ANALIZA ZAGROŻENIA I RYZYKA WYPADKOWEGO W DROGOWYM TRANSPORCIE ŁADUNKÓW NA PRZYKŁADZIE REGIONU MAZOWSZA

LEON PROCHOWSKI[1], LESZEK JEMIOŁ[2]

WAT, PIMOT, UTH w Radomiu

Streszczenie

Dokonano analizy aktualnego zagrożenia wypadkowego, które wynika z drogowego transportu ładunków. Przeprowadzono obliczenia, które pozwoliły na liczbową charakterystykę zagrożenia, spowodowanego ruchem samochodów ciężarowych. Charakterystykę tego zagrożenia przedstawiono z uwzględnieniem okoliczności czasu (doba, tydzień, miesiące). Znaczenie tego zagrożenia rośnie wraz z utrzymywaniem się silnej i trwałej tendencji wzrostu drogowego transportu ładunków w Polsce. Tempo wzrostu ruchu samochodów ciężarowych za ostatnie 10 lat jest prawie dwa razy większe niż w ruchu samochodów osobowych.

Estymacja wartości wskaźników zagrożenia oraz ryzyka ofiar śmiertelnych została przeprowadzona na podstawie analizy wyodrębnionego do tego celu zbioru danych wypadkowych. Okres analizy zdarzeń obejmuje lata 2010-2011, a wartości liczbowe odniesiono do klasycznych miar czasu aktywności zawodowej kierowców. Przeprowadzone obliczenia umożliwiły pokazanie nie tylko udziału tej kategorii pojazdów w tworzeniu istotnej części zagrożenia wypadkowego. Przede wszystkim pokazano zmienny charakter tego udziału oraz wskazano okresy czasu, w których występuje koncentracja zagrożenia wypadkowego oraz są największe wartości wskaźnika ryzyka śmierci w wypadkach z udziałem samochodów ciężarowych.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo transportu, ruch drogowy, transport ładunków, samochody ciężarowe, Mazowsze

1. Wprowadzenie

Bezpieczeństwo ruchu drogowego ma istotne znaczenie ekonomiczne, ujmowane coraz częściej jako tzw. zewnętrzne koszty transportu ładunków [2, 5, 6, 8]. Dominujący składnik tych kosztów wynika z wypadków drogowych z udziałem samochodów ciężarowych. Dostępne dane statystyczne pokazują wysoką liczbę wypadków w Polsce. Wychodząc

[1] Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transport, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 3, 00-908 Warszawa 49, Polska, e-mail: lprochowski@wat.edu.pl, tel. 22 683 78 66

[2] Przemysłowy Instytut Motoryzacji, ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Mechaniczny, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, ul. Chrobrego 45, 26-600 Radom, Polska, e-mail: leszek.jemiol@uthrad.pl, tel. 48 361 76 66

naprzeciw mocno akcentowanym dążeniom do poprawy jakości i ochrony życia oraz zdrowia, a także realizując Narodowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego [5] dokonano analizy zagrożenia i ryzyka wypadkowego w drogowym transporcie ładunków. Obszar analizy szczegółowej został ograniczony do województwa mazowieckiego, ale w kilku istotnych zagadnieniach wyniki odniesiono do wartości za cały kraj.

Podstawowym celem pracy jest wskazanie specyficznych cech, które charakteryzują właściwości zagrożeń wypadkowych w drogowym transporcie ładunków. Rozważany problem ujęto na podstawie wyników obliczeń liczbowych charakterystyk zagrożeń oraz ich modeli analitycznych. Modele te, mimo ich przybliżonego charakteru, ułatwiają analizę zasadniczych cech i przebiegu obserwowanych procesów, które mają dużą zmienność.

Poznanie czasowych charakterystyk zagrożenia i ryzyka wypadkowego w drogowym transporcie ładunków ma istotne znaczenie w wielu aspektach, m.in.:

- tworzenia podstaw obliczeniowych do wyznaczania udziału wypadków drogowych w kosztach zewnętrznych transportu;
- planowania i realizacji zadań transportowych;
- planowania pracy służb ratownictwa, nadzoru ruchu drogowego oraz organizacji ruchu;
- szkolenia kierowców.

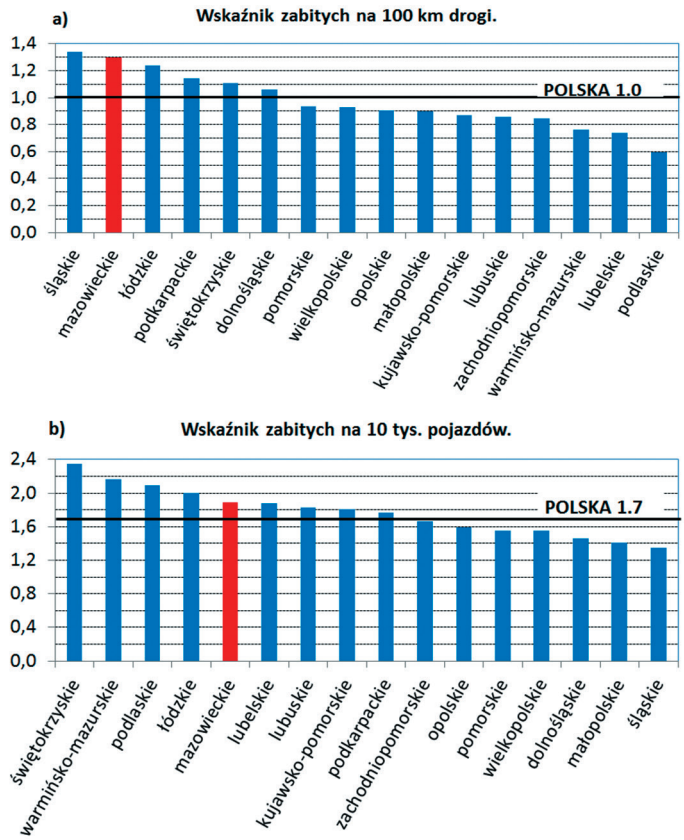
Województwo mazowieckie, które wybrano do szczegółowej analizy, posiada największą powierzchnię w Polsce. Jednocześnie należy do najbardziej zróżnicowanych wewnętrznie województw w kraju. Składa się ono z:

- aglomeracji warszawskiej, która pełni funkcję ważnego dla Europy węzła transportowego;
- pozostałej części województwa – charakteryzującej się wskaźnikami rozwoju ekonomicznego poniżej średniej krajowej [2].

Aglomeracja warszawska jest ważnym węzłem dla transeuropejskich korytarzy transportowych (Trans European Network – TEN). Spośród dziesięciu głównych korytarzy sieci TEN, trzy przebiegają przez Warszawę [2]. Warszawa jest kluczowym węzłem w sieci transportowej Polski. Te uwarunkowania skutkują nadmiernym łączeniem się ruchu międzymiastowego z ruchem lokalnym i wysokim zagrożeniem wypadkowym. Ilościowe charakterystyki tego zagrożenia w sposób przykładowy pokazano na rysunku 1 i w tabeli 1. Wykorzystano w tym celu wartości wskaźników względnych, które ułatwiają porównanie stanu bezpieczeństwa w ruchu drogowym na Mazowszu z innymi województwami oraz za całą Polskę.

Tabela 1. Liczba ofiar śmiertelnych, odniesiona do 100 000 mieszkańców

Rok analizy	Mazowsze	Polska
2002	18,7	15,2
2007	18,2	14,6
2010/2011	12,8	10,5



Rys. 1. Liczba ofiar śmiertelnych wypadków drogowych, odniesiona do 100km dróg (a) oraz do 10 000 pojazdów (b) w poszczególnych województwach (wartości średnie za lata 2010-2011)

Wartości wskaźników (rys. 1, tabela 1), które odnoszą liczbę ofiar śmiertelnych wypadków do długości dróg, liczby pojazdów i liczby mieszkańców na Mazowszu należą do najwyższych w porównaniu do pozostałych województw w kraju. Przykładowo, podane w tabeli 1 wartości wskaźnika ofiar śmiertelnych wypadków drogowych, odniesione do liczby mieszkańców Mazowsza są o 20% wyższe niż średnio w kraju. Wartości te należą do najwyższych w kraju. Znacznie wyższy poziom zagrożenia wypadkowego na Mazowszu niż średnio w Polsce utrzymuje się od wielu lat [2].

2. Metodyka analizy zagrożenia oraz jego wskaźniki i charakterystyki

Rola, jaką spełniają samochody ciężarowe w gospodarce krajowej stale rośnie. W latach 2000-2010 udział samochodów ciężarowych w krajowym transporcie ładunków zwiększył

się z 26% do 70% [7]. To uzasadnia potrzebę analizy specyfiki zagrożeń, które są związane z tym transportem. Obliczenie koniecznych do tego celu wskaźników i charakterystyk wymaga wielu informacji liczbowych. Przygotowana w tym celu metodologia badawcza została przedstawiona w [7] i składa się z kilku etapów:

1. Pozyskanie danych ze źródeł pierwotnych.
2. Grupowanie i klasyfikacja zdarzeń związanych z ruchem samochodów ciężarowych.
3. Estymacja wskaźników zagrożenia i charakterystyk pomocniczych.
4. Analiza wyników estymowania w celu identyfikacji cech zagrożenia w drogowym transporcie ładunków.

Korzystając z danych pierwotnych [10], zgromadzonych na podstawie opisu każdego wypadku, wyodrębniono wypadki z udziałem samochodów ciężarowych traktując, że ruch tych pojazdów stanowi realizację zadania transportu ładunków. W procesie identyfikacji każdego z tych wypadków na Mazowszu ustalano jego godzinę, dzień tygodnia i miesiąc. Tak powstał zasadniczy zbiór danych, który jest przedmiotem obliczeń i analizy w pracy.

Charakterystyki i wskaźniki, obliczone dla wypadków z udziałem samochodów ciężarowych, w kilku miejscach pracy porównano z danymi prezentowanymi corocznie przez KGP [12], a które dotyczą całości wypadków drogowych w Polsce. Liczba wypadków i ich ofiar, wynikająca z ruchu samochodów ciężarowych jest zmienna i wynosi od 4 do 11% całkowitej liczby wypadków w Polsce.

Wykorzystano następujące wskaźniki, które umożliwią liczbową ocenę zagrożeń wynikających z drogowego transportu ładunków:

1. Procentowy wskaźnik udziału wypadków, w których uczestniczyły samochody i-tej kategorii i które miały miejsce w poszczególnych (j-tych) godzinach, dniach i miesiącach, odniesiony do sumy tych wypadków za cały rok

$$p_{Wji} = \frac{W_{ji}}{W_{Mi}} 100\% \tag{1}$$

2. Wskaźnik ryzyka śmierci w wypadku drogowym z udziałem i-tej kategorii pojazdów

$$w_{Zi} = \frac{Z_i}{R_i + Z_i} \tag{2}$$

3. Procentowy wskaźnik zagrożenia wypadkowego, który wynika z udziału wypadków, w których uczestniczyły pojazdy i-tej kategorii w całkowitej liczbie wypadków, w których uczestniczyły pojazdy wszystkich kategorii w analizowanym przedziale czasu

$$p_{Wi} = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^{k} W_i} 100\% \tag{3}$$

Zastosowano następujące oznaczenia:

i - i-ta kategoria pojazdów;

k - liczba branych pod uwagę kategorii pojazdów w ruchu drogowym;

W_i - liczba wypadków z udziałem pojazdów i-tej kategorii;

W_{Mi} - suma wypadków z udziałem pojazdów i-tej kategorii w ciągu roku na Mazowszu;

R_i, Z_i - liczba osób rannych lub zabitych w wypadkach drogowych z udziałem i-tej kategorii pojazdów.

Okres analizy ustalono na lata 2010- 2011. Liczby charakteryzujące wypadki i ofiary związane z ruchem samochodów ciężarowych, po ich dystrybucji na poszczególne godziny, dni itp. są małe i charakteryzują się dużą zmiennością. Z tego względu do analizy wybrano wartości uśrednione za dwa lata.

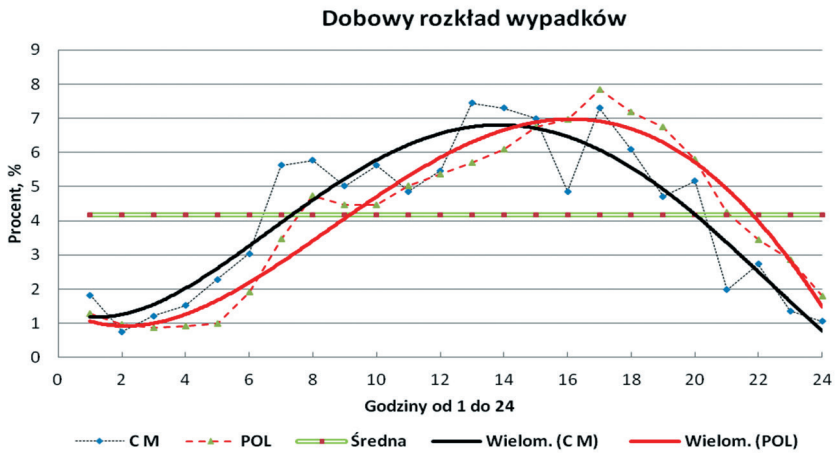
3. Charakterystyka rozkładu wypadków w transporcie ładunków w przekroju dobowym, tygodniowym i rocznym

Drogowy transport ładunków w decydującej mierze wykonują kierowcy zawodowi. Prowadzone analizy efektywności pracy pracowników wskazują, że jest uzasadnione rozpatrywanie stopnia zagrożenia wypadkowego z uwzględnieniem okoliczności czasu [3, 4, 9, 13]. Z tego powodu w dalszej analizie wzięto pod uwagę przedziały czasu, które są charakterystyczne w pracy kierowców zawodowych i realizacji zadań transportowych, a mianowicie: doba, tydzień i rok.

Na rysunkach 2-4 pokazano dobowy, tygodniowy i roczny rozkład wypadków, które miały miejsce z udziałem samochodów ciężarowych na Mazowszu (oznaczenie CM). Pokazano to w ujęciu procentowym, obliczonym według (1). Wśród wybranych miar czasu, doba i tydzień mają swoje silne odbicie w przebiegu zmian wartości wskaźników zagrożenia. Przede wszystkim jest dobrze widoczny cykliczny charakter zmian zagrożenia wypadkowego w transporcie ładunków, związany z tymi okresami czasu. Cykliczność w okresie rocznym jest w znacznej części uzależniona od warunków atmosferycznych oraz związaną z tym charakterystyką natężenia ruchu drogowego.

Jednak w każdym z tych okresów czasu rozkład wypadków z udziałem samochodów ciężarowych wyraźnie odbiega od ogólnego rozkładu wypadków w Polsce, czyli obliczonego za wszystkie kategorie pojazdów.

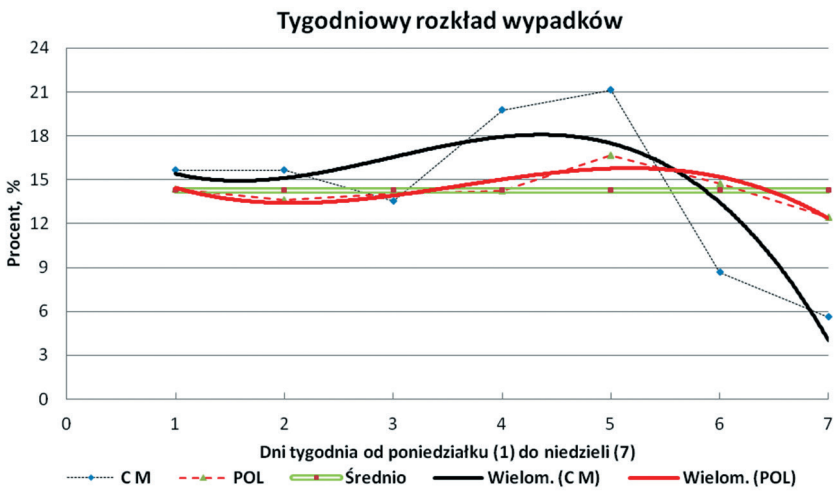
Na rysunku 2 pokazano dobowy rozkład wypadków z udziałem samochodów ciężarowych w ruchu drogowym na Mazowszu (linie CM) oraz dobowy rozkład wszystkich wypadków w ruchu drogowym w Polsce (linie oznaczone POL). Na rysunku są cienkie linie kreskowe, które łączą punkty obliczeniowe oraz linie ciągłe pogrubione. Te linie pokazują przebieg funkcji aproksymujących (tabela 2), wyznaczonych z wykorzystaniem modelu wielomianowego. Wysokie wartości współczynnika determinacji wskazują na poprawny dobór modelu do analizowanego problemu.



Rys. 2. Rozkład procentowy wypadków na godziny w ciągu doby; wypadki z udziałem samochodów ciężarowych na Mazowszu (CM) i wszystkie wypadki w ruchu drogowym w Polsce (POL)

Tabela 2. Funkcje aproksymujące dobowy rozkład wypadków (procentowy), x- godzina

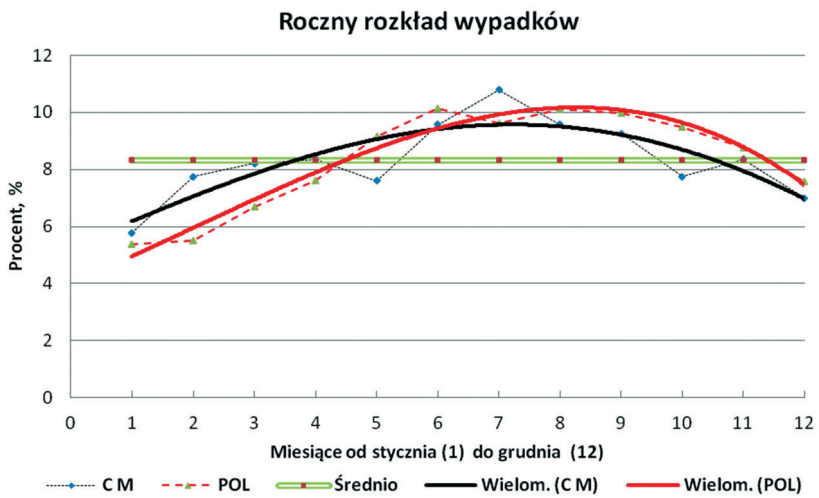
Wyszczególnienie	Funkcja aproksymująca	Współczynnik determinacji
CM	$y = -0{,}003x^4 + 0{,}0801x^3 - 0{,}6566x^2 + 1{,}4458x + 8{,}716$	$R^2 = 0{,}50$
POL	$y = 0{,}00008x^4 - 0{,}0074x^3 + 0{,}153x^2 - 0{,}5503x + 1{,}4674$	$R^2 = 0{,}95$



Rys. 3. Rozkład procentowy wypadków na poszczególne dni tygodnia; wypadki z udziałem samochodów ciężarowych (linie CM) i wszystkie wypadki w Polsce (POL)

Tabela 3. Funkcje aproksymujące tygodniowy rozkład wypadków (procentowy), x- kolejny dzień tygodnia

Wyszczególnienie	Funkcja aproksymująca	Współczynnik determinacji
CM	$y = -0{,}2955x^3 + 2{,}6342x^2 - 6{,}1237x + 19{,}192$	$R^2 = 0{,}73$
POL	$y = -0{,}1589x^3 + 1{,}7266x^2 - 5{,}1058x + 17{,}987$	$R^2 = 0{,}82$



Rys. 4. Rozkład procentowy wypadków na miesiące w roku; wypadki z udziałem samochodów ciężarowych na Mazowszu (CM) i wszystkie wypadki w Polsce (POL)

Tabela 4. Funkcje aproksymujące rozkład wypadków na poszczególne miesiące, x- kolejny miesiąc w roku

Wyszczególnienie	Funkcja aproksymująca	Współczynnik determinacji
CM	$y = 0{,}0002x^4 - 0{,}0092x^3 + 0{,}0113x^2 + 0{,}8976x + 5{,}2858$	$R^2 = 0{,}72$
POL	$y = -0{,}0088x^3 + 0{,}0556x^2 + 0{,}8838x + 4{,}0339$	$R^2 = 0{,}96$

Na podstawie przyjętego modelu wielomianowego i przebiegu funkcji aproksymujących można ustalić charakterystyczne cechy rozkładu wypadków w drogowym transporcie ładunków (CM) w funkcji czasu, a mianowicie:

- rozkład wypadków w funkcji czasu ma wyraźne widoczne obszary o największej koncentracji wypadków i o najmniejszej ich liczbie (rysunki 2-4 i tabela 5);
- odchylenie wartości dobowego i rocznego rozkładu wypadków CM od wartości średniej rozkładu ma wartości zbliżone do odchylenia obserwowanego w ogólnym rozkładzie wypadków POL; odchylenie to podano w tabeli 5 jako procent od wartości średniej;
- w rozkładzie wypadków na dni tygodnia mamy niewielkie odchylenia wartości ogólnego rozkładu wypadków POL od wartości średniej oraz ponad trzykrotnie większą zmienność rozkładu wypadków CM; pokazuje to silny związek rozkładu tych wypadków

z charakterem aktywności kierowców zawodowych (ściślej: wykonujących drogowy transport ładunków) w ciągu tygodnia;

- analizowane funkcje rozkładu wypadków mają jeden punkt wspólny (punkt przecięcia na rysunkach 2- 4) w rozważanych przedziałach czasu (doba, tydzień, rok);
- po lewej stronie punktu przecięcia jest przedział czasu, w którym obserwuje się zdecydowaną koncentrację wypadków samochodów ciężarowych (CM), widoczną w przewadze udziału procentowego względem rozkładu wszystkich wypadków w Polsce (POL);
- po prawej stronie punktu przecięcia mamy przedział czasu, w którym koncentracja wypadków z udziałem środków transportu ładunków jest wyraźnie mniejsza niż obserwowana w rozkładzie procentowym wszystkich wypadków (POL).

Tabela 5. Średni udział procentowy i obserwowany zakres zmian tego udziału w przyjętych przedziałach czasu

Mazowsze CM	Średni udział, %	Wartość minimalna rozkładu	Odchylenie wartości min. od średniej	Wartość maksymalna rozkładu	Odchylenie wartości max. od średniej
Godziny w ciągu doby	4,17	0,76 (2 h)	-3,31 (79%)	7,45 (13 h)	+3,28 (79%)
Dni tygodnia	14,29	5,62 (Niedziela)	-8,67 (61%)	21,12 (Piątek)	+6,83 (48%)
Miesiące w roku	8,33	5,78 (Styczeń)	-2,55 (31%)	10,79 (Lipiec)	+2,46 (30%)
Polska (POL)					
Godziny w ciągu doby	4,17	0,88 (3 h)	-3,29 (79%)	7,83 (17 h)	+3,66 (88%)
Dni tygodnia	14,29	12,44 (Niedziela)	-1,85 (13%)	16,69 (Piątek)	+2,40 (17%)
Miesiące w roku	8,33	5,37 (Styczeń)	-2,96 (36%)	10,15 (Czerwiec)	+1,82 (22%)

Średni udział procentowy obliczono

$$p_{SR} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} p_j \tag{4}$$

p_{SR} - średni udział , obliczony za godzinę, dobę i miesiąc;

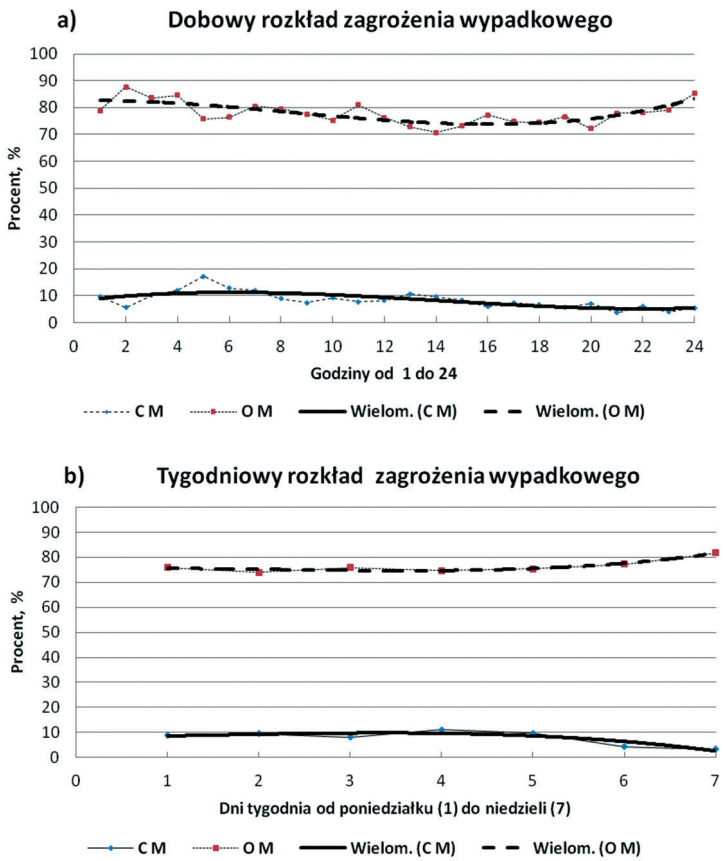
n - liczba branych pod uwagę składników czyli godzin, dni tygodnia lub miesięcy w roku;

p_j - j-ta wartość obliczonego udziału procentowego, np. według zależności (1)

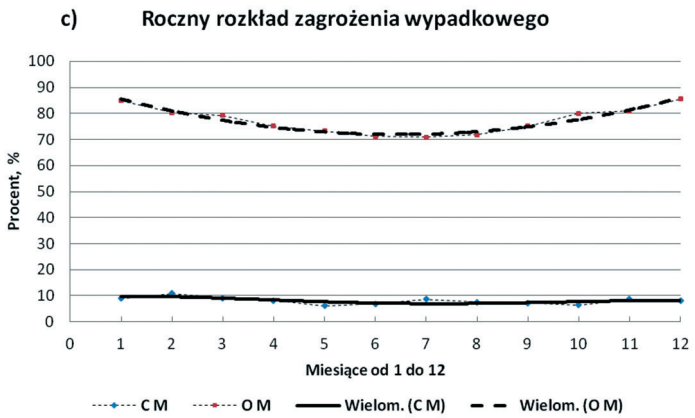
.

4. Analiza zagrożenia wypadkowego w relacji samochody ciężarowe samochody osobowe

Obliczenia wartości wskaźników zagrożenia wypadkowego wykonano według (3) dla dwóch kategorii samochodów: ciężarowe (CM) i osobowe (OM) w ruchu drogowym na Mazowszu. Pokazane w tym miejscu wartości wskaźnika zagrożenia, które wynikają z ruchu samochodów osobowych stanowią odniesienie podczas analizy zagrożenia wynikającego z drogowego transportu ładunków. Samochody ciężarowe i osobowe uczestniczą łącznie w ponad 85% z całkowitej liczby wypadków. Wzajemne położenie linii wykresów (rys. 5) pokazuje nie tylko udział tych kategorii pojazdów w tworzeniu zasadniczej części zagrożenia wypadkowego, ale przede wszystkim zmienny i zdecydowanie różny charakter udziału tych dominujących kategorii pojazdów w całości zagrożenia wypadkowego w funkcji czasu.



Rys. 5. Rozkład zagrożenia wypadkowego na Mazowszu w funkcji czasu; a-dobowy, b- tygodniowy, c- roczny



Rys. 5. Rozkład zagrożenia wypadkowego na Mazowszu w funkcji czasu; a-dobowy, b- tygodniowy, c- roczny, cd.

Tabela 6. Charakterystyka zagrożenia wypadkowego, które wynika z udziału samochodów ciężarowych (CM) i osobowych (OM) w ruchu drogowym na Mazowszu

Kategoria	Ciężarowe	Ciężarowe	Osobowe	Osobowe
Wartość udziału w całości zagrożenia	Min	Max	Min	Max
Godziny w ciągu doby	5% (20-24)	11% (5-7)	75% (14-17)	83% (23-03)
Dni tygodnia	4% (niedziela)	10% (środa, czwartek)	75% (wtorek-czwartek)	82 (niedziela)
Miesiące w roku	7% (czerwiec-sierpień)	10% (styczeń, luty)	72% (maj-lipiec)	85% (grudzień, styczeń)

Rysunek 5 i wartości w tabeli 6 pokazują dużą zmienność i znaczną rozpiętość wartości wskaźnika zagrożenia wypadkowego, które wynikają z udziału środków transportu ładunków w wypadkach drogowych. Wartości tego udziału zmieniają się od najmniejszych (4-5%), który ma miejsce w niedziele i w godzinach 20-24 całego tygodnia. Natomiast największy udział (10-11%) samochodów ciężarowych w tworzeniu zagrożenia wypadkowego obserwuje się w środku tygodnia w godzinach 5-7 rano.

Ten zakres zmienności można odnieść do czasu aktywności kierowców zawodowych jak i terminów realizacji dostaw ładunków. Cechą charakterystyczną analizowanych rozkładów jest duża zmienność zagrożenia wypadkowego w drogowym transporcie ładunków w ciągu doby oraz w przekroju tygodniowym. W ciągu doby udział środków transportu ładunków w tworzeniu zagrożenia wypadkowego rośnie od 5% w godzinach 20-24 aż do 11% w godzinach porannych 5-7, czyli staje się ponad dwukrotnie wyższy niż w nocy.

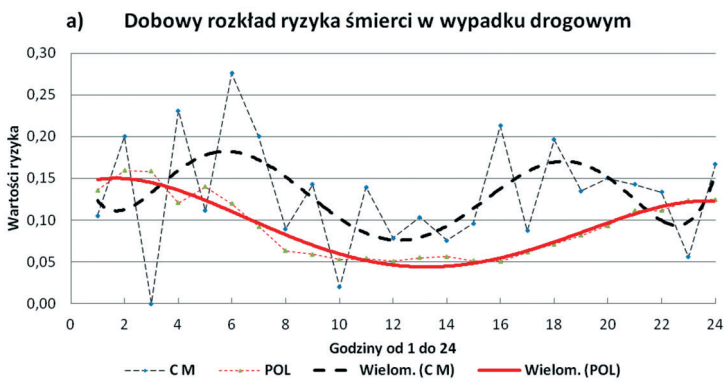
Inne są przedziały czasu, w których występuje najmniejszy i największy udział zagrożenia wypadkowego, związanego z ruchem samochodów osobowych w całości wypadków drogowych. Najmniejsze wartości wskaźnika zagrożenia wypadkowego w ruchu samochodów osobowych (72-75%) występują w miesiącach maj-lipiec i w godzinach 14-17, a największe (83-85%) są w miesiącach grudzień-styczeń i w godzinach 23-03. Zagrożenie wypadkowe, które wynika z ruchu samochodów osobowych charakteryzuje niewielka zmienność jego wartości w przekroju dobowym, tygodniowym jak i rocznym.

Podane wyżej liczby charakteryzują udział procentowy dwóch kategorii pojazdów w tworzeniu całości zagrożenia wypadkowego. Są to ważne składniki całości zagrożenia wypadkowego i dodatkowo cechy charakterystyczne ich rozkładu są w kilku aspektach wyraźnie inne niż często opisywany rozkład całości wypadków w Polsce na godziny, dni i miesiące [12].

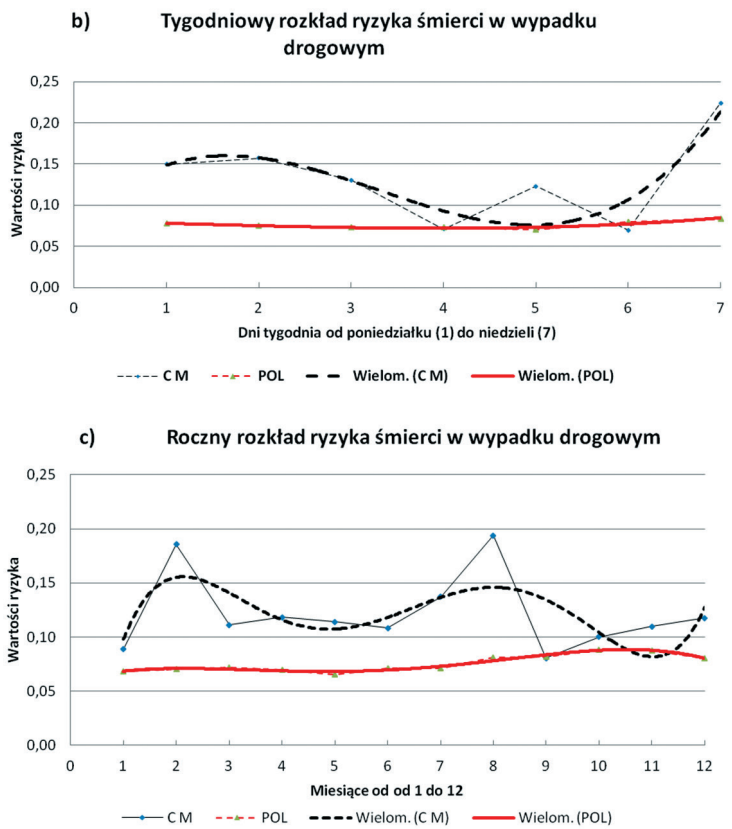
5. Analiza wartości wskaźnika ryzyka śmierci w wypadku drogowym z udziałem środków transportu ładunków

Wyniki obliczeń wartości wskaźnika ryzyka śmierci w wypadkach z udziałem środków transportu ładunków pokazano na rysunku 6. Wartości wskaźnika, które obliczono na podstawie zależności (2), są miarą ryzyka wystąpienia ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych z udziałem środków transportu ładunków, czyli samochodów ciężarowych.

Wartości wskaźnika ryzyka śmierci w wypadkach CM charakteryzują się dużą zmiennością. W celu określenia zasadniczych cech tej zmienności dokonano aproksymacji wyników obliczeń z wykorzystaniem modelu wielomianowego. Przebieg funkcji aproksymujących zaznaczono linia pogrubioną na rysunku 6.



Rys. 6. Rozkład ryzyka śmierci w wypadku drogowym; a- dobowy, b- tygodniowy, c- roczny



Rys. 6. Rozkład ryzyka śmierci w wypadku drogowym; a- dobowy, b- tygodniowy, c- roczny, cd

Przeprowadzone obliczenia pokazały kilka istotnych cech analizowanego wskaźnika (analiza wykonana na podstawie przebiegu funkcji aproksymującej na rys. 6 oraz danych w tabeli 7):

- rozkład wartości wskaźnika w funkcji czasu, obliczony dla wypadków z udziałem samochodów ciężarowych (CM), jest zdecydowanie inny niż obliczony dla wszystkich wypadków drogowych (POL);
- wartości średnie wskaźnika ryzyka śmierci w wypadkach z udziałem samochodów ciężarowych są prawie o 45% wyższe niż w wypadkach samochodów osobowych i 41% wyższe niż we wszystkich rodzajach wypadków drogowych (rozpatrywanych łącznie);
- w dobowym i rocznym rozkładzie wartości wskaźnika ryzyka śmierci w wypadkach z udziałem środków transportu ładunków są widoczne dwa obszary koncentracji wysokich wartości wskaźnika ryzyka śmierci, a mianowicie w miesiącach luty-marzec i lipiec-wrzesień oraz godzinach 5-7 i 17-19;
- rozkład dobowy ryzyka śmierci we wszystkich wypadkach drogowych (POL) posiada wysoką fluktuację wartości z wyraźnym maksimum w godzinach 24-02 i minimum w środku dnia (godziny 12-14);

- w rozkładzie tygodniowym i rocznym wskaźnika dla wszystkich wypadków (POL) rozrzut wartości jest mały i nie przekracza 6-10% od średniego poziomu;
- wysoka zmienność wartości ryzyka (tabela 7) w ciągu doby jest związana z typową rytmiką aktywności dobowej ludzi oraz z czasem pracy kierowców zawodowych.

Tabela 7. Wartości średnie wskaźnika ryzyka śmierci i charakterystyka jego rozrzutu

Wyszczególnienie	Ciężarowe, Mazowsze (CM)	Osobowe, Mazowsze (OM)	Wszystkie wypadki, Polska (POL)
Wartość średnia	0,13	0,072	0,076
Odchylenie standardowe od wartości średniej w rozkładzie dobowym; odchylenie procentowe	0,066 51%	0,037 43%	0,037 41%
Odchylenie standardowe od wartości średniej w rozkładzie tygodniowym; odchylenie procentowe	0,053 40%	0,012 17%	0,005 6%
Odchylenie standardowe od wartości średniej w rozkładzie rocznym; odchylenie procentowe	0,035 28%	0,017 24%	0,008 10%

6. Podsumowanie i wnioski

Rozpatrzono zagrożenie wypadkowe związane z drogowym transportem ładunków jako funkcję czasu, a miary tego czasu są zgodne z typowymi miarami aktywności zawodowej kierowców samochodów ciężarowych. Pokazano rozkład procentowy zagrożenia wypadkowego i ryzyka śmierci w przekroju dobowym, tygodniowym i rocznym. Obliczenia wykazały dużą zmienność wartości wskaźników zagrożenia wypadkowego. Mocno jest widoczny cykliczny charakter zmian wartości wskaźników w drogowym transporcie ładunków. Rozkład wypadków (rys. 2-4) i zagrożenia wypadkowego (rys. 5) w funkcji czasu mają wyraźne widoczne obszary o największej koncentracji wypadków i o najmniejszej ich liczbie, a ich położenie na skali czasu dla wypadków środków transportu ładunków (CM) jest zdecydowanie inne niż obliczone dla całości wypadków drogowych w Polsce (POL).

Przykładowo, w rozkładzie dobowym wartości wskaźnika zagrożenia wypadkowego CM rosną od 5% w godzinach 20- 24 do 11% w godzinach porannych 5-7. To jest wzrost ponad dwukrotny. Porównywane wartości wskaźnika zagrożenia wypadkowego, wynikającego z ruchu samochodów osobowych OM, charakteryzują się niewielką zmianą wartości w ciągu doby, tygodnia i roku.

W rozkładzie wypadków na dni tygodnia (rys. 3) mamy niewielkie odchylenia wartości ogólnego rozkładu wypadków w Polsce od wartości średniej oraz ponad trzykrotnie większą zmienność rozkładu wypadków w analizowanym ruchu samochodów ciężarowych na Mazowszu (CM). To potwierdza silny związek rozkładu tych wypadków z charakterem aktywności kierowców zawodowych w ciągu tygodnia.

Rezultaty analizy zmian wartości wskaźnika ryzyka śmierci w wypadku drogowym wskazują, m.in.:

- w dobowym i rocznym rozkładzie wartości wskaźnika ryzyka śmierci (rys. 6) w wypadkach z udziałem środków transportu ładunków są widoczne dwa obszary koncentracji wysokich wartości wskaźnika ryzyka śmierci, a mianowicie w miesiącach luty-marzec i lipiec- wrzesień oraz godzinach 5-7 i 17-19;
- wysoka zmienność wartości ryzyka śmierci w wypadkach z udziałem samochodów ciężarowych (tabela 7) w ciągu doby jest związana z typową rytmiką aktywności dobowej ludzi oraz z czasem pracy kierowców zawodowych.

W każdym z analizowanych okresów czasu rozkład wypadków, zagrożenia wypadkowego i ryzyka śmierci w wypadkach z udziałem samochodów ciężarowych wyraźnie odbiega od łącznego rozkładu wszystkich wypadków w Polsce, czyli obliczonego za wszystkie kategorie pojazdów. To potwierdza konieczność odrębnego wyliczania zagrożenia wypadkowego oraz ryzyka śmierci dla ruchu środków transportu ładunków, szczególnie podczas analizy kosztów zewnętrznych transportu ładunków. Nie można potrzebnych do tego celu wartości opierać na wnioskach wynikających z ogólnego rozkładu wypadków w Polsce.

Literatura

[1] DE ANGELIS L., ROUBANIS N, *Analysis of trends in EU road freight transport*, Eurostat, Statistics in focus, No 38/2012.

[2] GIDLEWSKI M., MATUSZEWSKI T., PROCHOWSKI L., WICHER J., *Program poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego na Mazowszu*, GAMBIT Mazowiecki, Warszawa 2009.

[3] FRIDSTRØM, L., IFVER, J., INGEBRIGTSEN, S., KULMALA, R., THOMSEN, L., *Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts.* Accident Analysis and Prevention 27 (1), 1995.

[4] MITAS A., BUGDOL M., RYGUŁA A., *The psychophysiological conditionings of driver's work under the aspect of traffic safety.* Transport Problems, vol. 4, issue 1, 2009.

[5] *Narodowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2013 – 2020,* KR BRD , Warsaw, 2013.

[6] PROCHOWSKI L., *Analysis of the relations between the road category and the fatality of road transport accidents*, Logistics and Transport, vol 14, No 1, 2012.

[7] PROCHOWSKI L., *Analysis of the impact of road category and day of the week on accident hazard in the road transport of goods in Poland,* Journal of KONES Powertrain and Transport, vol. 20, No 1/2013.

[8] SCHREYER CH., SCHNEIDER CH., MAIBACH M., ROTHENGATTER W., DOLL C., SCHMEDDING D., *External Cost of Transport*. Final Report INFRAS, Zurich/Karlsruhe, 2004.

[9] Scientific Study ETAC European Truck Accident Causation, Volume 1 - Final Report, European Commission, Director General For Energy and Transport, BRUSSELS 2006

[10] *System ewidencji wypadków i kolizji*, KGP Warsaw, 2012.

[11] WICHER J., *Wskaźniki wypadkowości*. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, The Warsaw University of Technology, No. 4/2009.

[12] Wypadki drogowe w Polsce w 2011 [Road accidents in Poland in 2011], KGP Biuro Ruchu Drogowego, Warszawa 2012 .

[13] ZAWILSKA J., NOWAK J., *Circadian Rhythmicity and Biological Clock*, Czasopismo Sen nr 4/2002, Wydawnictwo Medyczne Via Medica, 2002.