

Metoda oceny ryzyka na podstawowej sieci ulic na przykładzie Warszawy¹

KAZIMIERZ JAMROZ

dr hab. inż., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Drogowej; Fundacja Rozwoju Inżynierii Lądowej; e-mail: kjamroz@pg.gda.pl

WOJCIECH KUSTRA

mgr inż., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Drogowej; e-mail: wkustra@pg.gda.pl

ANNA GOBIS

mgr inż., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Drogowej; e-mail: agobis@pg.gda.pl

DANIEL GAJEWSKI

Zarząd Dróg Miejskich w Warszawie

Streszczenie. W artykule przedstawiono wykorzystanie oceny ryzyka do zarządzania bezpieczeństwem infrastruktury drogowej. W pierwszej części zaprezentowano uwarunkowania prawne oraz doświadczenia zagraniczne, które były przesłankami do opracowania metody oceny ryzyka na elementach liniowych i punktowych podstawowej sieci dróg miejskich w Warszawie. W drugiej części przedstawiono przyjęte założenia, opis obiektów analizy, okres analizy, specyfikację głównych problemów oraz wybrane miary ryzyka społecznego i indywidualnego. W trzeciej części opisano sposób przygotowania danych o sieci drogowej (podział na odcinki jednorodny, wybór skrzyżowań, przejścia dla pieszych) oraz natężeniu i bezpieczeństwie ruchu drogowego, które są niezbędne do wykonywania niniejszej metody oceny ryzyka. Dwie kolejne części obejmują procedurę przeprowadzenia klasyfikacji ulic i skrzyżowań ze względu na ryzyko społeczne i indywidualne. Ostatnia część artykułu zawiera opis procedury, której celem jest identyfikacja i ranking najbardziej niebezpiecznych odcinków, skrzyżowań i przejść dla pieszych na sieci ulic w Warszawie.

Słowa kluczowe: sieć ulic, ocena ryzyka, metoda, odcinki ulic, skrzyżowania

Wprowadzenie

System Zarządzania Bezpieczeństwem w Miastach (Urban Safety Management – USM) zdefiniowano pierwszy raz w roku 1980 w TRL. USM jest to systematyczne podejście do bezpieczeństwa ruchu drogowego polegającego na działaniach prewencyjnych wpływających na unikanie wypadków drogowych i ochronnych umożliwiających redukcję liczby ofiar wypadków drogowych. Takie działanie jest możliwe do osiągnięcia jedynie poprzez zintegrowane, wielodyscyplinarne podejście obejmujące poszczególne służby i dziedziny: zarządzanie ruchem, zarządzanie transportem, edukację, nadzór nad ruchem, ratownictwo itp. Proces zarządzania bezpieczeństwem w tym podejściu składa się z sześciu faz i obejmuje: analizy, strategię, planowanie, projektowanie, wdrożenia i ocenę skuteczności [12].

Sposób zarządzania bezpieczeństwem w tym podejściu jest realizowany na dwóch strategicznych poziomach, skupiając się:

- na obszarach całego miasta, biorąc pod uwagę istniejące i przewidywane problemy, na działaniach po-

rzędzących i rozwijających hierarchiczny układ sieci ulic, wyróżniając: podstawowy układ ulic, ulice zbiorcze, obszary ruchu uspokojonego, obszary ruchu pieszego oraz system dróg rowerowych;

- na małych lokalnych obszarach, na wybranych elementach sieci ulicznej lub lokalnych problemach brd, albo lokalnej aplikacji rozwiązań przewidzianych do wdrażania, których zakres silnie uzależniony jest od dostępnych środków finansowych.

Pierwszą fazą wdrażania tego podejścia jest analiza obejmująca: identyfikację problemów bezpieczeństwa i mobilności, lokalizację miejsc najbardziej niebezpiecznych, dokładne rozpoznanie miejsc najbardziej niebezpiecznych [14].

W ciągu kolejnych lat pojawiły się nowe podejścia do zarządzania bezpieczeństwem infrastruktury drogowej, polegające na stosowaniu w planowaniu, projektowaniu, budowie i użytkowaniu infrastruktury drogowej procedur polegających na systematycznej identyfikacji zagrożeń na drodze, szacowaniu ich ewentualnych skutków dla uczestników ruchu drogowego oraz stosowaniu działań eliminujących zidentyfikowane zagrożenia lub zmniejszających skutki ich występowania [16]

Dobre podstawy do budowy narzędzi zarządzania bezpieczeństwem infrastruktury drogowej dają wymagania zapisane w Dyrektywie 2008/96/WE. Wymagania te dotyczą zarówno planowanej, jak i istniejącej sieci drogowej. W przypadku istniejącej sieci drogowej zarządzanie bezpieczeństwem obejmuje [6,13]:

- identyfikację najbardziej niebezpiecznych odcinków istniejącej sieci drogowej, zwaną klasyfikacją odcinków niebezpiecznych;
- identyfikację źródeł zagrożeń i oceny zagrożeń na wybranych do dalszej analizy odcinkach dróg (na podstawie kontroli brd przeprowadzonej w terenie);
- wybór najbardziej skutecznych, efektywnych i wykonalnych działań;
- monitorowanie wprowadzonych działań;
- komunikowanie uczestnikom ruchu o poziomie bezpieczeństwa ruchu i występujących zagrożeniach na wszystkich poziomach zarządzania brd.

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2015. Wkład autorów w publikację: K. Jamroz 30%, W. Kustra 20%, A. Gobis 30%, D. Gajewski 20%.

W artykule 5 tego dokumentu [13] zapisano, że państwa członkowskie zapewniają, iż klasyfikacja odcinków dróg o dużej koncentracji wypadków oraz klasyfikacja ze względu na bezpieczeństwo sieci będą sporządzane na podstawie ocen użytkowania sieci drogowej, przeprowadzanych co najmniej raz na trzy lata według przyjętych kryteriów. W załączniku III do tego dokumentu określono kryteria klasyfikacji odcinków dróg o dużej koncentracji wypadków oraz klasyfikacji ze względu na bezpieczeństwo sieci (niestety polskie tłumaczenia dokumentów unijnych są narzucane przez tłumaczy, dlatego często zapisy są niezrozumiałe). Przyjęte kryteria służą do:

- **Identyfikacji odcinków dróg o dużej koncentracji wypadków.** Przy identyfikacji odcinków dróg o dużej koncentracji wypadków brana jest pod uwagę, co najmniej liczba wypadków śmiertelnych, które miały miejsce w poprzednich latach na danym odcinku drogi, w odniesieniu do natężenia ruchu, a w przypadku skrzyżowań – liczba takich wypadków przypadających na dane skrzyżowanie.
- **Identyfikacji odcinków dróg do analizy w ramach klasyfikacji ze względu na bezpieczeństwo sieci.** Przy identyfikacji odcinków do analizy w ramach klasyfikacji ze względu na bezpieczeństwo sieci uwzględnia się ich możliwości zmniejszenia kosztów wypadków. Odcinki dróg dzieli się i grupuje według kategorii dróg. Dla każdej kategorii dróg, odcinki dróg są analizowane i klasyfikowane pod kątem czynników związanych z bezpieczeństwem, takich jak koncentracja wypadków, natężenie ruchu i rodzaj ruchu. Dla każdej kategorii drogi, w wyniku klasyfikacji ze względu na bezpieczeństwo sieci, sporządzona zostaje lista priorytetowych odcinków dróg, w przypadku których oczekuje się, że poprawa infrastruktury będzie wysoce skuteczna.

Ustawa o zmianie ustawy o drogach publicznych i niektórych ustaw [15] wprowadziła konieczność stosowania wymagań Dyrektywy 2008/96/WE (Dyrektywa) na sieci dróg TEN-T w Polsce. Sieć ta w większości zarządzana jest przez GDDKiA, która nie czekając na zapowiadane rozporządzenie ministra właściwego ds. transportu, opracowała i wdrożyła do realizacji własne metody klasyfikacji odcinków niebezpiecznych [2] i prowadzenia kontroli brd [1,11].

Drogi w sieci TEN-T przebiegają także przez miasta na prawach powiatu, które mają własne zarządy drogowe. Jak odpowiednich narzędzi do zarządzania bezpieczeństwem istniejącej infrastruktury drogowej na tej sieci zmuśnięte zarządy do opracowania własnych metod, czego przykładem jest prezentowana w niniejszym artykule metoda oceny ryzyka na podstawowej sieci ulic w Warszawie [7]. Metoda ta obejmuje nie tylko drogi znajdujące się w sieci TEN-T, ale także pozostałe ulice zaliczane do podstawowego układu.

W ciągu ostatnich 10 lat na terenie Warszawy w wyniku wypadków prawie 1000 osób poniosło śmierć, a około

2200 ciężkie obrażenia. Koszty społeczne wypadków wyniosły prawie 5 miliardów złotych. Najtragiczniejszym rokiem był rok 2004 (142 ofiar śmiertelnie, 409 ciężko rannych), najmniej ofiar było w roku 2010 (54 ofiar śmiertelnych, 93 ciężko rannych). Pomimo prowadzonych działań na rzecz poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego spadkowej tendencji nie udało się utrzymać i od roku 2010 nastąpił wzrost liczby wypadków i ofiar wypadków drogowych na sieci ulic miasta.

Założenia i podstawy przyjętej metody oceny ryzyka

Biorąc pod uwagę konieczność wykonania oceny bezpieczeństwa na sieci ulic położonych w sieci TEN-T oraz usprawnienie procedur analizy bezpieczeństwa ruchu na zarządzanej sieci ulic, Zarząd Dróg Miejskich w Warszawie zlecił opracowanie metody oceny ryzyka. Opracowanie wykonał zespół Fundacji Rozwoju Inżynierii Lądowej i Katedry Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej [10]. Głównymi przesłankami do opracowania tej metody było:

- umożliwienie systematycznej oceny bezpieczeństwa ruchu drogowego na istniejącej sieci ulic;
- klasyfikacja odcinków, skrzyżowań i przejść dla pieszych o największej koncentracji wypadków z ofiarami śmiertelnymi oraz kosztów wypadków drogowych (klasyfikacja ze względu na ryzyko indywidualne);
- klasyfikacja odcinków skrzyżowań i przejść dla pieszych o największej gęstości kosztów wypadków i odcinków o największym potencjale redukcji kosztów wypadków drogowych (klasyfikacja ze względu na ryzyko społeczne);
- opracowanie metody wyboru odcinków, skrzyżowań i przejść dla pieszych (krytycznych elementów sieci drogowej), na których działania poprawiające BRD powinny być prowadzone w pierwszej kolejności, ze względu na najwyższe wskaźniki efektywności.

Opracowując metodę, uwzględniono wymagania narzucane przez Dyrektywę [13], zapisy zawarte w ustawie [15], doświadczenia innych krajów, a przede wszystkim doświadczenia autorów podczas prac przy wdrażaniu metody EuroRAP do oceny ryzyka na sieci dróg w Polsce oraz opracowaniu klasyfikacji odcinków na sieci dróg krajowych [2,8].

Najpierw przygotowano autorską koncepcję procedury zarządzania bezpieczeństwem ruchu na sieci ulic miasta. W koncepcji tej zintegrowano dwa podejścia – zarządzanie bezpieczeństwem na „czarnych odcinkach” i w „czarnych punktach”.

Opracowanie metody oceny ryzyka na podstawowej sieci ulic wymagało przyjęcia założeń lub opisania następujących elementów: rodzaje ryzyka, obiekt analizy, okres analizy, specyfikację głównych problemów, identyfikację miar ryzyka, sposób wartościowania i dopuszczalności ryzyka, wybór i ranking elementów niebezpiecznych, sposób raportowania wyników oceny oraz tok postępowania [7].

Rodzaje ryzyka

W ZBID najczęściej wykorzystywane są dwie klasyfikacje ryzyka.

Ryzyko indywidualne jest związane z pojedynczym uczestnikiem ruchu drogowego. Rozumiane, jako prawdopodobieństwo poniesienia strat (np. bycia ofiarą śmiertelną lub ranną) w czasie uczestnictwa użytkownika drogi w ruchu. W przypadku odcinka drogi (koncentracja) obliczane jako liczba wypadków, rannych, ofiar śmiertelnych czy kosztów zdarzeń na pracę przewozową (liczbę przejechanych kilometrów) na rok. W przypadku skrzyżowania, przejścia dla pieszych (intensywność) obliczane jako liczba wypadków, rannych, ofiar śmiertelnych czy kosztów zdarzeń na natężenie na rok

Ryzyko społeczne związane jest ze stratami grup społecznych na wybranym odcinku drogi, skrzyżowaniu, obszarze (np. wypadki, ofiary ranne i śmiertelne, koszty zdarzeń). W przypadku odcinka drogi (gęstość) obliczane jako: liczba wypadków, rannych, ofiar śmiertelnych czy kosztów zdarzeń na długość odcinka na rok. W przypadku skrzyżowania, przejścia dla pieszych (liczba) obliczane jako liczba wypadków, rannych, ofiar śmiertelnych czy kosztów zdarzeń na rok [3,5,8].

Obiekty analizy

- 1) Obiekty liniowe, odcinki ulic. Przyjmuje się przyjąć podział sieci drogowej na odcinki jednorodnie o długości 2–10 km. Odcinki te powinny mieć podobne parametry: klasa drogi (S, GP, G, Z), liczba pasów ruchu, rodzaj obszaru (miejski, zamiejski) oraz zbliżone wielkością natężenie ruchu drogowego.
- 2) Obiekty punktowe:
 - Skrzyżowania. Do budowy metody analizą objęto skrzyżowania, na których w ostatnich 3 latach wystąpiły wypadki drogowe (min. 1 wypadek);
 - Przejścia dla pieszych w obrębie skrzyżowań. Ze względu na niedokładność lokalizacji wypadków w obrębie przejść dla pieszych przyjęto założenia agregacji danych (wszystkie przejścia dla pieszych na skrzyżowaniu jako jeden obiekt);
 - Przejścia dla pieszych poza skrzyżowaniami. Do analizy przyjęto przejścia dla pieszych, na których w ostatnich 3 latach wystąpił co najmniej 1 wypadek drogowy.

Okres analizy

Mimo, że Dyrektywa [13] zaleca prowadzenie klasyfikacji ryzyka raz na trzy lata, proponuje się wykonywanie jej na ci ulic miasta raz do roku. Natomiast dane do analizy ceny bezpieczeństwa ruchu powinny być brane za okres ostatnich trzech lat.

ówne problemy brd

Na podstawie analizy danych o wypadkach i kolizjach drogowych z okresu ostatnich trzech lat zidentyfikowano główne problemy brd, które uwzględniono w opracowanej metodzie, dzieląc je na: miejsca występowania wypadków,

rodzaje wypadków, rodzaje ofiar wypadków, uczestników ruchu drogowego i ich niebezpieczne zachowania. W przypadku Warszawy, ze względu na przygotowywanie zaautomatyzowanego narzędzia wspomagającego prowadzenie oceny ryzyka na sieci ulic, listę problemów obejmowanych analizą znacznie rozszerzono [10]. Rozszerzenia dokonano, biorąc pod uwagę wyniki przeprowadzonej analizy bezpieczeństwa ruchu drogowego. Przygotowano zasady klasyfikacji ryzyka dla następujących problemów (zagrożeń):

1. miejsca występowania zdarzeń drogowych: odcinki ulic, skrzyżowania ulic, przejścia dla pieszych (na skrzyżowaniach i poza skrzyżowaniami);
2. rodzaje zdarzeń drogowych:
 - ogólne: wszystkie zdarzenia, wypadki, wypadki poważne,
 - szczególne: najechanie na pieszego, zderzenia boczne;
3. ofiary wypadków drogowych: ranne, śmiertelne i ciężko ranne, śmiertelne.
4. uczestnicy ruchu drogowego: ogółem, kierujący pojazdami, rowerzyści, motocykliści i motorowerzyści, piesi;
5. niebezpieczne zachowania uczestników ruchu:
 - kierujący pojazdami: nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu, nieprawidłowe przejeżdżanie przejść dla pieszych, jazda z niebezpieczną prędkością i wjazd na skrzyżowanie przy czerwonym świetle,
 - rowerzyści: nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu, nieprawidłowe przejeżdżanie przejść dla pieszych i przejazdów rowerowych, niebezpieczne manewry rowerzystów (zbiór niebezpiecznych manewrów),
 - motocykliści i motorowerzyści: jazda z niebezpieczną prędkością, nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu, niebezpieczne manewry motocyklistów i motorowerzystów (zbiór niebezpiecznych manewrów).
 - piesi: nieostrożne wejście na jezdnię przed jadącym pojazdem, wejście na jezdnię przy czerwonym sygnale, wejście na jezdnię w miejscu niedozwolonym lub zza zaparkowanego pojazdu lub przeszkody.

Miary ryzyka

Na podstawie analiz literatury, doświadczeń innych krajów oraz własnych przyjęto, że na sieci ulic Warszawy będzie prowadzona ocena z użyciem dwóch rodzajów ryzyka: indywidualnego i społecznego. Dla każdego rodzaju ryzyka przyjęto po dwie miary:

- odcinki dróg. Proponowanymi miarami ryzyka indywidualnego są: koncentracja wypadków, koncentracja kosztów wypadków, społecznego: gęstość wypadków, gęstość kosztów wypadków;
- skrzyżowania i przejścia dla pieszych. Proponowanymi miarami ryzyka indywidualnego są: intensywność wypadków, intensywność kosztów wypadków, społecznego: liczba wypadków, koszty wypadków.

Wartościowanie ryzyka

Bazując na wynikach i doświadczeniach z poprzednich prac prowadzonych w Polsce w ramach prac własnych [5] projektów EuroRAP [8] i dla GDDKiA [2], przyjęto pięć klas

ryzyka od A do E (od ryzyka bardzo małego do ryzyka bardzo dużego). Granice podziału na klasy oparto na metodzie probabilistycznej. Wykorzystując dystrybuanty rozkładów poszczególnych miar ryzyka, przyjęto granice pomiędzy klasami, rozkładając równomiernie w pierwszym podejściu liczbę analizowanych obiektów do poszczególnych klas.

Ocena dopuszczalności ryzyka

Zaproponowano następujące kryteria dopuszczalności ryzyka na podstawowej sieci ulic w Warszawie:

- ryzyko niedopuszczalne (klasa E tj. ryzyko bardzo duże), na elementach ulic zaliczonych do tej klasy dopuszczalności konieczne są natychmiastowe działania zmniejszające poziom ryzyka co najmniej do klasy D, przez zastosowanie działań doraźnych (np. zmniejszenie prędkości dopuszczalnej, wprowadzenie zakazu wyprzedzania itp.) do czasu podjęcia działań zasadniczych;
- ryzyko tolerowane (klasy D i C), dopuszczalne chwilowo do czasu zaproponowania i wdrożenia działań zmniejszających ryzyko do klasy B lub A;
- ryzyko dopuszczalne (klasy A i B), pozwalające na kontrolowanie zmian poziomu ryzyka bez konieczności prowadzenia działań zmniejszających ryzyko.

Wybór i ranking odcinków niebezpiecznych

Ostateczny wybór odcinków do objęcia działaniami naprawczymi (przeprowadzenie szczegółowej kontroli brd, wybór działań zaradczych) powinien opierać się na następujących kryteriach:

- kryterium podstawowe – klasyfikacja i ranking niebezpiecznych elementów sieci według kryterium ryzyka społecznego (jako podstawową miarę proponuje się gęstość kosztów wypadków dla odcinków ulic i koszty wypadków drogowych dla skrzyżowań i przejść dla pieszych),
- kryteria pomocnicze – klasyfikacja i ranking niebezpiecznych według pozostałych miar ryzyka indywidualnego i społecznego.

Prezentacja wyników oceny ryzyka

Wyniki z każdorazowej oceny ryzyka powinny być zawarte w raporcie, a syntetyczne wyniki oceny, zgodnie z zaleceniami Dyrektywy, powinny być podawane do wiadomości publicznej. Raport powinien posiadać numer oraz nazwiska wykonawców i składać się z następujących części:

- dane ogólne o ocenianej sieci dróg,
- wyniki klasyfikacji odcinków dróg ze względu na ryzyko indywidualne,
- wyniki klasyfikacji odcinków dróg ze względu na ryzyko społeczne,
- ranking najbardziej niebezpiecznych odcinków ulic, skrzyżowań i przejść dla pieszych,
- podsumowanie.

Wyniki klasyfikacji i rankingi powinny być przedstawiane w formie tabelarycznej i graficznej na mapach w sposób zrozumiały dla przeciętnego czytelnika.

Tok postępowania przy zastosowaniu proponowanej metody obejmuje pięć etapów:

1. Prace przygotowawcze.
2. Wykonanie klasyfikacji odcinków lub skrzyżowań ze względu na ryzyko społeczne.
3. Wykonanie klasyfikacji odcinków lub skrzyżowań ze względu na ryzyko indywidualne.
4. Identyfikacja i ranking odcinków ulic, skrzyżowań i przejść dla pieszych o największym poziomie ryzyka oraz wybór obiektów do analiz szczegółowych.
5. Opracowanie raportu.

Prace przygotowawcze

Pierwszy etap oceny ryzyka obejmuje prace przygotowawcze, do których zalicza się: podział analizowanej sieci dróg na odcinki, wybór skrzyżowań, węzłów i przejść dla pieszych, zebranie danych o ruchu oraz danych o wypadkach drogowych w przyjętym do analizy okresie [10].

Odcinki

W pierwszym kroku należy przeprowadzić podział sieci objętej analizą na odcinki jednorodnie o długości od 2 do 10 kilometrów o tej samej klasie i typie przekroju poprzecznego. Powinny mieć podobne charakterystyki: klasa drogi S, GP, G, Z; rodzaj przekroju poprzecznego: 1x2 lub 2x2 lub 2x3 pasy ruchu; rodzaj obszaru (miejski, zamiejski) oraz zbliżoną wielkość natężenia ruchu drogowego. W niektórych przypadkach odcinek może być krótszy np. dojazdy do węzła, połączenie między różnymi drogami krajowymi lub wojewódzkimi generującymi duże potoki ruchu (ale nie krótszy niż 1 km). Podział ten przygotowuje się przy opracowaniu pierwszej oceny ryzyka (klasyfikacji brd).

Każdy analizowany odcinek drogi powinien być opisany różnymi charakterystykami: drogowymi, ruchowymi, związanymi z bezpieczeństwem ruchu drogowego. Odcinki powinny być ponumerowane. Każdemu analizowanemu odcinkowi drogi należy przypisać: numer drogi, długość odcinka, klasę drogi, liczbę pasów ruchu (przekrój poprzeczny drogi). W kolejnych latach zaleca się utrzymanie pierwotnego podziału na odcinki, w celu umożliwienia porównania zmian poziomu bezpieczeństwa na poszczególnych odcinkach dróg, natomiast w przypadku zmian przebiegu drogi, budowy nowych odcinków dróg itp. należy uzupełnić lub zweryfikować podział na odcinki.

Dla każdego analizowanego odcinka drogi należy zebrać dane o wielkości natężenia ruchu drogowego (średnioroczne dobowe natężenie ruchu N). Na podstawie zebranych danych z analizowanego okresu trzech lat należy obliczyć pracę przewozową wykonaną przez pojazdy na każdym odcinku drogi:

$$PP_{ij} = \frac{3 \cdot 365 \cdot N_{ij} \cdot L_j}{10^9} \quad (1)$$

gdzie:

PP_{ij} – praca przewozowa na j-tym odcinku drogi, w i-tym okresie obliczeniowym (mld Pkm/3 lata)

- i – numer okresu obliczeniowego, $i = 1$ przyjęto dla okresu obliczeniowego 2010–2012, $i=2$ dla okresu obliczeniowego 2011–2013 itp.
- j – numer analizowanego odcinka drogi
- N_{ij} – średnioroczne dobowe natężenie ruchu na j -tym odcinku drogi (P/24 h), w i -tym okresie obliczeniowym (mln pkm/3 lata), do obliczeń przyjmuje się natężenie ruchu z środkowego roku analizowanego okresu trzyletniego
- L_j – długość j -tego odcinka drogi (km).

Skrzyżowania, przejścia dla pieszych

W pierwszym etapie należy wybrać skrzyżowania lub przejścia dla pieszych, na których będzie prowadzona szczegółowa analiza bezpieczeństwa ruchu. Jako kryterium wyboru elementów sieci do objęcia klasyfikacją przyjęto liczbę wypadków, co najmniej 1 w ciągu okresu 3 lat. Przy opracowaniu klasyfikacji w kolejnych latach zaleca się utrzymanie pierwotnego podziału i ewentualnie rozszerzenie o skrzyżowania spełniające przyjęte kryterium w następnych latach.

Każde analizowane skrzyżowanie powinno być opisane różnymi charakterystykami: drogowymi, ruchowymi, związanymi z bezpieczeństwem ruchu drogowego. Skrzyżowania powinny być ponumerowane. Każdemu analizowanemu skrzyżowaniu dróg należy przypisać: numer, nazwy krzyżujących się ulic, rodzaj skrzyżowania, klasę drogi, liczbę pasów ruchu na wlotach.

Dla każdego analizowanego skrzyżowania należy zebrać dane o wielkości natężenia ruchu drogowego (średnioroczne dobowe natężenie ruchu N na skrzyżowaniach) z analizowanego okresu 3 lat. Na podstawie zebranych danych z analizowanego okresu 3 lat należy obliczyć natężenie na skrzyżowaniu, przejściu dla pieszych:

Dla każdego analizowanego odcinka drogi należy zebrać dane o wielkości natężenia ruchu drogowego (średnioroczne dobowe natężenie ruchu N). Na podstawie zebranych danych z analizowanego okresu trzech lat, należy obliczyć sumaryczne natężenie ruchu na każdym skrzyżowaniu i przejściu dla pieszych za analizowany okres według wzoru (2):

$$NS_{ij} = \frac{3 \cdot 365 \cdot \sum N_{ij}}{10^9} \quad (2)$$

gdzie:

- NS_{ij} – sumaryczne natężenie ruchu na j -tym skrzyżowaniu, przejściu dla pieszych, w i -tym okresie obliczeniowym (mld poj/ 3 lata)
- i – numer okresu obliczeniowego
- j – numer analizowanego odcinka drogi
- N_{ij} – suma średniorocznych dobowych natężeń ruchu na poszczególnych wlotach j -ego skrzyżowania, przejścia dla pieszych (P/24 h), w i -tym okresie obliczeniowym (mln pkm/3 lata), do obliczeń przyjmuje się natężenie ruchu z środkowego roku analizowanego okresu trzyletniego.

Dane o wypadkach i koszty wypadków

Dla każdego analizowanego odcinka, skrzyżowania, przejścia dla pieszych należy zebrać dane o bezpieczeństwie ruchu drogowego w ciągu analizowanego okresu, a w szczególności:

- dane o liczbie: wypadków, liczbie rannych, liczbie ofiar ciężko rannych oraz liczbie ofiar śmiertelnych;
- dane o liczbie wypadków: ogółem, z pieszymi, rowerzystami, z motocyklistami itp.;
- dane dotyczące rodzajów, przyczyn, okoliczności wypadków.

Koszty wypadków są iloczynem liczby wypadków, ofiar i jednostkowych kosztów tych czynników (JKZ, JKR i JKW). Zmieniają się one wraz z upływem lat, gdyż zależą od wartości produktu krajowego brutto w danym roku. Koszty jednostkowe wypadków JKW, ofiar wypadków JKR i JKZ należy przyjmować na podstawie danych dostarczanych przez MTBiGM (na podstawie kosztów wypadków ustalanych przez IBDM) dla środkowego roku z okresu trzyletniego objętego analizą [9]. W tabeli 1 zestawiono jednostkowe koszty strat ponoszonych w wypadkach w latach 2009–2014.

Całkowity koszt wypadków na analizowanym elemencie ulicy (odcinku, skrzyżowaniu, przejściu dla pieszych) oblicza się ze wzoru (3):

$$KW_i = JKSMW_i \cdot LW_i + JKLSR_i \cdot LLSR_i + JKCR_i \cdot LCR_i + JKZ_i \cdot LZ_i \quad (3)$$

gdzie:

- KW_i – koszty wypadków na analizowanym elemencie ulicy w i -tym okresie (mln/3 lata)
- LW_i – liczba wypadków na analizowanym elemencie ulicy, w i -tym okresie (wyp./3 lata)
- $LSLR_i$ – liczba ofiar średnio i lekko rannych na analizowanym elemencie ulicy, w i -tym okresie (ofiar/3 lata)
- LCR_i – liczba ofiar ciężko rannych na analizowanym elemencie ulicy, w i -tym okresie (ofiar/3 lata)
- LZ_i – liczba ofiar śmiertelnych na analizowanym elemencie ulicy, w i -tym okresie (ofiar/3 lata)
- $JKSMW_i$ – jednostkowy koszt strat materialnych w wypadkach drogowych dla i -tego okresu analizy (mln zł/wypadek)
- $JKLSR_i$ – jednostkowy koszt ofiary ciężko rannej w wypadkach drogowych dla i -tego okresu analizy (mln zł/ofiarę)
- $JKCR_i$ – jednostkowy koszt ofiary ciężko rannej w wypadku drogowym dla i -tego okresu analizy (mln zł/ofiarę)
- JKZ_i – jednostkowy koszt ofiary śmiertelnej w wypadku drogowym dla i -tego okresu analizy (mln zł/ofiarę).

Tabela 1

Zestawienie oszacowanych kosztów jednostkowych strat materialnych i ofiar wypadków drogowych w latach 2009 – 2014					
Rok	Koszty jednostkowe				Współczynnik korekcyjny
	Wypadków	ofiar lekko i średnio rannych	ofiar ciężko rannych	ofiar zabitych	
	JKSM _i [mln zł/wyp.]	JKLSR _i [mln zł/wyp.]	JKCR _i [mln zł/wyp.]	JKZ _i [mln zł/wyp.]	WK
2009*	0,068	0,050	0,970	2,128	0,84
2010*	0,072	0,053	1,022	2,240	0,89
2011*	0,077	0,057	1,098	2,407	1,00
2012*	0,080	0,059	1,141	2,502	1,04
2013**	0,083	0,061	1,181	2,590	1,06
2014**	0,085	0,063	1,216	2,667	1,08

*) wg opracowania IBDiM [9]

**) wg wstępnego oszacowania autorów, należy zauważyć, że w roku 2013 zmieniono metodę liczenia kosztów ofiar ciężko rannych w wypadkach, koszty jednostkowe przedstawione w tabelicy 2 mogą się zatem różnić od wartości podanej przez IBDiM. Proponuje się do czasu ostatecznego ustalenia metody szacowania kosztów wypadków w Polsce przyjmować wartości z tabeli 2.

Źródło: [7]

Współczynnik korekcyjny WK przedstawiony w tabeli 2 służy do sprowadzania (unormowania) kosztów wypadków z i-tego roku do roku bazowego (przyjętego jako rok 2011).

Zatem koszty unormowane w i-tym roku analizy oblicza się ze wzoru (4):

$$KW_{i,un} = \frac{KW_i}{WK_{i,un}} \quad (4)$$

przy czym współczynnik korekcyjny umożliwiający unormowanie kosztów wypadków oblicza się na podstawie wzoru (5):

$$WK_{i,un} = \frac{SKW_i}{SKW_{2011}} \quad (5)$$

gdzie:

KW_i – koszty wypadków na odcinku drogi (mln zł/3 lata), dla i-tego okresu analizy

$KW_{i,un}$ – unormowane koszty wypadków na odcinku drogi (mln zł/3 lata), dla i-tego okresu analizy

$WK_{i,un}$ – współczynnik korekcyjny normujący koszty wypadków w i-tym analizowanym okresie na pierwszy okres analizy (tj. lata 2010–2012)

SKW_i – średni koszt wypadków drogowych na drogach krajowych w Polsce w środkowym roku i-tego analizowanego okresu (mln zł/wyp)

SKW_{2011} – średni koszt wypadków drogowych na drogach krajowych w Polsce w roku bazowym tj. w roku 2011 (mln zł/wyp).

Klasyfikacja ulic i skrzyżowań ze względu na ryzyko społeczne

Drugim etapem oceny ryzyka obejmuje przeprowadzenie klasyfikacji bezpieczeństwa ze względu na ryzyko społeczne. Klasyfikację prowadzi się oddzielnie dla odcinków ulic oraz oddzielnie dla skrzyżowań [10].

Odcinki ulic

Do klasyfikacji odcinków ze względu na ryzyko społeczne przyjęto początkowo trzy miary bezpieczeństwa: gęstość wypadków, gęstość kosztów wypadków i potencjał redukcji kosztów wypadków. Jednakże biorąc pod uwagę trudności w uzyskaniu danych do obliczeń tego ostatniego parametru oraz wysoki poziom korelacji między gęstością kosztów i potencjałem redukcji kosztów wypadków, do dalszych prac przyjęto dwa wskaźniki: gęstość wypadków GW i gęstość kosztów wypadków GKW, które oblicza się za pomocą wzorów (6) i (7):

$$GW_i = \frac{LW_i}{L} \quad (6)$$

$$GKW_{i,un} = \frac{KW_{i,un}}{L} \quad (7)$$

gdzie:

GW_i – gęstość wypadków na odcinku drogi (wyp./1 km/3 lata), dla i-tego okresu analizy,

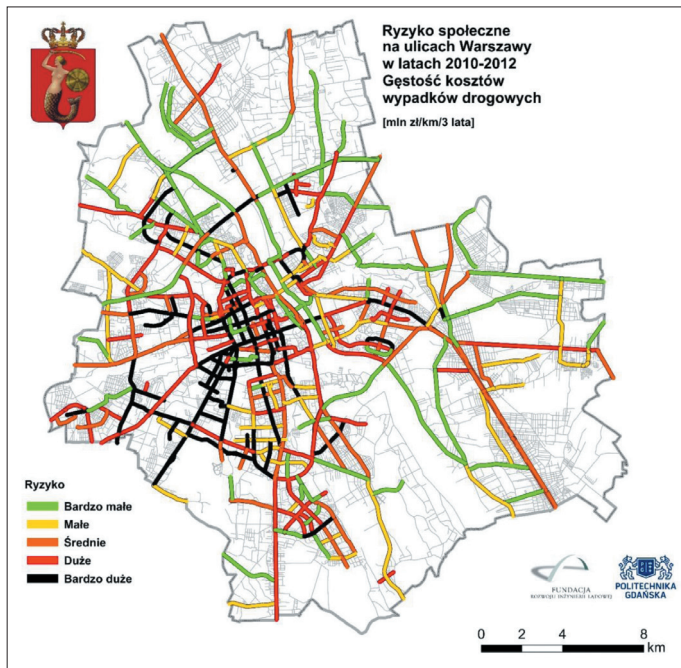
$GKW_{i,un}$ – gęstość unormowana kosztów wypadków na odcinku drogi (mln zł/1 km/3 lata), dla i-tego okresu analizy.

Obliczone za pomocą wzorów (6) i (7) wartości liczbowe gęstości wypadków GW i GKW_{un} dla analizowanego odcinka ulicy, porównujemy z wartościami granicznymi poszczególnych klas ryzyka zestawionymi w tabeli 2 i określamy klasę ryzyka. Do wykonania klasyfikacji bierzemy pod uwagę unormowaną gęstość kosztów wypadków, gdyż wartości graniczne klas ryzyka były opracowane dla warunków roku bazowego (tj. 2011 roku). Uzyskane klasy ryzyka zestawia się w tablicach, wykonuje mapy ryzyka i opracowuje rankingi najbardziej niebezpiecznych odcinków ulic ze względu na ryzyko społeczne. Na rysunku 1 przedstawiono przykładową mapę ryzyka społecznego na podstawowej sieci ulic w Warszawie, biorąc za kryterium gęstość kosztów wypadków GKW. Przedstawiona mapa wskazuje, że główny potencjał redukcji kosztów wypadków drogowych występuje na obszarze centralnym miasta i w południowo-zachodniej jego części.

Tabela 2

Zestawienie wartości granicznych dla poszczególnych klas ryzyka społecznego na odcinkach ulic									
Klasa ryzyka	Ryzyko	Gęstość wypadków GW						Gęstość kosztów wypadków (bazowa) GKW_{2011}	
		Przekrój ulicy							
		1x2		2x2, 1x4		2x3		(mln zł/km/3 lata)	
		(wyp./1 km /3 lata)	(wyp./1 km /3 lata)	(wyp./1 km /3 lata)	(wyp./1 km /3 lata)				
od	do	od	do	od	do	od	do		
A	Bardzo małe	0,00	1,00	0,00	2,00	0,00	3,00	0,00	0,50
B	Małe	1,00	1,50	2,00	3,00	3,00	4,50	0,50	1,00
C	Średnie	1,50	2,25	3,00	4,50	4,50	6,75	1,00	1,75
D	Duże	2,25	3,50	4,50	7,00	6,75	10,50	1,75	3,00
E	Bardzo duże	> 3,5		> 7,0		> 10,5		> 3	

Źródło: opracowanie własne



Rys. 1. Mapa ryzyka społecznego na odcinkach ulic w Warszawie w latach 2010–2012, dla kryterium gęstości kosztów wypadków drogowych.

Źródło: opracowanie własne

Skrzyżowania

Do klasyfikacji skrzyżowań i przejść dla pieszych ze względu na ryzyko społeczne przyjęto dwie miary bezpieczeństwa: liczbę wypadków LW, koszty wypadków KW.

Obliczone wartości liczby wypadków LW i kosztów (unormowanych) wypadków KW_{un} dla analizowanego skrzyżowania lub przejścia dla pieszych porównujemy z wartościami granicznymi poszczególnych klas ryzyka zestawionymi w tabeli 3 i określamy klasę ryzyka. Do wykonania klasyfikacji bierzemy pod uwagę unormowane koszty wypadków, gdyż wartości graniczne klas ryzyka były opracowane dla warunków roku bazowego (tj. 2011 roku). Uzyskane klasy ryzyka zestawia się w tablicach, wykonuje mapy ryzyka i opracowuje rankingi najbardziej niebezpiecznych odcinków ulic ze względu na ryzyko społeczne.

Tabela 3

Zestawienie wartości granicznych dla poszczególnych klas ryzyka społecznego na skrzyżowaniach i przejściach dla pieszych									
Klasa ryzyka	Ryzyko	Liczba wypadków LW				Koszty wypadków (bazowe) KW 2011			
		Skrzyżowania		Przejścia dla pieszych		Skrzyżowania		Przejścia dla pieszych	
		[wypadki / 3 lata]		[wypadki / 3 lata]		[mln zł / 3 lata]		[mln zł / 3 lata]	
		od	do	od	do	od	do	od	do
A	Bardzo małe	0,00	2	0	0,00	0,15	0,0	0,13	
B	Małe	2	3	0,15	0,30	0,13	0,14		
C	Średnie	3	4	1	0,30	0,60	0,14	0,20	
D	Duże	4	6	2	0,60	2,00	0,20	1,30	
E	Bardzo duże	>6		>2		>2,00		> 1,30	

Źródło: opracowanie własne

Klasyfikacja ulic i skrzyżowań ze względu na ryzyko indywidualne

Trzeci etap oceny ryzyka obejmuje przeprowadzenie klasyfikacji bezpieczeństwa ze względu na ryzyko indywidualne. Ocenę prowadzi się oddzielnie dla odcinków ulic oraz oddzielnie dla skrzyżowań [7].

Odcinki ulic

Do klasyfikacji odcinków ulic ze względu na ryzyko indywidualne przyjęto dwie miary bezpieczeństwa: koncentrację wypadków KWD, koncentrację kosztów wypadków KKW, które oblicza się za pomocą wzorów (8) i (9):

$$KWD_i = \frac{LW_i}{PP_{i,j}} \quad (8)$$

$$KKW_{i,un} = \frac{KW_{i,un}}{PP_{i,j}} \quad (9)$$

gdzie:

KWD_i – koncentracja wypadków drogowych na odcinku ulicy (wyp./1 mld pkm), dla i-tego okresu analizy

$KKW_{i,un}$ – koncentracja unormowana kosztów wypadków na odcinku ulicy (mln zł/1 mld pkm), dla i-tego okresu analizy.

Obliczone za pomocą wzorów (8) i (9) wartości liczbowe koncentracji wypadków KWD i unormowanych kosztów wypadków KKW_{un} dla analizowanego odcinka ulicy porównujemy z wartościami granicznymi poszczególnych klas ryzyka zestawionymi w tabeli 4 i określamy klasę ryzyka. Do wykonania klasyfikacji bierzemy pod uwagę unormowaną koncentrację kosztów wypadków, gdyż wartości graniczne klas ryzyka były opracowane dla warunków roku bazowego (tj. 2011 roku). Uzyskane klasy ryzyka zestawia się w tablicach, wykonuje mapy ryzyka i opracowuje rankingi najbardziej niebezpiecznych odcinków ulic ze względu na ryzyko społeczne.

Skrzyżowania

Do klasyfikacji skrzyżowań i przejść dla pieszych ze względu na ryzyko indywidualne przyjęto dwie miary bezpieczeństwa: intensywność wypadków IW, intensywność kosztów wypadków IKW, które oblicza się za pomocą wzorów (8) i (9):

Tabela 4

Zestawienie wartości granicznych dla poszczególnych klas ryzyka indywidualnego na odcinkach ulic					
Klasa ryzyka	Ryzyko	Koncentracja wypadków		Koncentracja kosztów wypadków	
		KWD [wyp. / 1 mld pkm]		KKW [mln zł / 1 mld pkm]	
		Wypadki ogółem		Wypadki ogółem	
		od	do	do	do
A	Bardzo małe	0,0	0,0	50	50
B	Małe	50	50	100	100
C	Średnie	100	100	175	175
D	Duże	175	175	300	300
E	Bardzo duże	>300		>300	

Źródło: opracowanie własne

$$IW_i = \frac{LW_i}{SN_{i,j}} \quad (8)$$

$$IKW_{i,un} = \frac{KW_{i,un}}{SN_{i,j}} \quad (9)$$

gdzie:

IW_i – intensywność wypadków drogowych na skrzyżowaniu lub przejściu dla pieszych (wyp./ 1 mld poj.), dla i-tego okresu analizy

$IKW_{i,un}$ – intensywność unormowanych kosztów wypadków skrzyżowaniu lub przejściu dla pieszych (mln zł / 1 mld poj.), dla i-tego okresu analizy.

Obliczone wartości intensywności wypadków IW i intensywności kosztów (unormowanych) wypadków IKW_{un} dla analizowanego skrzyżowania lub przejścia dla pieszych, porównujemy z wartościami granicznymi poszczególnych klas ryzyka zestawionymi w tabeli 5 i określamy klasę ryzyka. Do wykonania klasyfikacji bierzemy pod uwagę unormowane koszty wypadków, gdyż wartości graniczne klas ryzyka były opracowane dla warunków roku bazowego (tj. 2011 roku). Uzyskane klasy ryzyka zestawia się w tablicach, wykonuje mapy ryzyka i opracowuje rankingi najbardziej niebezpiecznych odcinków ulic ze względu na ryzyko społeczne.

Obliczone za pomocą wzorów (8) i (9) wartości liczbowe koncentracji wypadków KW_{un} i unormowanych kosztów wypadków IKW_{un} dla analizowanego odcinka ulicy porównujemy z wartościami granicznymi poszczególnych klas ryzyka zestawionymi w tabeli 6 i określamy klasę ryzyka. Do wykonania klasyfikacji bierzemy pod uwagę unormowaną koncentrację kosztów wypadków, gdyż wartości graniczne klas ryzyka były opracowane dla warunków roku bazowego (tj. 2011 roku). Uzyskane klasy ryzyka zestawia się w tablicach, wykonuje mapy ryzyka i opracowuje rankingi najbardziej niebezpiecznych odcinków ulic ze względu na ryzyko społeczne. Na rysunku 2 przedstawiono przykładową mapę ryzyka indywidualnego na skrzyżowaniach położonych na podstawowej sieci ulic w Warszawie, biorąc za kryterium intensywność kosztów wypadków IKW . Przedstawiona mapa wskazuje, że główny potencjał redukcji kosztów wypadków drogowych występuje na obszarze centralnym miasta i w południowo-zachodniej jego części.

Identyfikacja odcinków i skrzyżowań ulic o największym ryzyku

Czwarty etap oceny ryzyka obejmuje przeprowadzenie identyfikacji i rankingu najbardziej niebezpiecznych odcinków, skrzyżowań i przejść dla pieszych. Na tej podstawie dokonuje się wybór elementów ulic do przeprowadzenia analiz szczegółowych.

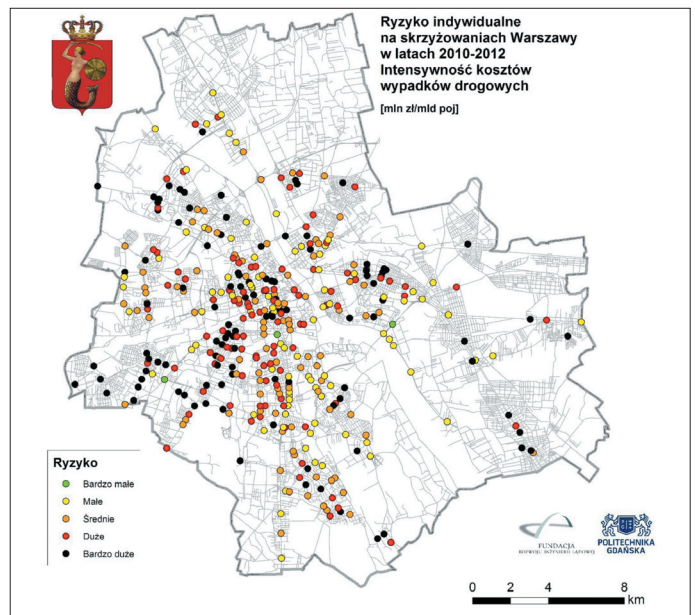
Zgodnie z przyjętymi założeniami ostateczny wybór odcinków do dalszych analiz (przeprowadzenie szczegółowej kontroli brd, wybór działań zaradczych) i objęcia ich naprawczymi (wybór interwencji i działań poprawiających stan brd) powinien opierać się na następujących kryteriach:

- kryterium podstawowe – klasyfikacja i ranking najbardziej niebezpiecznych elementów sieci według kryterium ryzyka społecznego (jako podstawową miarę proponuje się gęstość kosztów wypadków dla odcinków ulic i koszty wypadków drogowych dla skrzyżowań i przejść dla pieszych),
- kryteria pomocnicze – klasyfikacja i ranking najbardziej niebezpiecznych elementów sieci ulic według kryterium ryzyka indywidualnego (jako podstawową miarę proponuje się koncentrację wypadków dla odcinków ulic i intensywność wypadków drogowych dla skrzyżowań i przejść dla pieszych).

Tabela 5

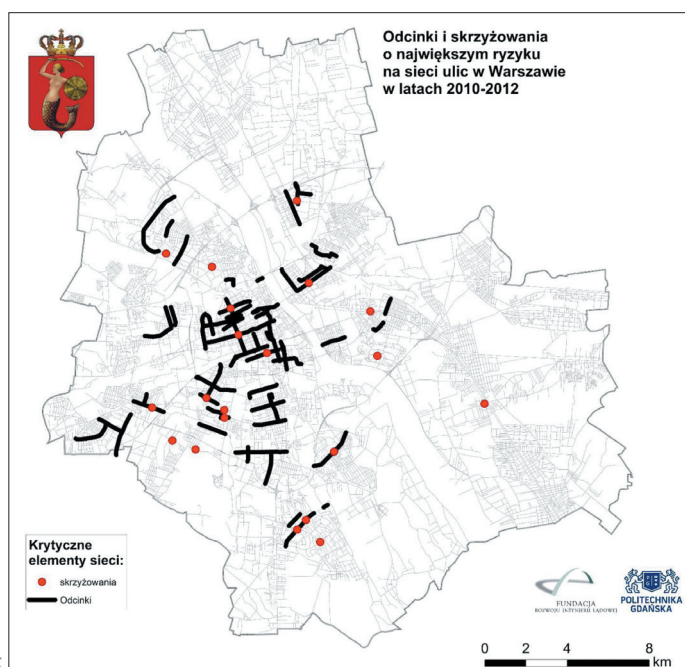
Zestawienie wartości granicznych dla poszczególnych klas ryzyka indywidualnego na skrzyżowaniach i przejściach dla pieszych							
Klasa ryzyka	Ryzyko	Intensywność wypadków					
		IW [wyp./ 1 mld poj./3 lata]					
		Skrzyżowania		Przejścia w obrębie skrzyżowań		Przejścia poza skrzyżowaniami	
		od	od	od	od	od	od
A	Bardzo małe	0	10	0	20	0	55
B	Małe	10	50	20	40	55	110
C	Średnie	50	100	40	70	110	220
D	Duże	100	200	70	155	220	340
E	Bardzo duże	>200		>155		>340	

Klasa ryzyka	Ryzyko	Intensywność kosztów wypadków (unormowanych)					
		IKW _{un} [mln zł/ 1 mld poj./3 lata]					
		Skrzyżowania		Przejścia w obrębie skrzyżowań		Przejścia poza skrzyżowaniami	
		od	od	od	od	od	od
A	Bardzo małe	0,00	2,5	0,0	4	0,0	10
B	Małe	2,5	10	4	9	10	20
C	Średnie	10	25	9	20	20	45
D	Duże	25	65	20	55	45	90
E	Bardzo duże	>65		>55		>90	



Rys. 2. Mapa ryzyka indywidualnego na skrzyżowaniach ulic w Warszawie w latach 2010-2012, dla kryterium intensywność wypadków drogowych
 Źródło: opracowanie własne

Biorąc to pod uwagę do dalszych analiz, należy wybrać wszystkie odcinki i skrzyżowania, na których występuje bardzo duże ryzyko (klasa E, kolor czarny) według kryterium ryzyka społecznego (GKW dla odcinków i KW dla skrzyżowań i przejść dla pieszych). Następnie uszeregować od najwyższych do najniższych wartości przyjętych miar i pogrupować według klas ryzyka indywidualnego (KWD dla odcinków i IW dla skrzyżowań i przejść dla pieszych). Do dalszych analiz należy w pierwszej kolejności wybrać odcinki ulic, skrzyżowania i przejścia dla pieszych o najwyższym poziomie ryzyka społecznego i indywidualnego. Na rysunku 4 przedstawiono mapę z odcinkami i skrzyżowaniami ulic w Warszawie, które jako odcinki i skrzyżowania krytyczne, tj. o bardzo dużym ryzyku społecznym i indywidualnym, powinny być poddane procesowi dalszych szczegółowych analiz i zastosowaniu działań zmniejszających poziom ryzyka na tych elementach ulic w Warszawie [7]. W analizowanym okresie w ten sposób zidentyfikowano 33 takie odcinki i 20 skrzyżowań.



Rys. 4. Mapa z lokalizacją krytycznych odcinków i skrzyżowań ulic na sieci ulic w Warszawie w latach 2010-2012

Źródło: opracowanie własne

Zajęcie się rekomendowanymi odcinkami ulic, skrzyżowaniami i przejściami dla pieszych oznacza, że w pierwszej kolejności do podjęcia działań zaradczych wybrano odcinki, na których przeprowadzenie działań zaradczych może przynieść największą skuteczność w zmniejszaniu kosztów wydatków drogowych.

Kończącym etapem zaproponowanej metody jest opracowanie raportu z przeprowadzonej oceny, wraz z rankingiem odcinków skrzyżowań i przejść dla pieszych ze względu na poszczególne kryteria oceny oraz przygotowanie map ryzyka.

dsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiona została metoda zarządzania ryzykiem na podstawowej sieci ulic opracowana była na

podstawie danych o wypadkach drogowych na sieci ulic miasta Warszawy. Opracowana klasyfikacja ryzyka społecznego i indywidualnego sprawdzana była także dla wybranych odcinków ulic i skrzyżowań dla sieci ulic kilku innych miast: Olsztyn, Gdańsk, Gdynia i Sopot. Przeprowadzone testy wykazały przydatność zaproponowanej metody oceny ryzyka, a w szczególności klasyfikacji poszczególnych miar ryzyka także dla innych miast [4]. Zatem do czasu opracowania i przyjęcia ogólnopolskiej metody oceny ryzyka na sieci ulic zaleca się stosować metodę przedstawioną w niniejszym artykule.

Opracowane i publikowane przez zarządy dróg miejskich mapy ryzyka społecznego i indywidualnego na sieci ulic każdego miasta, pozwolą zrealizować wymagania Dyrektywy 2008/96/WE i Ustawy o drogach publicznych w zakresie sieci TEN-T (w tych miastach, gdzie taka sieć występuje).

Literatura

1. Budzyński M., Gaca S., Jamroz K., Michalski L., *Instrukcja kontroli stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego*, 2013.
2. Budzyński M., Jamroz K., Kustra W., Gaca S., Michalski L., *Instrukcja klasyfikacji odcinków niebezpiecznych na drogach krajowych – Raport dla GDDKiA*, 2013.
3. Budzyński M., Jamroz K., Kustra W., Michalski L., *Tools for road infrastructure safety management - Polish experiences*, Transp. Res. Procedia. 3 (2014) 15.
4. Gobis A., Juchniewicz J., *Klasyfikacja bezpieczeństwa na wybranych odcinkach ulic w Gdańsku, Gdyni i Olsztynie*, 2014.
5. Jamroz K., *Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej*, Politechnika Gdańska, 2011.
6. Jamroz K., Michalski L., *Systematyka narzędzi do zarządzania bezpieczeństwem infrastruktury drogowej*, „Drogownictwo”, 2012, nr 4.
7. Jamroz K., Michalski L., Kustra W., Witkowska M., Kalkowski K., *Metoda oceny ryzyka na podstawowej sieci ulic w Warszawie*, 2013.
8. Jamroz K., Romanowska M., *Idea i metodyka programu EuroRAP*, www.eurorap.pl. (2007).
9. Jażdżik-Osmólska A., Kretkiewicz B., Breńska U., *Metodologia i wycena kosztów wypadków drogowych na sieci dróg w Polsce*, Warszawa 2012.
10. Kalankiewicz E., *Raport o stanie bezpieczeństwa drogowego w mieście st. Warszawa w 2012 roku*, 2013.
11. Kwiecień K., *Narzędzia zarządzania bezpieczeństwem infrastruktury drogowej i ich wdrażanie w strukturach GDDKiA*, w: Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Gambit 2014.
12. Lines C., *Developing Urban Management and Safety No Title (DUMAS)*, 2001.
13. Parlament Europejski i Rada Europy, *Dyrektywa 2008/96/WE w sprawie zarządzania bezpieczeństwem infrastruktury drogowej*, 2008.
14. Quimby A., Hills B., Baguley C., Fletcher J., *Urban Safety Management: Guidelines for Developing Countries*, 2003.
15. Sejm RP, *USTAWA z dnia 13 kwietnia 2012 r. o zmianie ustawy o drogach publicznych oraz niektórych innych ustaw*, 2012.
16. Thora Arnadottir A., Barton B., Chambon P., Cullen H., Gingell D., Heuchenne D., et al., *Tools for Infrastructure Safety Management Fact Sheets and Common Conclusions*, 2008.