kalibrujących¹⁴.

Tablica 2 przedstawia statystykę opisową wag wyjściowych d_i oraz wag kalibracyjnych w_i w badaniu losów absolwentów studiów II stopnia w edycji 2013/14. Dokonując analizy zawartych tam danych, można zauważyć, że wyznaczone wagi kalibracyjne sumują się do liczby absolwentów studiów II stopnia UEP edycji 2013/14 (por. tabl. 1). Co więcej, wagi te odtwarzają znane li-

¹² Projekt „Kadry dla gospodarki” nakładał na każdego studenta obowiązek wypełnienia odpowiedniej ankiety. W badaniu losów absolwentów możliwe było zatem połączenie informacji z kwestionariusza ankietowego wysyłanego drogą e-mailową z danymi pochodzącymi z tej ankiety oraz z danymi z dziekanatów poszczególnych wydziałów (np. na temat płci czy średniej).

¹³ Wśród tych zmiennych były m.in.: specjalność studiów, perspektywa czasowa dotycząca podjęcia pracy po studiach czy minimalna akceptowalna płaca.

¹⁴ De facto oznaczało to spełnienie tzw. równań kalibracyjnych stanowiących fundament teorii kalibracji.

czebności według płci, ukończonego wydziału oraz średniej ocen, a także w ich przekrojach. Skoro odtwarzają one znane wartości ogólne dla całej zbiorowości absolwentów studiów II stopnia w odniesieniu do wybranych zmiennych pomocniczych, to zgodnie z ideą kalibracji powinny niwelować negatywny wpływ braków odpowiedzi na obciążenie i wariancję uzyskanych szacunków (Särndal i Lundström, 2005, s. 56—58) dla zmiennych, które podlegały pomiarowi w elektronicznym kwestionariuszu ankietowym, a były znane tylko w odniesieniu do respondentów.

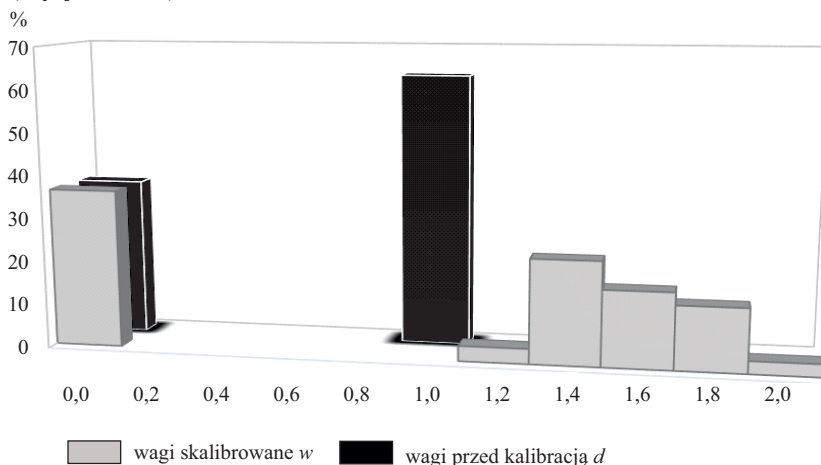
TABL. 2. STATYSTYKA OPISOWA WAG WEJŚCIOWYCH d_i I KALIBRACYJNYCH w_i W BADANIU LOSÓW ABSOLWENTÓW STUDIÓW II STOPNIA W EDYCJI 2013/14

Wagi	Minimum	Maksimum	Mediana	Suma	Średnia
Oryginalna d_i	0	1	1	678	0,63
Kalibracyjna w_i	0	2	1,46	1073	1

Źródło: jak przy tabl. 1.

Uzupełnieniem informacji zawartych w tej tablicy jest wykr. 1 obrazujący rozkład wag przed kalibracją i po jej zastosowaniu. Ograniczono się przy tym do przedstawienia rozkładu wag d_i oraz w_i z badania losów absolwentów studiów II stopnia (edycja 2013/14).

Wykr. 1. ROZKŁAD WAG WYJŚCIOWYCH d_i ORAZ WAG SKALIBROWANYCH w_i W BADANIU LOSÓW ABSOLWENTÓW STUDIÓW II STOPNIA UEP (edycja 2013/14)^a



^a Wartości na osi odciętych oznaczają środki odpowiednich przedziałów.

Źródło: opracowanie własne.

Po zastosowaniu kalibracji zmianie ulega rozkład wag. Warto zauważyć, że absolwenci, którzy nie wzięli udziału w badaniu i mieli przypisaną wagę wyjściową $d=0$, również po kalibracji mają taką samą wagę. Zmianie ulegają tylko wagi przypisane do absolwentów biorących udział w badaniu (respondentów), którym wstępnie ustalono wagę $d=1$.

WYNIKI BADANIA LOSÓW ABSOLWENTÓW STUDIÓW II STOPNIA UEP

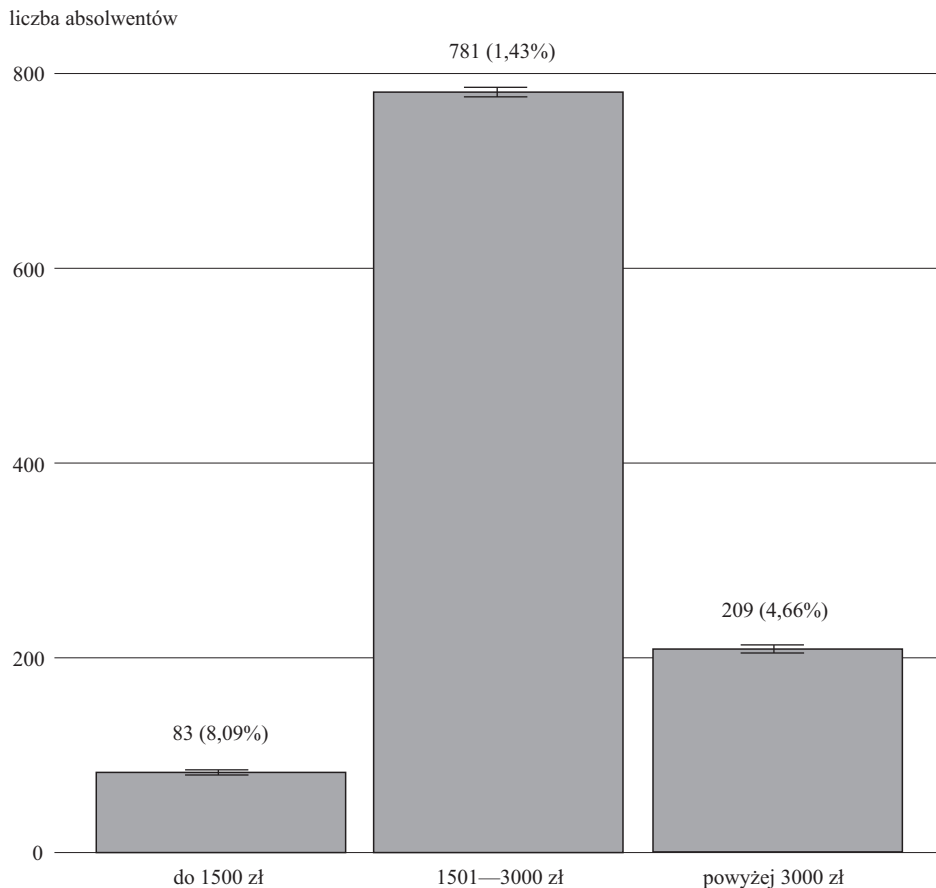
Wyznaczenie wag kalibracyjnych powinno umożliwić zmniejszenie obciążenia będącego efektem niewzięcia udziału w badaniu przez niektórych absolwentów. Utworzone wagi można zastosować do sporządzania różnego rodzaju zestawień, a także oszacowania najważniejszych miar statystycznych w odniesieniu do pytań zadanych absolwentom w elektronicznym kwestionariuszu ankietowym.

Na wyk. 2 i 3 przedstawiono odpowiedzi na dwa wybrane pytania z elektronicznego kwestionariusza ankietowego po zastosowaniu wag kalibracyjnych. Pytano m.in. o to, jaką minimalną płacę brutto byłoby w stanie zaakceptować absolwent studiów II stopnia UEP oraz czy w trakcie studiów podejmował jakikolwiek staż lub praktykę¹⁵. W nawiasach, obok oceny punktowej estymatora kalibracyjnego, podano wartość oceny względnego błędu szacunku CV wyznaczonego zgodnie ze wzorem (19). Na wykresach przedstawiono — w postaci „wąsów” dolnej i górnej granicy — również wartość oceny średniego błędu szacunku.

Dane z wyk. 2 pokazują, że zdecydowana większość absolwentów studiów II stopnia UEP edycji 2013/14 przy podejmowaniu stałej pracy byłaby skłonna zaakceptować minimalną płacę brutto z przedziału 1501—3000 zł. Jedynie 83 absolwentów byłoby skłonnych podjąć stałą pracę za 1500 zł brutto, a 209 za płacę przekraczającą 3000 zł. Wyznaczone oceny względnych błędów szacunku świadczą o akceptowalnej precyzji oszacowań. Kierowano się przy tym wskazaniami, jakie GUS przyjmuje odnośnie do precyzji szacunków. Zgodnie z tymi wytycznymi oszacowania, dla których $CV < 10\%$, można uznać za wiarygodne. Oszacowania, dla których CV przyjmuje wartości z przedziału 10—20%, należy interpretować ze szczególną ostrożnością. Z kolei do oszacowań, dla których $CV > 20\%$, należy podchodzić sceptycznie i powinny być one publikowane tylko w postaci zagregowanej, np. przez połączenie z innym, pozostającym w logicznym związku wariantem cechy (GUS, 2013).

¹⁵ W artykule przedstawiono ideę konstrukcji wag kalibracyjnych estymatora kalibracyjnego wartości globalnej dla całej populacji z wykorzystaniem właściwych zmiennych pomocniczych. Na potrzeby oszacowania wartości globalnej odpowiednich zmiennych autorzy skorzystali ze wzoru (15), gdyż szacunki odnosiły się także do pewnych podpopulacji.

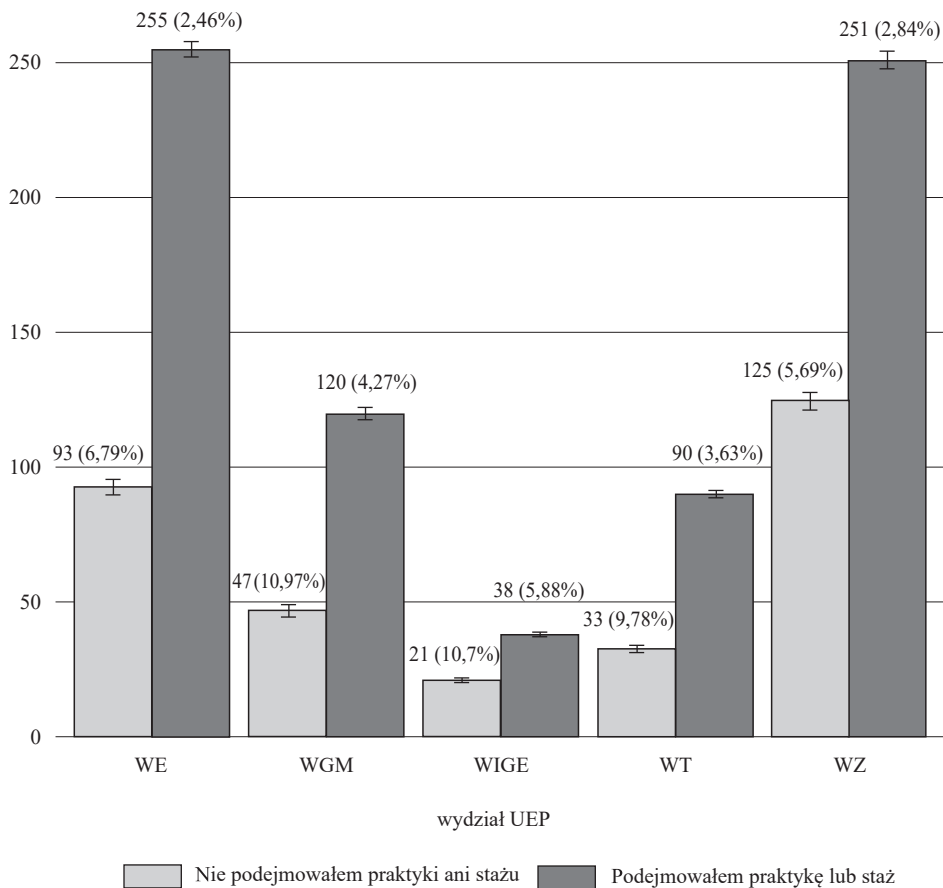
Wykr. 2. OSZACOWANA LICZBA ABSOLWENTÓW STUDIÓW II STOPNIA UEP (edycja 2013/14). PYTANIE: „JAKĄ MINIMALNĄ PŁACĘ BYŁBYŚ W STANIE ZAAKCEPTOWAĆ, PODEJMUJĄC STAŁĄ PRACĘ?”



Źródło: jak przy wykr. 1.

Analiza danych z wykr. 3 pozwala zauważyć, że bez względu na wydział, na którym studiowali badani absolwenci, większość z nich w czasie studiów podejmowała staż lub praktykę. W odniesieniu do wydziałów Ekonomii, Gospodarki Elektronicznej, Towaroznawstwa oraz Zarządzania odsetek absolwentów, którzy podejmowali staż lub praktykę, wahał się na poziomie ok. 70%. Dla porównania, dla Wydziału Informatyki i Gospodarki Elektronicznej analogiczny odsetek wynosił 64%.

**Wykr. 3. OSZACOWANA LICZBA ABSOLWENTÓW STUDIÓW II STOPNIA UEP
W PRZEKROJU WYDZIAŁÓW (edycja 2013/14).
PYTANIE: „CZY W TRAKCIE STUDIÓW PODEJMOWAŁEŚ
JAKIKOLWIEK STAŻ LUB PRAKTYKĘ?”**



Źródło: jak przy wykr. 1.

Jest to zapewne związane ze specyfiką kształcenia na tym wydziale, gdzie studenci nabywają umiejętności analizy danych, obsługi specjalistycznego oprogramowania (np. SAS, SPSS, R, SAP), programowania w wielu językach (np. Java, Python, VBA, 4GL) czy z zakresu inżynierii finansowej, co wymaga od nich większego zaangażowania w naukę i może ograniczać ich czas na podejmowanie dodatkowej formy aktywności na rynku pracy w trakcie studiów. Tego typu specjaliści są jednak często poszukiwani na rynku pracy przez różnego rodzaju instytucje. Nieco mniejszy udział w odbywaniu staży oraz praktyk, a zatem i ich mniejsze doświadczenie zawodowe zdobyte w czasie studiów, jest

jednak rekompensowane nabytymi przez nich umiejętnościami przetwarzania danych. Również w tym przypadku wyznaczone oceny względnych błędów szacunku świadczą o akceptowalnej precyzji oszacowań. Jedyne w odniesieniu do absolwentów WGM i WIGE, którzy nie podjęli w czasie studiów stażu ani praktyki, CV przekraczało nieznacznie założony próg 10%.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono propozycję aplikacji podejścia kalibracyjnego w nowym obszarze zastosowań — badań prowadzonych na podstawie ankiety internetowej oraz zmiennych pomocniczych pochodzących z rejestrów (konkretnie z zasobów dziekanatów). Zarówno zespół badawczy zajmujący się przygotowaniem metodologii badania losów absolwentów, jak i odbiorcy raportów z poszczególnych edycji badań, czyli władze UEP, wysoko ocenili zaproponowane rozwiązanie problemu braków danych w badaniu, wskazując, że jest to jedna z najnowocześniejszych, opartych na podstawach naukowych i obiektywnych, metod badawczych. Doceniono także fakt, że uzyskane wagi kalibracyjne zapewniają zgodność ze znanymi dla całej populacji strukturami dla zmiennych pomocniczych. Autorzy artykułu zdają sobie jednak sprawę z ograniczeń i niedostatków podejścia kalibracyjnego. Zaliczyć do nich należy względną szczupłość dostępnych zmiennych pomocniczych, znanych dla całej populacji, dla których można konstruować równania kalibracyjne. Wynikało to jednak przede wszystkim z ograniczonej liczby danych dostępnych w bazach dziekanatów i niewielkiego zakresu informacji ankietowych.

Warto odnotować dużą siłę różnicowania zbiorowości na respondentów i nierespondentów w obu edycjach badania dla tych samych zmiennych pomocniczych, jakimi były średnia ocen ze studiów, płeć czy ukończony wydział/kierunek. Należy również zwrócić uwagę, że wykorzystanie wzoru (4) może prowadzić do uzyskania ujemnych wartości wag kalibracyjnych. Ponadto w przypadku źle wyspecyfikowanych przekrojów zawierających zerowe liczebności absolwentów, wyznaczenie wag kalibracyjnych w ogóle nie będzie możliwe. W prezentowanych w artykule edycjach badania — ze względu na staranny dobór zmiennych pomocniczych i ich kombinacji — nie stwierdzono opisanych powyżej sytuacji. Należy jednak mieć świadomość zagrożeń płynących z wykorzystania wag (4) w tego typu lub podobnych badaniach. Należałoby wówczas wykorzystać inną funkcję odległości aniżeli (3) lub nałożyć warunki ograniczające na wagi kalibracyjne (Deville i Särndal, 1992).

Najważniejszym wyzwaniem badawczym jest pogłębiona analiza wpływu zmiennych pomocniczych, wykorzystywanych do konstrukcji równań kalibracyjnych, na wyniki estymacji kalibracyjnej. Chodzi przede wszystkim o zbadanie stopnia asocjacji zmiennych pomocniczych ze zmienną grupującą jednostki populacji na respondentów i nierespondentów oraz analizę wpływu rozkładu zmiennych pomocniczych na obciążenie wyników estymacji kalibracyjnej. Klu-

czowe zagadnienie to również ocena obciążenia rozważanego estymatora, która nie była przedmiotem rozważań w artykule. Autorzy skupili się bowiem na ocenie jakości precyzji szacunków z uwzględnieniem wariancji zaproponowanego estymatora kalibracyjnego. Stanowić ona jednak będzie ważny problem badawczy. Czytelnicy zainteresowani zagadnieniem szacowania obciążenia estymatorów kalibracyjnych w badaniach z brakami odpowiedzi mogą znaleźć odpowiednie twierdzenia i wzory w monografii Särndala i Lundströma (2005). Autorzy w dalszych pracach podejmą próbę weryfikacji uzyskanych wyników na podstawie danych MNiSW, zgodnie z zapisami znowelizowanej ustawy — Prawo o szkolnictwie wyższym.

dr Tomasz Klimanek — *Urząd Statystyczny w Poznaniu*

dr Marcin Szymkowiak — *Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Urząd Statystyczny w Poznaniu*

LITERATURA

- Białowąs, S., Buttler, D., Klimanek, T., Szwarz, K. (2012). Monitorowanie losów absolwentów. Zarys metodologii i metodyki badania w Uniwersytecie Ekonomicznym w Poznaniu. *Edukacja Ekonomistów i Menedżerów*, nr 25(3), 115—130.
- Chang, T., Kott, P. S. (2008). Using Calibration Weighting to Adjust for Nonresponse under a Plausible Model. *Biometrika*, 95(3), 555—571.
- Chang, T., Kott, P. S. (2010). Using Calibration Weighting to Adjust for Nonignorable Unit Nonresponse. *Journal of the American Statistical Association*, 105(491), 1265—1275.
- Deville, J.-C., Särndal, C.-E. (1992). Calibration Estimators in Survey Sampling. *Journal of the American Statistical Association*, 87, 376—382.
- GUS (2013). *Ludność. Stan i struktura demograficzno-społeczna. Narodowy Spis Powszechny Ludności i Mieszkań 2011*. Warszawa.
- Józefowski, T., Szymkowiak, M. (2012). Estymatory kalibracyjne w badaniach statystycznych. *Wiadomości Statystyczne*, nr (1), 31—43.
- Kott, P. S. (2016). Calibration weighting in survey sampling. *Computational Statistics*, 8(1), 39—53.
- Piasecki, T. (2014). Metody imputacji w badaniach gospodarstw domowych. *Wiadomości Statystyczne*, nr (9), 1—20.
- Särndal, C.-E. (2007). The Calibration Approach in Survey Theory and Practice. *Survey Methodology*, 33(2), 99—119.
- Särndal, C.-E., Lundström, S. (2005). *Estimation in Surveys with Nonresponse*. John Wiley & Sons.
- Särndal, C.-E., Lundström, S. (2008). Assessing Auxiliary Vectors for Control of Nonresponse Bias in the Calibration Estimator. *Journal of Official Statistics*, 167—191.
- Särndal, C.-E., Swensson, B., Wretman, J. (1992). *Model Assisted Survey Sampling*. New York: Springer-Verlag.
- Szymkowiak, M. (2007). Przyczynek do kalibracji w badaniach statystycznych z brakami odpowiedzi. W: E. Panek (red.), *Kapitał ludzki i wiedza w gospodarce. Wyzwania XXI wieku*, (194—204). Poznań: Akademia Ekonomiczna.

Szymkowiak, M. (2014). Estymatory kalibracyjne stosowane w Narodowym Spisie Powszechnym w 2011 r. *Wiadomości Statystyczne*, nr (11), 1—16.

Wallgren, A., Wallgren, B. (2007). *Register-based Statistics. Administrative Data for Statistical Purposes*. John Wiley & Sons.

Summary. *The aim of the research is to present the application of calibration approach in the tracer study of the Poznań University of Economics and Business graduates conducted within the "Staff for Economy" project and partnered by the Statistical Office in Poznań. The obligation to carry out tracer studies was imposed on universities by the legal acts concerning the process of monitoring graduates professional careers. The most important problem in the research was nonresponse of monitored graduates, which influenced the results obtained due to non-random error.*

The use of calibration applied in representative surveys to correct weights resulting from the sampling scheme showed, by choosing the appropriate auxiliary variables, how the negative impact of the lack of response can be reduced in full graduates tracer study. The article presents in detail the scope of research and theoretical basis of calibration. It describes also the use of auxiliary variables in the creation of calibrated weights which could then be included in the tabulation process and graphical presentation of results. Additionally, the article raises the issues of assessing the precision of estimation results.

Keywords: Staff for Economy, tracer study of graduates, calibration, nonresponse.