

*ELŻBIETA ZAŁOGA**

*ELŻBIETA SZARUGA***

ANALIZA I PROGNOZOWANIE JEDNOSTKOWYCH KOSZTÓW WYPADKÓW DROGOWYCH NA OBSZARZE ZABUDOWANYM W POLSCE

W artykule poruszono tematykę kosztów wypadków drogowych, zaliczających się do kosztów społecznych transportu. Dokonano analizy i dekompozycji szeregu czasowego jednostkowych kosztów wypadków drogowych na obszarze zabudowanym w Polsce w latach 2002–2012, wskazując na istotną i silną ich korelację ze wskaźnikiem PKB *per capita*. Przedstawiono także możliwości analityczne i prognostyczne modelu Holta do wyznaczenia prognozy na koniec 2013 r. i prognoz wygasłych na lata 2003–2012. Zwrócono szczególną uwagę na charakter zmian składnika systematycznego i losowego, określających odpowiednio tendencję rozwojową jednostkowych kosztów wypadków drogowych i wahania przypadkowe.

Słowa kluczowe: koszty społeczne transportu, koszty wypadków drogowych, model Holta

Wprowadzenie

Koszty wypadków drogowych należące do kosztów społecznych transportu są istotne z punktu widzenia społeczeństwa, gospodarki, podejmowanych interwencji, doboru celów strategicznych państwa czy przedsięwzięć o charakterze publicznym. Prognozy kosztów społecznych nie wskazują drogi rozwiązania danego problemu, ale kierunek, w którym powinno się podążać. W szczególności

* Elżbieta Załoga, dr hab., prof. US, Katedra Systemów i Polityki Transportowej, Wydział Zarządzania i Ekonomiki Usług, Uniwersytet Szczeciński, e-mail: elzbieta.zaloga@wzieu.pl.

** Elżbieta Szaruga, mgr, doktorantka, Uniwersytet Szczeciński, e-mail: elzbieta.szaruga@wzieu.pl.

dostarczają informacji na temat zmian tendencji rozwojowej czy wahań przypadkowych, dzięki czemu można zminimalizować ryzyko podjętych decyzji, szczególnie gdy skutki pewnych decyzji rozciągają się w czasie. Wówczas na znaczeniu przybiera odpowiedni dobór społecznych stóp dyskontowych, które w żadnym razie nie pokrywają się z rynkowymi stopami procentowymi.

Celem artykułu jest określenie optymalnych parametrów modelu wygładzania wykładniczego szeregu czasowego jednostkowych kosztów wypadków drogowych na obszarze zabudowanym w Polsce, dzięki czemu będzie można określić charakter zmian tendencji rozwojowej i wahań przypadkowych tychże kosztów.

Artykuł składa się z czterech części. W pierwszej scharakteryzowano koszty społeczne, koszty zewnętrzne i określono składowe jednostkowych kosztów wypadków drogowych. W drugiej części przedstawiono metodykę szacowania jednostkowych kosztów wypadków drogowych. W trzeciej zaś przeanalizowano jednostkowe koszty wypadków drogowych w obszarze zabudowanym, zdekomponowano szereg czasowy i obliczono korelację liniową owych kosztów z PKB *per capita*. W części czwartej opisano metodykę budowy modelu liniowego Holta oraz możliwości jego zastosowania w celu wyznaczenia prognozowanych kosztów jednostkowych wypadków drogowych w Polsce na obszarze zabudowanym na koniec 2013 roku¹ oraz wartości prognoz wygasłych na lata 2003–2012.

Koszty wypadków drogowych jako kategoria kosztów społecznych transportu

Społeczne koszty transportu są kategorią ekonomiczną, która ma coraz większe znaczenie przy doborze celów i narzędzi polityki gospodarczej państwa. Od początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku prowadzone są dyskusje na temat delimitacji znaczeniowej tej kategorii ekonomicznej. Koszty społeczne można rozumieć dwojako. Po pierwsze – w sensie *largo* – uważa się, że jest to suma kosztów prywatnych i zewnętrznych transportu. Po drugie – w sensie

¹ Prognoza została wykonana 23.12.2013 r., czyli przed końcem 2013 r. Zarówno wartości jednostkowych kosztów wypadków drogowych, jak i składowe za pełen 2013 r. na dzień wyznaczania prognozy nie były znane. Tym bardziej że do kosztów śmiertelnych wypadków drogowych wlicza się liczbę osób, które zmarły w wyniku poniesionych obrażeń ciała, będących następstwem wypadku, nie tylko na miejscu zdarzenia, ale i w szpitalu do 30 dni od dnia wypadku (czyli powinno się wliczać liczbę zgonów na 30 stycznia następnego roku, jeżeli wypadek zdarzył się ostatniego dnia grudnia).

stricto – postrzega się koszty społeczne jako koszty zewnętrzne². Jan Burnewicz w skład kosztów społecznych zalicza również, oprócz kosztów zewnętrznych i prywatnych, koszty psychiczne. Uważa on, że są one ukryte w innych pozycjach kosztowych³.

Na potrzeby tego artykułu uznano, że koszty społeczne powinny być rozpatrywane w najszerszym ich znaczeniu. A zatem, żeby zrozumieć ich istotę, należy sprecyzować zakres znaczeniowy pojęcia „koszty zewnętrzne”, gdyż podobnie jak przy kosztach społecznych nie jest on określony jednoznacznie.

W ujęciu szerokim koszty zewnętrzne powstają w momencie zachodzenia interakcji między użytkownikami transportu, gdy siła oddziaływania jednej jednostki na inną jest niewymierna i ma charakter pozarynkowy lub gdy nie można zmierzyć aktywności innej jednostki⁴. Wówczas koszty zewnętrzne oddziałują na funkcję użyteczności i produkcji poszkodowanych jednostek⁵. Koszty zewnętrzne w ujęciu wąskim są zaś odnoszone do występujących tak zwanych niedoskonałości rynkowych, kiedy to mechanizm rynkowy przestaje działać efektywnie⁶.

Wśród kosztów społecznych transportu szczególną rolę odgrywają koszty wypadków drogowych. Przez wypadek drogowy rozumie się „zdarzenie drogowe, które pociągnęło za sobą ofiary w ludziach, w tym także u sprawcy tego zdarzenia, bez względu na sposób zakończenia sprawy”⁷. Skutkami wypadków drogowych są ofiary śmiertelne, osoby ranne oraz straty materialne. W skład jednostkowych kosztów wypadków drogowych wchodzi wycena takich kosztów

² E. Załoga, *Trendy w transporcie lądowym Unii Europejskiej*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2013, s. 146.

³ *Koszty i opłaty w transporcie*, red. M. Bąk, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2009, s. 13 i 15.

⁴ *External cost of transport and internalization. Draft report of topic A*, IWWW, COWIconsult, ECN, ECOPLAN, ECN-95-080, maj 1995, s. 7; B. Pawłowska, *Zewnętrzne koszty transportu. Problem ekonomicznej wyceny*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2000, s. 15.

⁵ B. Kryk, *Rachunek sozoeconomiczny działalności gospodarczej na przykładzie energetyki zawodowej regionu szczecińskiego*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2003, s. 78.

⁶ B. Pawłowska, *Zewnętrzne koszty transportu...*, s. 15.

⁷ *Metoda oraz wycena kosztów wypadków i kolizji drogowych na sieci dróg w Polsce na koniec roku 2012, z wyodrębnieniem średnich kosztów społeczno-ekonomicznych zdarzeń drogowych na sieci TEN-T*, sierpień 2013, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Zakład Ekonomiki, Warszawa 2013, www.krbrd.gov.pl/images/files/KOSZTY_WYPADKOW_DROGOWYCH_W_POLSCE_W_2012_R_final.pdf (dostęp: 23.12.2013), s. 6.

jak: koszty prac służb policyjnych i ratowniczych, koszty usług prosekcyjnych i pogrzebu, koszty hospitalizacji, koszty postępowania karnego, koszty rekompensat i zadośćuczynienia, straty pracodawców, straty materialne i straty gospodarcze kraju⁸. Część tych kosztów – nazywana indywidualnymi stratami społecznymi – utożsamiana jest z kosztami prywatnymi, natomiast pozostała – określana jako ogólne straty w gospodarce kraju – jest utożsamiana z kosztami zewnętrznymi⁹. Według szacunków na koniec 2012 roku 70% wszystkich kosztów stanowiły koszty zewnętrzne, a 30% – koszty prywatne¹⁰.

Metody wyceny jednostkowych kosztów wypadków drogowych

Dzięki prowadzonym przez Zakład Ekonomiki Instytutu Badawczego Dróg i Mostów badaniom możliwa jest wycena kosztów zdarzeń drogowych z roku na rok. Zespół prof. Haliny Chrostowskiej pracował (w kontekście prac nad *Instrukcją oceny efektywności ekonomicznej inwestycji drogowych i mostowych*) w latach 80. i 90. ubiegłego wieku nad metodą wyceny kosztów wypadków drogowych, nazywaną PANDORA' 1993. Metoda ewoluowała przez lata, ostatecznie powstała PANDORA' 2013, różniąca się od PANDORY' 1993 zakresem składników wyceny¹¹.

Metoda PANDORA' 1993 obejmuje cztery kategorie składników wyceny¹²:

1. Straty produktywności (straty PKB pomniejszonego o niezrealizowaną konsumpcję z uwagi na śmierć osób uczestniczących w wypadkach drogowych oraz straty PKB wynikające z obrażeń ciała).
2. Koszty administracyjne (związane z uczestnictwem jednostek operacyjnych – dotyczące wyłącznie policji i służb ratownictwa medycznego – obejmujące koszty karettek pogotowia oraz koszty pogrzebu, bez kosztów patomorfologicznych).
3. Straty materialne (wyrażone jako wartość uszkodzeń pojazdu w przeliczeniu na jeden wypadek).

⁸ Tamże, s. 4.

⁹ Tamże, s. 6–7.

¹⁰ Tamże, s. 43.

¹¹ Tamże, s. 21.

¹² Tamże, s. 21–22.

4. Koszty leczenia i rehabilitacji (osobno dla wypadku śmiertelnego, wypadku ciężkiego i lekkiego). W metodzie nie uwzględnia się kosztu bólu i cierpienia rodziny.

W metodzie PANDORA' 2013, po weryfikacji klasyfikacji elementów kosztowych, składniki wyceny podzielono na dwie grupy: straty gospodarcze państwa (rozumiane jako koszty zewnętrzne) oraz koszty społeczne (rozumiane jako suma kosztów zewnętrznych i prywatnych). Podział ten został tak skonstruowany, aby dwukrotnie nie wliczać do kosztów całkowitych kosztów utajnionych w innych składnikach kosztowych. A zatem w skład wyceny wchodzi¹³:

1. Straty gospodarcze państwa:
 - a) straty produktywności:
 - straty PKB pomniejszone o niezrealizowaną konsumpcję, dotyczące ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych (wyłącznie osób w wieku produkcyjnym, których wyłączenie z gospodarki wpływa na utratę potencjalnej przyszłej produkcji); wynik pomniejsza się o dochody konsumowane tych osób;
 - straty PKB dotyczące osób rannych w wypadkach drogowych – podobnie jak wcześniej, przy czym wyniku nie pomniejsza się o niewykorzystaną konsumpcję;
 - b) koszty administracyjne:
 - związane z uczestnictwem jednostek operacyjnych (policja, straż pożarna, służby chemiczne i inne) – koszty te wyznacza się, biorąc pod uwagę udział poszczególnych służb w akcji powypadkowej i uśredniony koszt utrzymania tych służb wraz z pojazdami zgodnie z budżetem na dany rok;
 - wynikające z uczestnictwa ratownictwa medycznego (karetki pogotowia, śmigłowce medyczne) – wyliczenia te są oparte na uśrednionym koszcie utrzymania i dojazdu;
 - koszty pogrzebu i usług prosekcyjnych – oszacowane na podstawie uśrednionych cen rynkowych pogrzebów w danym roku, a usług prosekcyjnych – na podstawie orzeczeń sądowych (dotąd koszty te były wyceniane na podstawie wysokości zasiłku pogrzebowego); koszty te można rozłożyć w czasie;

¹³ Tamże, s. 22–34.

- koszty sądownictwa, a więc postępowania prokuratorskiego oraz sądowego (bez pracy prokuratora); pierwsze są rozliczane na podstawie wynagrodzenia biegłych i tłumaczy przysięgłych, należności z tytułu wydawania opinii przez instytucje, w tym także akademie medyczne, a także pomocy prawnej udzielanej z urzędu, były to również koszty obserwacji psychiatrycznej, przewozu zwłok, opłaty za holowanie i parking zabezpieczonych pojazdów, koszty pocztowe – doręczenia listów, przechowywania zajętych przedmiotów, wynajmu sali sekcyjnej, przechowywania zwłok; druga grupa obejmuje wycenę na podstawie kosztów utraconych zarobków i podróży świadków wypadków wezwanych na sprawę sądową, wynagrodzenia biegłych, tłumaczy, innych powołanych instytucji, opłaty za pozew i apelacje, koszty wynagrodzeń i dojazdu pełnomocnika adwokata;
 - koszty więziennictwa – wyliczone na podstawie uśrednionego kosztu utrzymania jednego więźnia (nie uwzględnia się w tym wyliczeniu ruchu więźniów)¹⁴;
 - koszty rent powypadkowych;
 - koszty zasiłków chorobowych.
2. Koszty społeczne:
- a) straty materialne (wyrażone jako wartość uszkodzenia pojazdu) bez uwzględnienia wartości odtworzenia uszkodzonej infrastruktury drogowej, kubaturowej czy innej; straty te to wyłącznie straty wartości pojazdów oszacowane na podstawie wypłat ubezpieczycieli (uwzględniono narzut na niezgłoszone szkody w wysokości 25% wszystkich kosztów);
 - b) koszty pracodawców – do oszacowania kosztu jednostkowego wykorzystano metodę Mieczysława Dobii, zgodnie z którą na wartość pracy mają wpływ trzy składniki: skapitalizowane koszty utrzymania, skapitalizowane koszty edukacji profesjonalnej oraz wartość uzyskana dzięki doświadczeniu; pod uwagę wzięto wyłącznie osoby, które poniosły śmierć (wynikało to z niemożności oszacowania, które osoby po wypadku wrócą do pracy i kiedy), a zatem koszty dotyczą wyłącznie strat kapitału intelektualnego;

¹⁴ Koszt został wyliczony na podstawie danych udostępnionych przez Ministerstwo Sprawiedliwości.

- c) koszty leczenia i rehabilitacji w podziale na¹⁵
 - wypadki śmiertelne,
 - wypadki ciężkie;
- d) koszty rekompensat – oszacowane na podstawie, po pierwsze, danych z Polskiej Izby Ubezpieczeń oraz orzeczeń sądów pierwszej i drugiej instancji z danego roku (20% sumy było zasądzone wyrokiem sądu) i, po drugie, wypłat Zakładu Ubezpieczeń Społecznych w postaci:
 - odszkodowań lub zadośćuczynienia za utratę życia lub utratę zdrowia,
 - rent powypadkowych i rodzinnych,
 - rekompensaty utraconych zarobków,
 - wypłaty wyrównującej koszty pogrzebu.

W metodzie PANDORA' 2013 nie uwzględnia się kosztów bezpieczeństwa *per se*¹⁶ w odróżnieniu od zaleceń HEATCO¹⁷.

Inne metody – poza PANDORA' 1993 i PANDORA' 2013 (i częściowo zaleceniami HEATCO, na gruncie których rozwijała się PANDORA' 1993) – nie zostały w niniejszym artykule przywołane z uwagi na różne ujęcia zewnętrznych kosztów wypadków drogowych. Różnice wynikają z innej klasyfikacji zdarzeń drogowych (w tym także ofiar śmiertelnych), zakresu ubezpieczeń oraz jakości danych i sposobu gromadzenia ich w systemach informatycznych.

Należy także wspomnieć, że oszacowanie kosztów dotyczących sfer lecznictwa i sądownictwa budzi wątpliwości, co do sposobu ustalania ich wysokości. Jest to tym bardziej skomplikowane, że można je rozłożyć w czasie na wiele lat, a zgodnie z definicją kosztu powinny być one przypisane do konkretnego okresu¹⁸. Ponadto w Polsce brakuje systemu wsparcia i monitorowania osób rannych, poszkodowanych w wypadkach drogowych, często ich losy są nieznane,

¹⁵ Koszty hospitalizacji są aktualizowane przez Państwowy Instytut Zdrowia Publicznego. Na ich podstawie oszacowaniu podlegają koszty leczenia i rehabilitacji.

¹⁶ *Metoda oraz wycena...*, s. 45.

¹⁷ HEATCO – Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. Zaleca się stosowanie: a) wartości bezpieczeństwa *per se* szacowanej na podstawie wartości WTP (gotowości do płacenia) za zmniejszenie prawdopodobieństwa poniesienia śmierci lub zostania rannym, na podstawie badań przeprowadzonych dla danego kraju; b) bezpośrednich i pośrednich kosztów ekonomicznych oszacowanych dla danego państwa w ramach wyceny; c) wartości kosztów strat materialnych z wypadków drogowych – szacowanych w ramach wyceny dla danego państwa. Szerzej: P. Bickel, A. Hunt i in., *HEATCO deliverable 5. Proposal for harmonised guidelines*, IER, Stuttgart 2006, s. 87.

¹⁸ *Rachunkowość zarządcza*, red. T. Kiziukiewicz, Wydawnictwo Ekspert, Wrocław 2004, s. 39–41.

co oznacza, że koszty w tym zakresie są niedoszacowane. Poza tym niektóre z metod¹⁹ szacowania jednostkowych kosztów wypadków drogowych dotyczą wyłącznie wybranego regionu danego państwa, inne – wybranych odcinków dróg, natężenia ruchu i wskaźników ryzyka, jeszcze inne opierają się na szacowaniu poszczególnych elementów kosztowych, jednak na bazie innych danych, wskaźników i tym podobnych. Toteż często podkreśla się brak możliwości komparystyki tych kosztów w Polsce między wybranymi lokalizacjami oraz na świecie między państwami²⁰.

Analiza jednostkowych kosztów wypadków drogowych w obszarze zabudowanym

Obecnie na znaczeniu przybiera znajomość kształtowania się jednostkowych kosztów wypadków drogowych (zarówno w obszarze zabudowanym, jak i niezabudowanym). W tej części artykułu przeanalizowano jednostkowe koszty wypadków drogowych w Polsce (wyłącznie w obszarze zabudowanym) w latach 2002–2012 (tabela 1).

Tabela 1

Koszty jednostkowe wypadków drogowych w Polsce na obszarze zabudowanym (w cenach bieżących) i PKB *per capita* (w cenach bieżących) w latach 2002–2012

Rok	Koszty jednostkowe wypadków drogowych w obszarze zabudowanym (zł)	PKB <i>per capita</i> (tys. zł)
1	2	3
2002	253 886	21,1
2003	268 021	22,1
2004	289 081	24,2
2005	307 320	25,8
2006	315 655	27,8
2007	338 120	30,9

¹⁹ M.in. mowa o metodach przedstawionych w badaniach GRACE, HEATCO, Grupy wysokiego szczebla ds. pobierania opłat za infrastrukturę transportową (przedstawiono wyłącznie rozważania metodyczne), Szwajcarskiego Urzędu Federalnego ds. zagospodarowania przestrzennego (ograniczone tylko do Szwajcarii), INFRAS/IWW, PETS, RECORDIT (obejmującego wyłącznie trzy korytarze: Genewa–Manchester, Patras–Gothenberg, Barcelona–Warszawa; ograniczone do gałęzi transportu samochodowego i kolejowego – przewozy ładunków), CE Delft/ECORYS, CAPRI, ExternE.

²⁰ *Metoda oraz wycena...*, s. 46.

1	2	3
2008	353 977	33,5
2009	375 326	35,2
2010	374 580	33,8
2011	403 758	39,7
2012	579 000	41,4

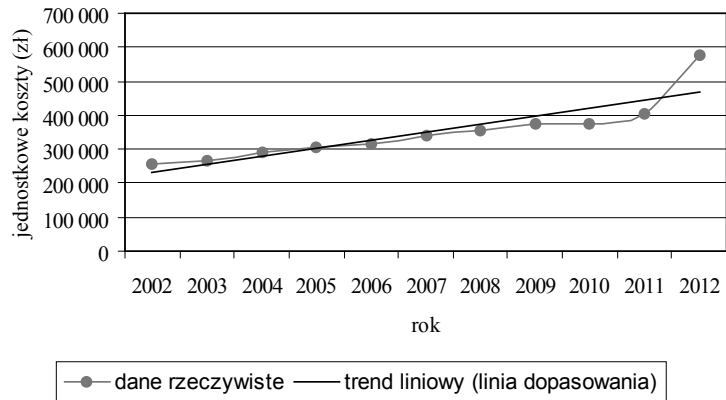
Źródło: opracowanie własne na podstawie *Metoda oraz wycena...*, s. 41 oraz bazy danych EUROSTAT www.epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database (dostęp: 23.12.2013).

Jak wynika z danych zawartych w tabeli 1, jednostkowe koszty wypadków drogowych w obszarze zabudowanym zachowywały tendencję wzrostową, z wyjątkiem 2010 roku. Średnioroczna wartość omawianych kosztów wynosiła 350 793,10 zł, przy czym połowa obserwacji znajdowała się na granicy lub powyżej wartości 338 120 zł (mediana), a druga – poniżej tej wartości. W przypadkach, gdy wartość średniej jest większa od mediany, występuje rozkład prawostronnie asymetryczny, czego potwierdzeniem może być inna miara, między innymi skośność wynosząca 1,52.

Rozstęp, to jest różnica między wartością maksymalną (579 000 zł) a minimalną (253 886 zł), wynosił 325 111 zł. Jego wartość w stosunku do tendencji centralnej konotuje fakt, że omawiane koszty nie charakteryzowały się dużym zróżnicowaniem w stosunku do średniej czy mediany – odchyłały się przeciętnie od wartości średniej o 89 105,12 zł, a współczynnik zmienności wynosił 25,4%.

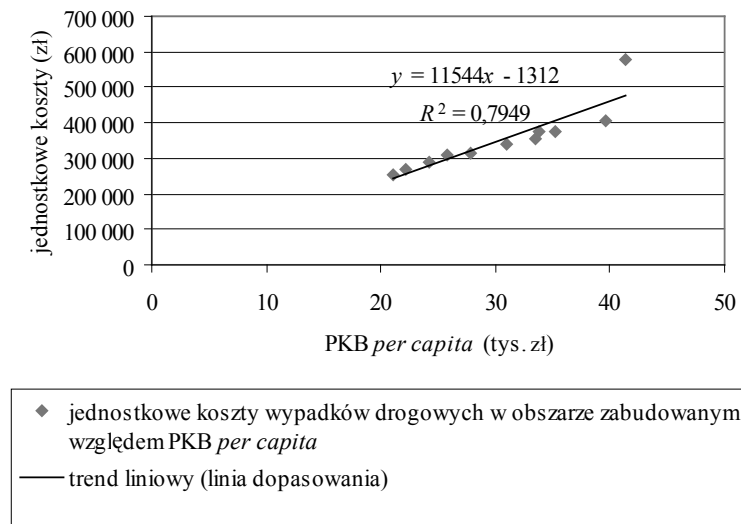
Po wstępnej analizie danych dokonano dekompozycji szeregu czasowego jednostkowych kosztów wypadków drogowych w obszarze zabudowanym w latach 2002–2012, co przedstawiono na rysunku 1. Na podstawie zilustrowanych danych stwierdzono występowanie trendu wzrostowego (o czym już wspomniano) i niewielkie wahania przypadkowe. Wiedząc, że liczba wypadków drogowych i liczba ofiar śmiertelnych w obszarze zabudowanym maleje w stosunku do roku 2002, zasadniczą kwestią wydaje się być pytanie, czy wskaźnik PKB *per capita* powinien, czy nie powinien stanowić umownej jednostki rozliczeniowej owych kosztów.

Aby odpowiedzieć na to pytanie, dokonano wizualnej analizy wykresu rozrzutu jednostkowych kosztów wypadków drogowych w obszarze zabudowanym względem PKB *per capita* w badanym okresie, co zaprezentowano na rysunku 2.



Rys. 1. Dekompozycja szeregu czasowego jednostkowych kosztów wypadków drogowych w Polsce w obszarze zabudowanym

Źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli 1.



Rys. 2. Wykres rozrzutu jednostkowych kosztów wypadków drogowych w Polsce w obszarze zabudowanym względem PKB per capita

Źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli 1.

Jak wynika z rysunku 2, wraz ze wzrostem PKB *per capita* wzrosła wartość jednostkowych kosztów wypadków drogowych w obszarze zabudowanym. Można założyć, że wartość PKB *per capita* wpływa na jednostkowe koszty wypadków drogowych, stąd obie wartości powinny być ze sobą skorelowane, a korelacja powinna być istotna. Aby to sprawdzić, obliczono korelację liniową Pearsona – wynosiła ona 0,89159241. Wartość krytyczna (przy dwustronnym, 5-procentowym obszarze krytycznym) była równa 0,6021 dla $n = 11$. Oznacza to, że istniała silna i istotna korelacja między badanymi wielkościami w analizowanym okresie. A zatem wartość PKB *per capita* silnie i istotnie wpływa na wartość jednostkowych kosztów wypadków drogowych.

Można więc pokusić się o stwierdzenie, że wraz ze wzrostem PKB *per capita* równocześnie rosły: wartość życia, zdrowia ludzkiego i strat materialnych poniesionych w wypadkach drogowych w przeliczeniu na jeden wypadek. Nie oznacza to, że waga taksowania życia i zdrowia ludzkiego czy strat materialnych jest niższa dla poszkodowanych w przeszłości od poszkodowanych w przyszłości (życie ludzkie czy zdrowie są tak samo ważne). Za Frankiem Ramseyem należy opowiedzieć się za jednakową wagą w wartościowaniu dobrobytu wszystkich pokoleń²¹. Niemniej jednak należy zwrócić uwagę, że jednostkowy koszt (wartość) wypadków drogowych (w tym wartość życia, zdrowia ludzkiego i strat materialnych) wynoszący 403 758 zł w 2011 roku jest warty w kolejnym roku 579 000 zł, co wiąże się ze zmianą wartości pieniądza w czasie. Jest to istotne z punktu widzenia realizacji przedsięwzięć mających na celu łagodzenie negatywnych skutków działalności transportowej.

Pewne publiczne przedsięwzięcia, których celem jest minimalizacja negatywnych skutków wypadków drogowych, wymagają analizy kosztów i korzyści społecznych w kontekście krótkiego, średniego i długiego horyzontu czasowego (szczególnie wtedy, gdy mogą dotyczyć przyszłych pokoleń). Niezbędna jest więc wiedza na temat kształtowania się kosztów wypadków w przeszłości, teraźniejszości i bliskiej przyszłości – za rok, który jeszcze się nie skończył, i w dalszej przyszłości. Konieczna jest także wiedza na temat kształtowania się społecznej stopy dyskontowej. Należy jednak pamiętać, że przy braku optymalnej międzypokoleniowej redystrybucji dochodów (a taka występuje w przypadku pojawiania się kosztów zewnętrznych transportu w czasie i przestrzeni), społeczna stopa dyskontowa nie będzie się pokrywała z rzeczywistą stopą procentową

²¹ J.E. Stiglitz, *Ekonomia sektora publicznego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004, s. 343.

(wynikającą z rynku). To znaczy, że nie będzie mieć żadnego związku z preferencjami dotyczącymi bieżącej konsumpcji, ani z kosztem alternatywnym²². A zatem ową stopę dyskontową można wyznaczyć, po pierwsze kierując się określonymi celami do osiągnięcia w danym miejscu i czasie, po drugie, na podstawie prognozowanych kosztów społecznych, zmieniających się w czasie. Do wyznaczenia prognoz jednostkowych kosztów wypadków drogowych można się posłużyć metodą wygładzania wykładniczego szeregu czasowego, a dokładniej – modelem Holta.

Model wygładzania wykładniczego Holta

Metoda wygładzania wykładniczego szeregu czasowego, a w szczególności model Holta, była narzędziem stosowanym do prognozowania wielu wskaźników makroekonomicznych, wartości Warszawskiego Indeksu Giełdowego²³, wartości *TMAP*²⁴, kursów walut²⁵, zużycia ciepłej i zimnej wody w budynkach mieszkalnych²⁶, skupu mleka²⁷ czy nawet kosztów spółki logistycznej²⁸. Można ją wykorzystać także do prognozy jednostkowych kosztów wypadków drogowych w obszarze zabudowanym. Jej meritum sprowadza się do wygładzania w szeregu czasowym zmiennej prognozowanej za pomocą ważonej średniej ruchomej, gdzie wagi są określone według prawa wykładniczego. Wygładzanie

²² Tamże, s. 345.

²³ Z. Tarapata, *Analiza możliwości wykorzystania wybranych modeli wygładzania wykładniczego do prognozowania wartości WIG-u*, Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Warszawie nr 2, Warszawa 2000, s. 133–153.

²⁴ W. Tarczyński, *Dynamiczne ujęcie taksonomicznej miary atrakcyjności inwestycji na przykładzie wybranych spółek notowanych na giełdzie papierów wartościowych w Warszawie*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 394, Szczecin 2004, s. 302 i 311.

²⁵ K. Halicka, C. Winkowski, *Wykorzystanie metod wygładzania wykładniczego do prognozowania kursu sprzedaży EUR*, „Economics and Management” 2013, no. 2, s. 73–76.

²⁶ B. Batóg, I. Foryś, *Prognozowanie zużycia ciepłej i zimnej wody w spółdzielczych zasobach mieszkalnych*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 561, Szczecin 2009, s. 26–31.

²⁷ M. Szmuksta-Zawadzka, J. Zawadzki, *Z badań nad metodami prognozowania na podstawie niekompletnych szeregów czasowych z wahaniami okresowymi (sezonowymi)*, „Przegląd Statystyczny” 2012, nr 1 (numer specjalny), s. 150.

²⁸ J. Franc-Dąbrowska, M. Zbrowska, *Prognozowanie finansowe dla spółki X – spółka logistyczna*, Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie nr 64, Warszawa 2008, s. 252, 258–260.

opiera się na różnych modelach, jak proste modele wygładzania wykładniczego, model liniowy Holta oraz model Wintersa²⁹.

Model liniowy Holta znajduje swoje zastosowanie do wygładzania szeregu czasowego, w którym zauważa się tendencję rozwojową i wahania przypadkowe. Stosuje się w nim dwa równania rekurencyjne³⁰:

$$F_{t-1} = \alpha y_{t-1} + (1 - \alpha)(F_{t-2} + S_{t-2}) \quad (1)$$

$$S_{t-1} = \beta(F_{t-1} - F_{t-2}) + (1 - \beta)S_{t-2} \quad (2)$$

gdzie:

F_{t-1} – wygładzona wartość zmiennej prognozowanej na moment lub okres $t - 1$,

S_{t-1} – wygładzona wartość przyrostu trendu na moment lub okres $t - 1$,

α, β – parametry modelu o wartościach z przedziału $\langle 0, 1 \rangle$.

Równanie prognozy na moment lub okres $t > n$ przyjmuje postać wzoru³¹:

$$y_t^* = F_n + (t - n)S_n \quad (3)$$

gdzie:

y_t^* – prognoza zmiennej y wyznaczona na moment lub okres t ,

F_n – wygładzona wartość zmiennej prognozowanej dla momentu lub okresu n ,

S_n – wygładzona wartość przyrostu trendu na moment lub okres n ,

n – liczba wyrazów szeregu czasowego zmiennej prognozowanej.

Dokonując odpowiednich przekształceń równań 1 i 2 względem równania 3, można otrzymać następujący zapis³²:

$$F_{t-1} = F_{t-2} + S_{t-2} + \alpha(y_{t-1} - y_{t-1}^*) = y_{t-1}^* + \alpha(y_{t-1} - y_{t-1}^*), \quad (4)$$

$$S_{t-1} = S_{t-2} + \alpha\beta(y_{t-1} - y_{t-1}^*) \quad (5)$$

²⁹ *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005, s. 71.

³⁰ Tamże, s. 73.

³¹ Tamże, s. 74.

³² Tamże.

Wartości α i β dobierane są między innymi na podstawie najmniejszego błędu średniego prognoz wygasłych s^* , czyli $\min_{\alpha, \beta} s^*(\alpha, \beta)$, gdzie:

$$s^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - y_t^*(\alpha, \beta))^2} \quad (6)$$

Prognozy wygasłe obliczane są ze wzoru:

$$y_t^* = F_{t-1} + S_{t-1}, 2 \leq t \leq n \quad (7)$$

W celu konstrukcji liniowego modelu wygładzania wykładniczego Holta niezbędne są początkowe wartości F i S (F_1 i S_1). W literaturze spotyka się kilka sposobów ich wyznaczania. W jednym założono, że F_1 to pierwsza wartość zmiennej prognozowanej y_1 , a S_1 to różnica $y_2 - y_1$. Innym sposobem na wyznaczanie wartości początkowych F_1 i S_1 jest przyjęcie założenia, że przyjmują one odpowiednio wartości: wyrazu wolnego i współczynnika kierunkowego liniowej funkcji trendu³³, wyznaczonej na podstawie próbkę wstępnej³⁴.

Model liniowy wygładzania wykładniczego Holta został wykorzystany do wyznaczenia prognozowanych kosztów jednostkowych wypadków drogowych w Polsce na obszarze zabudowanym na koniec 2013 roku (tabela 2).

Model Holta pozwolił wyznaczyć prognozowane koszty jednostkowe wypadków drogowych w obszarze zabudowanym na koniec 2013 roku – wynosiły one 754 242 zł. Prognozę na koniec 2013 roku można uznać za dopuszczalną, gdyż jej średniokwadratowy błąd względny nie przekraczał 10%. Poza tym należy dodać, że prognozy wygasłe odchyłały się od wartości rzeczywistych przeciętnie o 50 712,50 zł, a przeciętne bezwzględne odchylenie prognoz wygasłych od danych rzeczywistych stanowiło 5,83%³⁵ rzeczywistych jednostkowych kosztów wypadków drogowych. Dla zobrazowania jakości danych na rysunku 3 przedstawiono jednostkowe koszty rzeczywiste i jednostkowe koszty prognozowane na podstawie danych z lat 2002–2012.

³³ Wówczas prognozy leżą na prostej $y = F_n + x \cdot S_n$.

³⁴ *Prognozowanie gospodarcze...*, s. 74.

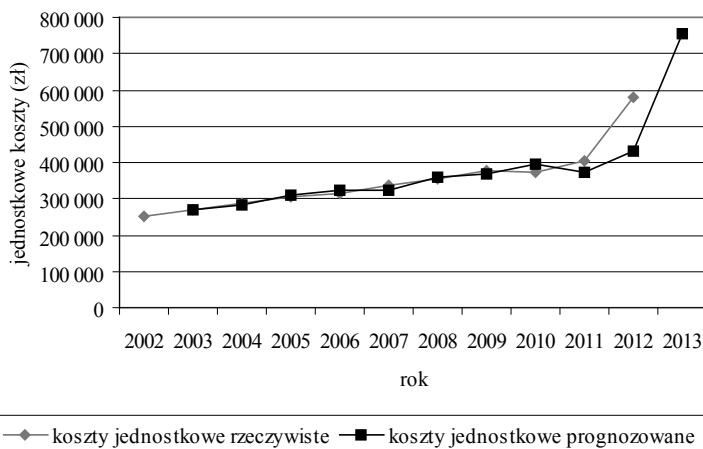
³⁵ Także poniżej progno 10%.

Tabela 2

Model liniowy wygładzania wykładniczego Holta

t	y_t	F_t	S_t	y_t^*	$ y_t^* - y_t /y_t$
1	253 886	253 886	14 135	–	–
2	268 021	268 021	14 135	268 021	–
3	289 081	289 081	21 060	282 156	0,0240
4	307 320	307 320	18 239	310 141	0,0092
5	315 655	315 655	8 335	325 559	0,0314
6	338 120	338 120	22 465	323 990	0,0418
7	353 977	353 977	15 857	360 585	0,0187
8	375 326	375 326	21 349	369 834	0,0146
9	374 580	374 580	-746	396 675	0,0590
10	403 758	403 758	29 178	373 834	0,0741
11	579 000	579 000	175 242	432 936	0,2523
12		–		754 242	–
$\alpha =$	1	$\Sigma(y_t - y_t^*)^2 =$	23 145 814 407	średniokwadratowy błąd względny prognozy =	6,72%
$\beta =$	1	$s^* =$	50712,49507	średni błąd względny prognoz wygasłych =	5,83%

Źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli 1 za pomocą dodatku Solver w programie Microsoft Excel.



Rys. 3. Rzeczywiste i prognozowane koszty jednostkowe wypadków drogowych w Polsce na obszarze zabudowanym w latach 2002–2013

Źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli 2.

Wizualnie oceniając otrzymane prognozy (rysunek 3), można zauważyć, że charakteryzują się one dość wysoką jakością. Można mieć zastrzeżenie jedynie do prognozy wygasłej w 2012 roku. Przyrost kosztów między 2011 a 2012 rokiem był największy (6-krotnie wyższy niż przyrost w roku poprzednim). Taki przyrost kosztów jednostkowych mógł być podyktowany silniejszą zmianą jednego ze składowych szeregu czasowego lub mógł być to przejaw *decouplingu*³⁶.

Analizując wartości otrzymanych parametrów α i β ³⁷, które są zawarte w tabeli 2, można zauważyć, że prognozy uwzględniają w bardzo wysokim stopniu błędy *ex post* prognoz poprzednich. Ich wartości równe jedności świadczą o tym, że składowe szeregu czasowego (składnik systematyczny – tendencja rozwojowa, oraz składnik losowy – wahania przypadkowe) zmieniają się bardzo szybko. A skoro owe składniki zmieniają się bardzo szybko, to społeczna stopa dyskontowania ustalona na pewnym stałym, wysokim poziomie może nie mieć zastosowania, gdyż ocena celowości jakiegoś przedsięwzięcia wymaga pogłębienia wiedzy na temat efektów międzypokoleniowej redystrybucji dochodów i efektywności.

Podsumowanie

Podsumowując niniejsze rozważania, można podkreślić, że koszty wypadków drogowych w obszarze zabudowanym, będące kosztami społecznymi, charakteryzują się tendencją rozwojową oraz wahaniami przypadkowymi. Analizując parametry wygładzania wykładniczego, można dodać, że prognoza jednostkowych kosztów wypadków drogowych w Polsce na obszarze zabudowanym na koniec 2013 roku uwzględnia w najwyższym stopniu błędy *ex post* prognoz poprzednich i akcentuje szybkie zmiany zachodzące w składniku systematycznym oraz losowym. Ta informacja jest pożyteczna z punktu widzenia doboru narzędzi i celów polityki gospodarczej państwa, powinno się bowiem podążać za szybkimi zmianami zachodzącymi w obrębie kosztów społecznych, istotnych z punktu widzenia gospodarki i społeczeństwa. Polska rozwijająca system rynkowy od 25 lat musi radzić sobie z zawodnością rynku i państwa. Dlatego też coraz większe znaczenie ma znajomość kształtowania się kosztów

³⁶ Wzrost kosztów jednostkowych z 2011 r. w roku 2012 nie był podyktowany zmianami w liczbie wypadków, ofiar śmiertelnych czy osób rannych, gdyż te spadły.

³⁷ Wartości parametrów wygładzania zostały obliczone narzędziem optymalizacyjnym (Solver), dzięki czemu otrzymano pożądany cel w formie ekstremum lokalnego przy spełnionych warunkach ograniczających.

społecznych. Na podstawie danych historycznych i prognoz na kolejne lata można określić w przybliżeniu społeczną stopę dyskontową adekwatną do sytuacji zachodzących w obrębie zagadnień społecznych (rynkowych i pozarynkowych).

Bibliografia

- Batóg B., Foryś I., *Prognozowanie zużycia ciepłej i zimnej wody w spółdzielczych zasobach mieszkalnych*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 561, Szczecin 2009.
- Bickel P., Hunt A. i in., *HEATCO deliverable 5. Proposal for harmonised guidelines*, IER, Stuttgart 2006.
- External cost of transport and internalization. Draft report of topic A*, IWWW, COWIconsult, ECN, ECOPLAN, ECN-95-080, maj 1995.
- Franc-Dąbrowska J., Zbrowska M., *Prognozowanie finansowe dla spółki X – spółka logistyczna*, Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie nr 64, Warszawa 2008.
- Halicka K., Winkowski C., *Wykorzystanie metod wygładzania wykładniczego do prognozowania kursu sprzedaży EUR*, „Economics and Management” 2013, nr 2.
- Koszty i opłaty w transporcie*, red. M. Bąk, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2009.
- Kryk B., *Rachunek sozoekonomiczny działalności gospodarczej na przykładzie energetyki zawodowej regionu szczecińskiego*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2003.
- Metoda oraz wycena kosztów wypadków i kolizji drogowych na sieci dróg w Polsce na koniec roku 2012 z wyodrębnieniem średnich kosztów społeczno-ekonomicznych zdarzeń drogowych na sieci TEN-T*, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Zakład Ekonomiki, Warszawa 2013, www.krbrd.gov.pl/images/files/KOSZTY_WYPADKOW_DROGOWYCH_W_POLSCE_W_2012_R_final.pdf (dostęp: 23.12.2013).
- Pawłowska B., *Zewnętrzne koszty transportu. Problem ekonomicznej wyceny*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2000.
- Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
- Rachunkowość zarządcza*, red. T. Kiziukiewicz, Wydawnictwo Ekspert, Wrocław 2004.
- Stiglitz J.E., *Ekonomia sektora publicznego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004.
- Szmuksta-Zawadzka M., Zawadzki J., *Z badań nad metodami prognozowania na podstawie niekompletnych szeregów czasowych z wahaniami okresowymi (sezonowymi)*, „Przegląd Statystyczny” 2012, nr 1 (numer specjalny).
- Tarapata Z., *Analiza możliwości wykorzystania wybranych modeli wygładzania wykładniczego do prognozowania wartości WIG-u*, Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Warszawie nr 2, Warszawa 2000.

Tarczyński W., *Dynamiczne ujęcie taksonomicznej miary atrakcyjności inwestycji na przykładzie wybranych spółek notowanych na giełdzie papierów wartościowych w Warszawie*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 394, Szczecin 2004.

www.epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database (dostęp: 23.12.2013).

Załoga E., *Trendy w transporcie lądowym Unii Europejskiej*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2013.

ANALYSIS AND PREDICTION OF AVERAGE COSTS OF ROAD ACCIDENTS IN THE BUILT-UP AREA IN POLAND

Summary

This article applies to the subject of average costs of road accidents, amongst the social costs of transport. The time series of average costs of road accidents in the built-up area in Poland, in the period of 2002–2012 has been analyzed and decomposed. It also pointed for a strong and significant correlation between these average costs and GDP per capita. The article presents the analytical and predictive capabilities of the Holt's model to make forecast at the end of 2013 year and expired forecasts in the period of 2003–2012. Particular attention was paid to the nature of changes in a systematic and random component, respectively defining trend of average costs of road accidents and random fluctuations.

Keywords: transport social costs, road accidents costs, Holt model