Journal of KONBiN 4(20)2011
ISSN 1895-8281
10.2478/v10040-012-0040-6

STRATEGIC RISK MODELLING IN HIGHWAY ENGINEERING

MODELOWANIE RYZYKA STRATEGICZNEGO W INŻYNIERII DROGOWEJ

Kazimierz Jamroz

Politechnika Gdańska
kjamroz@pg.gda.pl

Abstract: *The strategic risk of a country's highway engineering is linked with how that country accomplishes its strategic objectives. They are to protect road users from death or injury, safeguard critical infrastructure and reinforce the rescue system. The paper gives an overview of road traffic risk models used for building tools for strategic decision-making in the area of road safety. They majority are macro models built from available demographic, economic and technical data. The overview of the models shows a variety of methods for forecasting risk with factor and multi-level models as particularly useful models. Based on this, a general concept was developed of models of strategic societal risk on a road network.*

Keywords: *highway engineering, strategic risk, concepts of modelling*

Streszczenie: *Ryzyko strategiczne w inżynierii drogowej wybranego kraju związane jest realizacją celów strategicznych funkcjonowania kraju, jakimi są: ochrona życia i zdrowia uczestników ruchu drogowego, ochrona krytycznej infrastruktury i wzmocnienie systemu ratownictwa. Przedstawiono przegląd koncepcji modelowania ryzyka w ruchu drogowym, wykorzystywanych do budowy narzędzi do podejmowania decyzji strategicznych dla potrzeb bezpieczeństwa ruchu drogowego. Są to najczęściej makro modele budowane na podstawie dostępnych danych demograficznych, ekonomicznych i technicznych. Przegląd zastosowanych modeli wskazuje na duże możliwości wyboru podejścia do prognozowania miar ryzyka, a bardzo użyteczne mooga być modele czynnikowe i modele wielopoziomowe. Biorąc to pod uwagę opracowano koncepcję ogólną modeli strategicznego ryzyka społecznego na sieci dróg.*

Słowa kluczowe: *inżynieria drogowa, ryzyko strategiczne, koncepcje modelowania*

1. Wstęp

Ryzyko strategiczne w inżynierii drogowej wybranego kraju związane jest realizacją celów strategicznych funkcjonowania kraju, jakimi są: ochrona życia i zdrowia uczestników ruchu drogowego, ochrona krytycznej infrastruktury i wzmocnienie systemu ratownictwa. Ryzyko strategiczne swym zasięgiem obejmuje funkcjonowanie całego systemu transportu drogowego, w tym także funkcjonowanie infrastruktury drogowej. Generalnie podstawą myślenia o ryzyku strategicznym jest zmienność i niepewność strat:

- łącznych strat (społecznych, ekonomicznych) w ruchu drogowym na sieci drogowej wybranego kraju, nazywane w niniejszej pracy ryzykiem społecznym,
- wystąpienia określonej wielkości strat w tym katastrofy drogowej, nazywane w niniejszej pracy ryzykiem grupowym,
- średnich strat w odniesieniu do pojedynczego mieszkańca lub uczestnika ruchu drogowego danego kraju, nazywane w niniejszej pracy ryzykiem indywidualnym.

Biorąc powyższe pod uwagę, autor przyjął następujące rodzaje ryzyka strategicznego [7]:

- ryzyko społeczne:
  - ogólne,
  - unormowane,
- ryzyko grupowe,
- ryzyko indywidualnego.

Ryzyko społeczne w ujęciu strategicznym odnosi się do ogółu zachowań w ruchu drogowym całych grup społecznych na wybranym obszarze. Zatem jest to strata (liczba ofiar, a także straty materialne poniesionych w wypadkach drogowych) w przyjętym przedziale czasu (najczęściej w przeliczeniu na rok), na wybranym obszarze (kontynent, kraj, region, powiat, miasto), które mogą przewidywalnie wystąpić w wyniku zdarzeń niebezpiecznych wywołanych przez funkcjonowanie systemu ruchu drogowego. Zmiany tego ryzyka następują powoli, a wpływ na te zamiany mają rozwój ekonomiczny kraju, zamiany społeczne, wzrost poziomu edukacji itp. W zależności od miary reprezentującej dany obszar można wyróżnić:

- ryzyko ogólne liczone jako wielkość ogółem strat poniesionych w wypadkach drogowych (liczba ofiar, koszty),
- ryzyko unormowane liczone jako straty ogółem w stosunku do:
  - liczby ludności zamieszkującej dany obszar,
  - liczby pojazdów zarejestrowanych na danym obszarze,
  - wielkości produktu narodowego,
  - długości sieci drogowej,
  - pracy przewozowej.

Ryzyko grupowe odnosi się do grupy osób znajdujących się w miejscu lub w pobliżu miejsca zagrożenia. Ryzyko grupowe pokazuje podatność systemu

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

transportu drogowego na wypadki z wieloma ofiarami śmiertelnymi i jest miarą braku społecznej akceptacji dla tego typu wypadków, albo miarą ogólnej awersji do wypadków z duża liczbą ofiar śmiertelnych. W ujęciu strategicznym (rozwijanym w niniejszej pracy) ryzyko grupowe definiowane jest jako średni poziom strat w zdarzeniu niebezpiecznym (w przeliczeniu na zdarzenie niebezpieczne lub 100 zdarzeń niebezpiecznych).

Ryzyko indywidualne w ujęciu strategicznym, stosowanym w niniejszej pracy, definiowane jest jako średni poziom prawdopodobieństwa strat jednego członka analizowanej społeczności, w czasie swojej aktywności na sieci drogowej (w przeliczeniu na jednostkę pracy przewozowej) wykonywanej na analizowanym obszarze w przyjętym okresie czasu.

Przyjęto dwa kryteria spojrzenia na ryzyko: kryterium strat osobowych i kryterium strat ekonomicznych. Poniżej przedstawiono opracowane przez autora koncepcje modelowania strategicznego ryzyka społecznego, grupowego i indywidualnego.

2. Modelowanie ryzyka strategicznego w inżynierii drogowej

Istotne jest znalezienie narzędzia umożliwiającego prognozowanie wpływu zamian ekonomicznych, społecznych i technicznych w analizowanych krajach świata na wielkość miar bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz narzędzi umożliwiających podejmowanie strategicznych decyzji zmierzających do redukcji liczby ofiar śmiertelnych na poziomie międzynarodowym i krajowym.

Takimi narzędziami mogą być modele ryzyka w ruchu drogowym. Są to najczęściej makro modele budowane na podstawie dostępnych danych demograficznych, ekonomicznych i technicznych. W dotychczasowej praktyce, najczęściej modelowano zmiany liczby ofiar śmiertelnych, liczby wypadków lub liczby ofiar rannych. Stosowane modele można podzielić ze względu na:

- liczbę stosowanych zmiennych niezależnych na: modele jednowymiarowe i modele wielowymiarowe [14],
- użyte narzędzia matematyczne, na modele: regresyjne, modele o charakterze wykładniczym, modele ekonometryczne, modele strukturalne, modele bazujące na ryzyku.

Modele regresyjne. Najstarszym makro modelem stosowanym w prognozowaniu liczby ofiar śmiertelnych jest model Smeed'a [17] z roku 1949 opracowany na danych z 20 krajów, w którym liczbę ofiar śmiertelnych uzależniono od liczby osób mieszkających i liczby pojazdów zarejestrowanych na analizowanym obszarze według formuły:

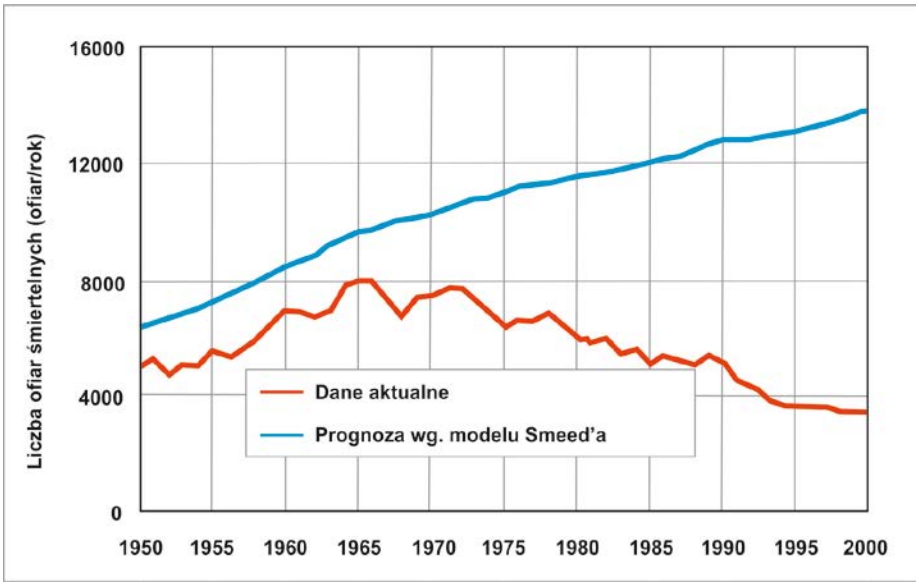
$$D = 0{,}0003 \cdot (n \cdot p^2)^{1/3} \tag{1}$$

gdzie:

D – liczba ofiar śmiertelnych w ciągu roku na analizowanym obszarze,
n – liczba mieszkańców na analizowanym obszarze,
p – liczba pojazdów na analizowanym obszarze.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Model ten rozwinął Adams [1] i zastosował dla kilkudziesięciu krajów. Zmodyfikowany model Smeed'a zastosowano w wielu krajach, między innymi w Jemenie i w Indiach dla dużych metropolii. Wadą tego modelu jest barak możliwości reakcji na zmiany gospodarcze, społeczne i infrastrukturalne poszczególnych krajów. Przykładem niedostosowania modelu Smeed'a do warunków rzeczywistych jest przykład dla Wielkiej Brytanii przedstawiony na rys. 1. Niezależnie od tego model ten jest uznawany za bazowy w szacowaniu liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych na obszarze kraju, regionu, miasta.



Rys. 1 Prognoza liczby ofiar śmiertelnych w Wielkiej Brytanii według modelu Smeed'a

Modele wykładnicze. Modele wykładnicze umożliwiają modelowanie ryzyka w przypadku ograniczonego wzrostu wielkości systemu transportowego. Przykładem są modele zaproponowane przez Koornstrę i Oppe, którzy stwierdzili, że liczba ofiar śmiertelnych silnie zależy od liczby przejechanych kilometrów (czyli od pracy przewozowej wykonanej przez pojazdy).

$$F_t = R_t \cdot V_t \tag{2}$$

Oznaczenia:

F_t – liczba śmiertelnych wypadków w danym kraju w roku t,

V_t – praca przewozowa, liczba przejechanych kilometrów w danym roku t,

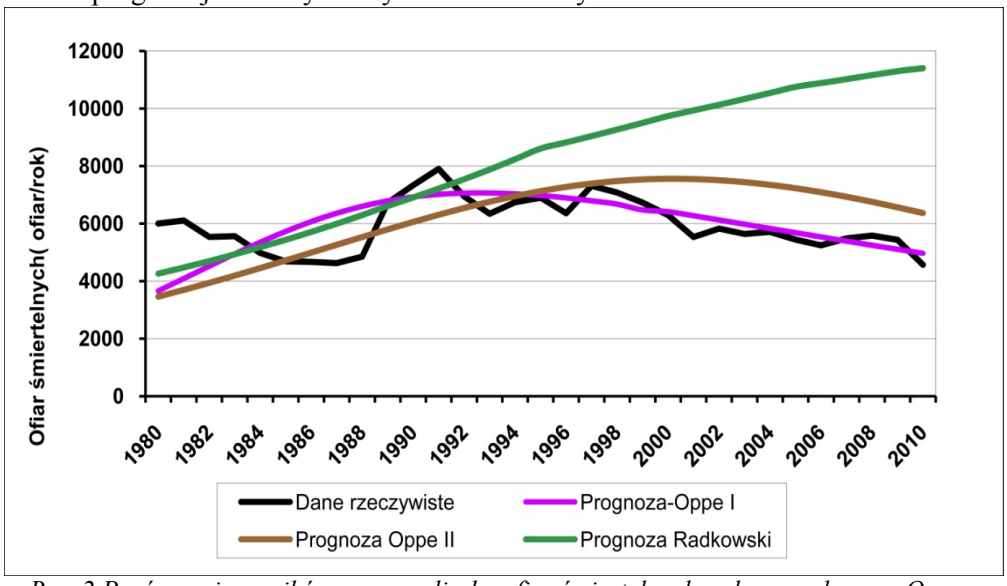
R_t – ryzyko bycia ofiarą śmiertelną wypadku drogowego, jest to nazwa oryginalna zaproponowana przez autorów cytowanego opracowania i wymaga komentarza, gdyż w ujęciu niniejszej pracy R_t jest to poziom prawdopodobieństwa bycia ofiarą śmiertelną wypadków drogowych w odniesieniu do jednostki przebytej drogi.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Na bazie opracowanych modeli Koornstra oszacował liczbę ofiar śmiertelnych wypadków drogowych na świecie w roku 2030, która może wynieść 1,7 mln osób w przypadku scenariusza podstawowego, a 1,2 mln osób w przypadku scenariusza z modelem uczenia się [10].

Nieco inne podejście zaproponował Oppe [13], tj. zaproponował model składający się z dwóch elementów o charakterze wykładniczym. Pierwszy jest to model uczenia się społeczeństwa, który reprezentuje sprzężenie zwrotne wyrażające zmniejszenie ryzyka bycia ofiarą śmiertelną ruchu drogowego R_t w następnym okresie, na podstawie negatywnego odbioru liczby ofiar śmiertelnych z poprzedniego okresu. Drugi to model logistyczny uwzględniający wzrost pracy przewozowej V_t w analizowanym roku na przyjętym do analizy obszarze w zależności od pozostającej do wykonania pracy przewozowej (przy osiągnięciu maksymalnej liczby pojazdów w systemie transportu) $V_m - V_t$ [13].

W przypadku braku danych o pracy przewozowej w modelu tym stosuje się także, zamiennie liczbę pojazdów jako oszacowanie pracy przewozowej. Jednakże uzyskane w ten sposób prognozy nie zawsze dają oczekiwane rezultaty, czego przykładem może być zastosowanie tego modelu dla Polski przez Radkowskiego (rys. 2) [14], według którego wykonane prognozy dają wyniki znacznie odbiegające od danych rzeczywistych. Natomiast pierwszy model Oppe dość dobrze prognozuje zmiany liczby ofiar śmiertelnych.



Rys. 2 Porównanie wyników prognoz liczby ofiar śmiertelnych wykonanych przez Oppe [13] i Radkowskiego [14] z danymi rzeczywistymi

Modele ekonometryczne mają szerokie zastosowanie w szacowaniu liczby ofiar śmiertelnych na świecie i w poszczególnych krajach. W roku 2000 zastosowano taki model do oszacowania liczby ofiar śmiertelnych na świecie [9]. Wykorzystując dane zawierające wielkość produktu narodowego, liczbę ludności,

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

liczbę pojazdów czterokołowych oraz usprawnienia infrastruktury zbudowano model ekonometryczny. Analizy potwierdziły, że podstawowe dane użyte w modelu Smeed'a są nadal bardzo istotne. Innym bardzo popularnym zastosowaniem modelu ekonometrycznego był model opracowany w roku 2003 przez Kopits i Cropper na zlecenie Banku Światowego [11]. Do modelowania wykorzystano ogólny model Kuznets'a zastosowany wcześniej w ekologii [12]. Na bazie danych z 88 krajów z okresu 1963 – 1999, obejmujących liczbę ofiar śmiertelnych, liczbę mieszkańców, liczbę pojazdów, produkt narodowy brutto zastosowano ekonometryczny model o ogólnej postaci:

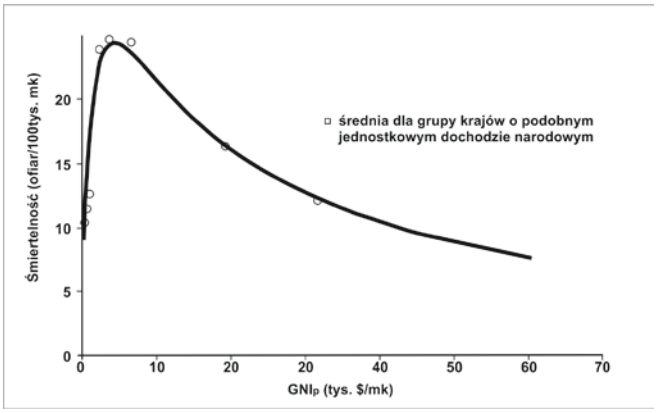
$$\ln\left(\frac{F}{P}\right)_{it} = a_i + G(t) + F[\ln(Y_{it})] + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

gdzie:

F – liczba ofiar śmiertelnych,
P – liczba mieszkańców,
$\mathbf{a_i}$ - stała charakteryzująca kraj,
G (t), $F[ln(Y_{it})]$ – funkcje,
Y_{it} – rzeczywisty, jednostkowy dochód narodowy w kraju i, w roku t ,
ε_{it}- błąd prognozy.

Koornstra przedstawił zależność śmiertelności demograficznej w zależności od produktu narodowego brutto w przeliczeniu na jednego mieszkańca w roku 2000, dla uśrednionych danych z ponad 100 krajów (podzielonych na 8 grup). Uzyskany wykres odpowiada w przybliżeniu przebiegu funkcji według modelu potęgowo – wykładniczego. Optimum funkcji uzyskano przy GNI/p = 5 000 USD (rys. 3). Niestety stwierdza on, że ta zależność nie może być stosowana do prognozowania ze względu na brak monotoniczności[10].

Modele strukturalne. Najbardziej rozpowszechnionymi modelami ekonometrycznymi są modele strukturalne z rodziny DRUG [5], [15], które zastosowano w wielu krajach: Szwecji [18], Francji [8], Niemczech [3], Norwegii [4].



Rys. 3 Zależność pomiędzy śmiertelnością demograficzną a produktem narodowym brutto w przeliczeniu na mieszkańca [10]

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Modele DRUG to modele trzypoziomowe odnoszące się do struktury systemu transportowego danego kraju, poziom pierwszy reprezentuje popyt (zapotrzebowanie) na transport, poziom drugi reprezentuje procedury realizacji zapotrzebowania oraz poziom trzeci realizację zapotrzebowania.
Procedura obliczania liczby ofiar wypadków drogowych w odniesieniu do całego systemu transportu jest także trójpoziomowa:

$$\text{VI} \leftarrow \begin{bmatrix} DR & \leftarrow & [X_1] \\ AC & \leftarrow & [X_2] \\ GR & \leftarrow & [X_3] \end{bmatrix} \tag{4}$$

czyli:

$$VI = DR \cdot AC \cdot GR \tag{5}$$

gdzie:

VI – liczba ofiar wypadków drogowych,
DR – zapotrzebowanie na transport drogowy (odpowiednik narażenia na ryzyko),
AC – częstość wystąpienia wypadku,
GR – ciężkość wypadku.
X_1, X_2, X_3, - zmienne wpływające na poszczególne składniki modelu.

Herman i inni zastosowali odmianę tego modelu z uwzględnieniem dodatkowego wpływu interwencji (działań poprawiających stan bezpieczeństwa) na stan systemu z użyciem filtru Kalmana [6]. W Polsce próbę zastosowania tego modelu podjęła Żukowska, budując model szacowania liczby ofiar śmiertelnych za pomocą szeregów czasowych [20].
Modele bazujące na ryzyku. Przykładem połączenia podejścia bazującego na ryzyku są modele czynnikowe, a klasycznym podejściem do szacowania liczby ofiar wypadków drogowych jest podejście zaproponowane przez Rumara w sposób opisowy w roku 1988 i rozwinięte do postaci graficznej (rys 4) i multiplikatywnej (łańcuchowej) (wzór 6) w roku 1991 [16]:

$$I = E * \frac{A}{E} * \frac{I}{A} \tag{6}$$

Oznaczenia:

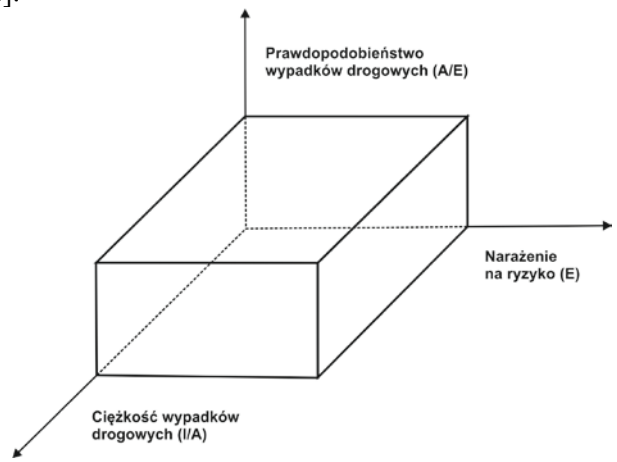
I – liczba ofiar (śmiertelnych, rannych),
A – liczba wypadków
E – narażenie na ryzyko
$\frac{A}{E}$ – ryzyko wypadku (poziom pradopodobieństwa wypadku),

$\frac{I}{A}$ – ciężkość (konsekwencje) wypadku

Jest to podejście czynnikowe stosowane dość często w budowaniu modeli miar bezpieczeństwa ruchu drogowego. Trójwymiarowy opis bezpieczeństwa ruchu drogowego: narażenie – ryzyko wypadków - konsekwencje wypadków może być przedstawiana w postaci łańcucha współczynników (wymiarów bezpieczeństwa),

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

gdzie licznikiem jest zawsze ostatni współczynnik odnoszący się do opisanego stanu bezpieczeństwa. Taki ilościowy zapis bezpieczeństwa w ruchu drogowym można nazwać łańcuchowym wskaźnikiem rozszerzenia (ratio chain expansion). To podejście było zaprezentowane także przez Asmussena i Kranenburga w 1982 roku [2].



Rys. 4 Postać geometryczna modelu ryzyka społecznego [16]

Przedstawiona analiza wskazuje, że prognozowanie miara ryzyka jest najtrudniejszym problemem naukowym w procesie zarządzania ryzykiem. W przypadku modelowania ryzyka strategicznego konieczne jest zbudowanie modeli narażenia na ryzyko, poziomu prawdopodobieństwa zdarzeń niebezpiecznych i poziomu strat w zdarzeniu niebezpiecznym, a także modele zmian zmiennych niezależnych wykorzystywanych do budowy składowych modeli miar ryzyka.

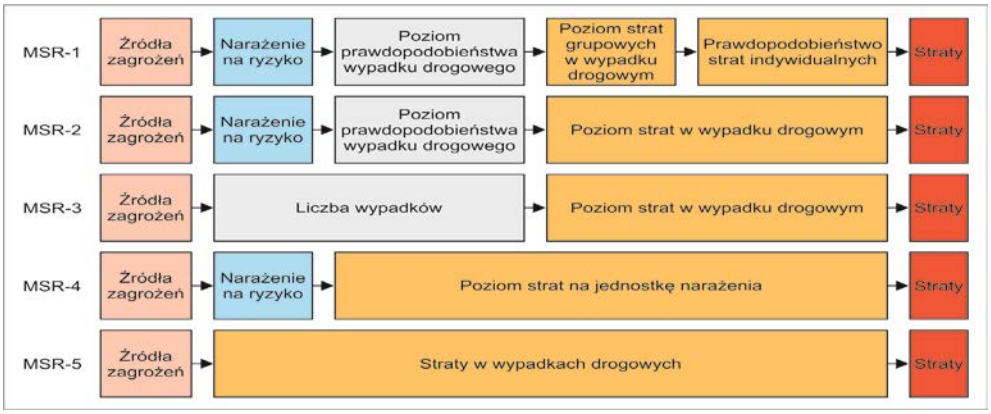
3. Koncepcja modeli społecznego ryzyka strategicznego na sieci dróg

W przypadku ryzyka społecznego, można wyróżnić modele cząstkowe i modele zbiorcze ryzyka.

Modele cząstkowe. Na podstawie analizy literatury i prac własnych [7] wyróżniono pięć modeli cząstkowych strategicznego ryzyka społecznego (oznaczonych MSR-1 do MSR-5). Modele te różnią się stopniem dekompozycji elementów składowych ryzyka. Na rys. 5 przedstawiono ogólną koncepcję wybranych modeli szacowania społecznego ryzyka strategicznego.

Przedstawione modele dotyczą ryzyka społecznego, które stanowi bazę do obliczania innych miar ryzyka (społecznego unormowanego, grupowego i indywidualnego). Przyjęte modele dają szeroką gamę możliwości szacowania i prognozowania ryzyka strategicznego w ruchu drogowym. W przedstawionych modelach występuje wiele zmiennych, które można modelować w zależności od przyjętego lub dostępnego zbioru czynników reprezentujących źródła zagrożenia.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 5 Postać graficzna modeli społecznego ryzyka strategicznego MSR na sieci dróg

MRS-1 - jest to najbardziej zdekomponowany model czteroskładnikowy, w którym ryzyko społeczne przyjmowane jest jako iloczyn narażenia na ryzyko wybranego rodzaju E_k, poziomu prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego na jednostkę narażenia $P_{LZN/Ek}$, prawdopodobieństwa wystąpienia ofiar w wypadku drogowym $P_{(LOO/LZN)}$ i prawdopodobieństwa wystąpienia wybranej kategorii ofiar w zbiorze ofiar zdarzeń niebezpiecznych $P_{(Sn/LOO)}$ na sieci dróg, analizowanego kraju w przyjętym okresie czasu. Model ten wykorzystywany jest do szacowania ryzyka osobowego. Model ten opisany jest wzorem (7):

$$RS_r^{(s)} = E_k \cdot P_{LZN/Ek} \cdot P_{(LOO/LZN)} \cdot P_{(Sm/LOO)} \tag{7}$$

MRS-2 - jest to model trójskładnikowy, w którym ryzyko społeczne przyjmowane jest jako iloczyn narażenia na ryzyko wybranego rodzaju E_k, poziomu prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego na jednostkę narażenia $P_{LZN/Ej}$ i średniej straty wybranej kategorii $S_{(Sn/LZN)}$ w zdarzeniach niebezpiecznych występujących na sieci dróg analizowanego kraju w przyjętym okresie czasu. Model ten wykorzystywany jest do szacowania ryzyka osobowego i ekonomicznego. Model ten opisany jest wzorem (8):

$$RS_r^{(s)} = E_k \cdot P_{(LZN/Ek)} \cdot S_{(Sl,m/LZN)} \tag{8}$$

MRS-3 - jest to model dwuskładnikowy, w którym ryzyko społeczne przyjmowane jest jako iloczyn liczby zdarzeń niebezpiecznych LZN i średniej straty wybranej kategorii $S_{(Sn/LZN)}$ w zdarzeniach niebezpiecznych występujących na sieci dróg analizowanego kraju w przyjętym okresie czasu. Model ten opisany jest wzorem (9)

$$RS_r^{(s)} = LZN \cdot S_{(Sl,m/LZN)} \tag{9}$$

MRS-4 - jest to także model dwuskładnikowy, w którym ryzyko społeczne przyjmowane jest jako iloczyn narażenia na ryzyko wybranego rodzaju E_k

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

i średniej straty wybranej kategorii $S_{(Sn/LZN)}$ w odniesieniu do jednostki narażenia na ryzyko występującego na sieci dróg, analizowanego kraju w przyjętym okresie czasu. Model ten opisany jest wzorem (10)

$$RS_r^{(s)} = E_k \cdot S_{(Sl,m/E_j)} \tag{10}$$

MRS-5 - jest to model jednoskładnikowy, w którym ryzyko społeczne przyjmowane jest jako suma wybranej kategorii strat S_n ponoszonych na sieci dróg, analizowanego kraju w przyjętym okresie czasu. Model ten opisany jest wzorem (11)

$$RS_r^{(s)} = S_{l,m} \tag{11}$$

W zależności od rodzaju i zawartości danych możemy wykorzystać następujące wzory określające zależności pomiędzy dostępnymi parametrami w celu doboru modelu adekwatnego do rozpatrywanego zjawiska. Takie podejście wykorzystywane jest w prognozowaniu, w postaci łańcuchów wymiarów bezpieczeństwa. Poszczególne składowe modeli ryzyka, mogą być szacowane na podstawie poniższych zależności:

$$S_{(S_{l,m}/E_k)} = \frac{S_{l,m}}{E_k} \tag{12}$$

$$S_{(S_{l,m}/LZN)} = \frac{S_{l,m}}{LZN} \tag{13}$$

$$S_{(S_{l,m}/LO_o)} = \frac{S_{l,m}}{LOO} \tag{14}$$

$$P_{(LZN/E_k)} = \frac{LZN}{E_k} \tag{15}$$

$$P_{(LOO/LZN)} = \frac{LO_o}{LZN} \tag{16}$$

$$P_{(Sm/LOO)} = \frac{S_m}{LOO} \tag{17}$$

Model zbiorczy ma postać:

$$RS_r^{(s)} = \sum_{m=1}^{y} S_m \cdot WRS_m^{(s)} \tag{18}$$

Oznaczenia:

E_k – narażenie na ryzyko k-tego rodzaju,
$RS_r^{(s)}$ – strategiczne ryzyko społeczne, r– tego rodzaju strat,
$RG_r^{(s)}$ – strategiczne ryzyko grupowe, r – tego rodzaju strat,
$RI_r^{(s)}$ – strategiczne ryzyko indywidualne, r – tego rodzaju strat,
$P_{(LZN/Ek)}$ – poziom prawdopodobieństwa zaistnienia zdarzenia niebezpiecznego pod warunkiem przyjęcia do analiz k- tego rodzaju narażenia na ryzyko,
$P_{(LOO/LZN)}$ – poziom prawdopodobieństwa wystąpienia ofiar ogółem w zdarzeniach niebezpiecznych,
$P_{(Sm/LOO)}$ – poziom prawdopodobieństwa wystąpienia wybranej kategorii ofiary w zbiorze ofiar ogółem w zdarzeniach niebezpiecznych

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

$S_{l,m}$ - suma wybranej kategorii strat poniesionych w zdarzeniach niebezpiecznych,

$S_{(Sl,m/E_k)}$ – poziom wybranej kategorii strat poniesionych w wypadkach drogowych w odniesieniu do rodzaju narażenia na ryzyko,

$S_{(Sl,m/LZN)}$- poziom wybranej kategorii strat poniesionych w zdarzeniach niebezpiecznych,

$S_{(Sm/LOO)}$- poziom wybranej kategorii strat w zbiorze ofiar zdarzeń niebezpiecznych,

LZN – łączna liczba zdarzeń niebezpiecznych,

LOO – łączna liczba ofiar w zdarzeniach niebezpiecznych,

$WRS^{(s)}_m$ – ważność n – tej kategorii strat w zbiorczym modelu strategicznego ryzyka społecznego.

Do dalszych prac przyjęto:

- modele cząstkowe (MRS-1 do MRS-5) do szacowania ryzyka osobowego i modele cząstkowe (MRS-2 do MRS-5) do szacowania ryzyka ekonomicznego,
- model zbiorczy do szacowania łącznego ryzyka ekonomicznego.

4. Zakończenie

Przegląd zastosowanych modeli wskazuje na duże możliwości wyboru podejścia do prognozowania miar ryzyka, a bardzo użyteczne mooga być modele czynnikowe i modele wielopoziomowe.

Przedstawione koncepcje posłużyły do opracowania modeli opisujących ryzyko strategiczne na sieci dróg wybranych krajów z całego świata, które zawarto w pracy [7]. Uzyskane wyniki będą prezentowane w kolejnych publikacjach.

5. Spis literatury

[1] Adams J.: Risk. University Collage London. UCL Press 1995.

[2] Assmussen E., Krankenburg A., An Analysis of the traffic phenomenon. Publication 1982-1E. SVOW, 1982.

[3] Blum U., Gaurdy M.: : SNUS - 2.5 Model for Germany. In: Structural Road Accidents Models. Pergamon 2000.

[4] Fridstrom L.: The TRULS-1 model for Norway. In: Structural Road Accidents Models. Pergamon 2000.

[5] Guardy M., Lassarre S.: Structural Road Accident Models. The Internal DRAG Family. Pergamon Amsterdam 2000.

[6] Hermans E., Wets G., Van den Bossche F.: Describing the Evolution in the Number of Highway Deaths by a Decomposition in Exposure, Accident and Fatal Risk. Hasselt University, Transportation Research Institute Diepenbeek, Belgium 2005.

[7] Jamroz K.: Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2011.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

[8] Jeager L., Lassare S.: The TAG-1 MODEL for France. In: Structural Road Accidents Models. Pergamon 2000.
[9] Johanson-Stenman O., Martinsson P.: Fatal Road Accidents: Explaining Between-Country Risk Differencens. Department of Economics, Goteborg University, Sweden 2000.
[10] Koornstra M.: Prediction of traffic fatalities and prospects for mobility becoming sustainable - safe. Sadhana Vol. 32, Part 4, August 2007, pp. 365 - 395, Prinred in India
[11] Kopits E., Cropper M.: Traffic Fatalities and Economic Growth. The World Bank, Policy Research Working Paper 2003.
[12] Kuznets, S.: Economic growth and income inequality. American Economic Review, vol. 65, 1955, pp.1 - 28
[13] Oppe S.:Traffic safety developments in Poland. SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam, The Netherland 2001.
[14] Radkowski S.: Podstawy bezpiecznej techniki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003
[15] Reurings M., Commandeur J.: International orienation on methodologies for modelling developments in road safety. SWOV Institute for Road Safety Research, Report R-2006-34. Leidschandam 2007
[16] Rudd E.: The Relationship between the National Income and Vehicle Registrations. Road Research Laboratory, RN 1518, 1951
[17] Smeed R.J.: Some statistical aspects of safety research. Journal of the Royal Stat. Soc. Serie A, pp.1 -34, 1949.
[18] Tegnier G., Holmberg I. et. Al..: The DRAG- STOCKHOLM--2 MODEL. In: Structural Road Accidents Models. Pergamon 2000.
[19] WHO: World report on road traffic injury prevention. WHO, Geneva 2004.
[20] Żukowska J.: Modelowanie ryzyka w ruchu drogowym szeregami czasowymi. Rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska Wydział Inżynierii Lądowej, Gdańsk 2003.

Dr hab. inż. Kazimierz Jamroz, *Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Drogowej, specjalizacja: inżynieria transport, inżynieria ruchu drogowego, inteligentne systemy transportu, bezpieczeństwo ruchu drogowego.*

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl