

Prof. dr hab. inż. Stanisław GACA
KDKiIR PK

KOMPLEKS CZYNNIKÓW DETERMINUJĄCYCH BRD

- ♦ Podstawowe pojęcia w opisie stanu brd
- ♦ Statystyki wypadkowe i skutki wypadków
- ♦ Czynniki determinujące brd z elementami praktyki projektowej

Studia Podyplomowe „Inżynieria Ruchu Drogowego” – 2019/2020

PODSTAWOWE POJĘCIA W OPISIE STANU BRD

Wypadek – nagłe zdarzenie wywołane przyczyną zewnętrzną i pozostające w związku z wykonywaną czynnością

Zdarzenie: *incydent – konflikt – kolizja – wypadek*

Incydent – skutek nietypowego zachowania się człowieka w ruchu drogowym

Konflikt – zdarzenie zmuszające uczestnika ruchu do gwałtownego manewru w celu uniknięcia kolizji lub wypadku

Kolizja – zdarzenie drogowe o skutkach materialnych bez ofiar w ludziach

Wypadek – zdarzenie drogowe z ofiarami w ludziach

POJĘCIE I MIARY RYZYKA

Ryzyko zdarzenia drogowego – prawdopodobieństwo uczestniczenia w zdarzeniu drogowym lub prawdopodobieństwo bycia ofiarą wypadku

$$R = (S, P, Sc)$$

gdzie:

S – miara konsekwencji zdarzenia

P – prawdopodobieństwo zdarzenia, czyli miara zrealizowania się scenariusza Sc

Sc – scenariusz wypadku, ciąg zdarzeń awaryjnych

$$R = P \cdot S \quad \text{dla wszystkich Sc}$$

$$R = P \cdot S^K \quad K - \text{ranga konsekwencji}$$

$$R = \sum_{i=1}^n P_i \cdot (S_i)^K \quad \text{Uwzględnienie sumy wszystkich wypadków typu „i”}$$

- ♦ **Narażenie na ryzyko** – parametry charakteryzujące poziom odniesienia dla przyjmowanych wskaźników ryzyka lub konsekwencji wypadków
- ♦ **Konsekwencje zdarzeń drogowych** – ofiarochłonność, ciężkość wypadków, koszty zdarzeń drogowych

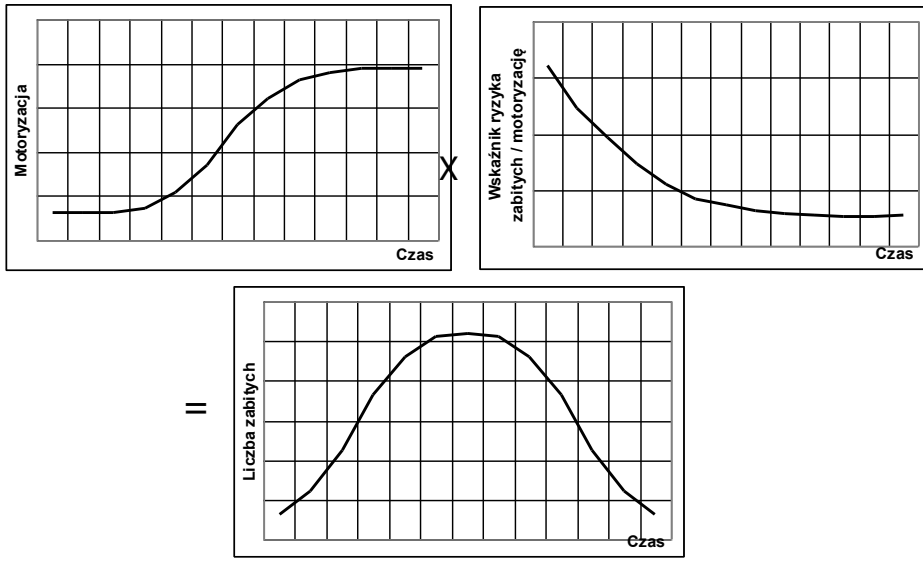
Przykład zapisu z wykorzystaniem elementów teorii ryzyka (oczekiwana liczba wypadków danego rodzaju):

$$LW_i = R_E \cdot P_{Zi} \cdot P_{Ci}$$

Bezpieczeństwo jest pojęciem przeciwnym do pojęcia ryzyka (brak ryzyka lub ochrona przed ryzykiem)

Zagrożenie – źródło potencjalnej szkody

WYPADKI JAKO EFEKT WYSTAWIENIA NA RYZYKO



Ryzyko indywidualne i grupowe

Wartość oczekiwana potencjalnych strat w grupie osób N w przedziale czasu Δt

$$E(S) = \int S dF(S)$$

$F(S)$ – dystrybuanta rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej S

Ryzyko indywidualne:

$$R_{ind} = \frac{E(S)}{N \cdot \Delta t}$$

RYZIKO INDYWIDUALNE = WIELKOŚĆ USZKODZENIA x ŚREDNIA CZĘSTOTLIWOŚĆ WYSTĄPIENIA STRATY LUB USZKODZENIA

Ryzyko grupowe jako efekt n pojedynczych zdarzeń losowych o prawdopodobieństwach P_{Sn} przy wyróżnionym rodzaju cząstkowej straty S_K

$$E(S) = \sum_n n \cdot S_K \cdot P_{Sn}$$

MIARY BEZPOŚREDNIE BRD

- ♦ miary bezwzględne: LZD, LK, LW, LR, LZ
- ♦ miary względne - makrowskażniki brd:
 - wskaźnik demograficzny,
 - wskaźnik motoryzacyjny,
 - wskaźnik transportowy.
- ♦ miary względne - mikrowskażniki brd:
 - wskaźniki ilościowe,
 - koszty zdarzeń,
 - wskaźnik gęstości,
 - wskaźnik względny,
- ♦ wskaźniki grupy ryzyka

Wskaźnik demograficzny

$$WDX = \frac{LX \cdot 10^5}{M}$$

Wskaźnik motoryzacyjny

$$WMX = \frac{LX \cdot 10^5}{P}$$

Wskaźnik transportowy

$$WTX = \frac{LX \cdot 10^6}{PP}$$

Wskaźniki ciężkości zdarzeń

Względny wskaźnik wypadkowy [wyp./10⁶ poj.km]

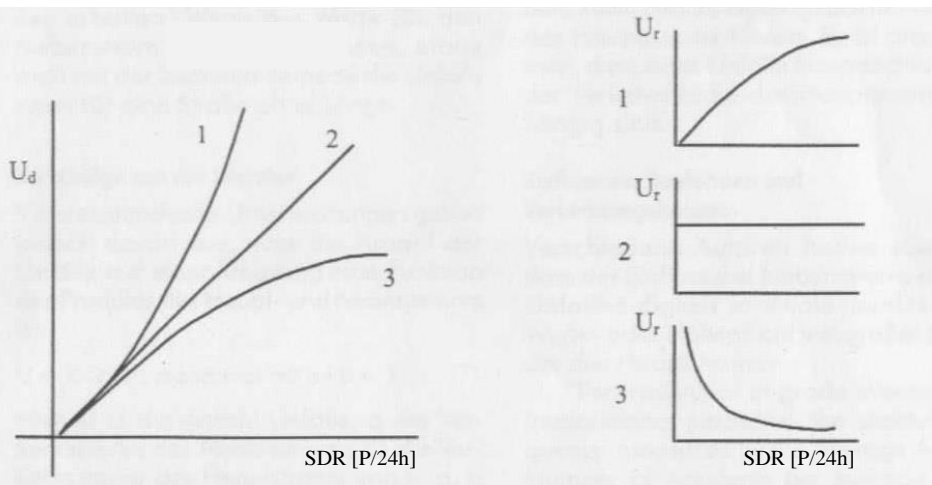
$$U_w = \frac{\sum_i W_i \cdot 10^6}{T \cdot 365 \cdot \sum_i Q_{0i} \cdot L_i}$$

Q_{0i} – średnie dobowe natężenie ruchu [P/24h]

Wskaźnik zagrożenia

$$W_z = \sqrt{DW \cdot U_w}$$

ZMIANY WARTOŚCI WSKAŹNIKÓW WYPADKOWYCH W FUNKCJI NATĘŻENIA RUCHU



1 LEKKO RANNI, 2 – CIĘŻKO RANNI, 3 – OFIARY ŚMIERTELNE

Wskaźniki uwzględniające ciężkość wypadku

W obliczeniach DW , U_w i W_Z zamiast liczby wypadków wstawia się ekwiwalentną liczbę wypadków W_E uwzględniającą stopień ciężkości wypadków

$$W_E = \sum_n W_n \cdot g_n$$

W_n – liczba wypadków kategorii n

g_n – waga dla wypadków kategorii n

Koszty wypadków

a) Straty wynikające ze śmierci ofiar wypadków

- Utrata Produktu Krajowego Brutto
- Średni koszt leczenia
- Średni koszt pogrzebu
- Średnie odszkodowanie za zabitego

b) Koszty rannych

- Utrata Produktu Krajowego Brutto
- Średni koszt leczenia i rehabilitacji
- Odszkodowania, renty

c) Koszty materialne przypadające na jeden wypadek

d) Koszty operacyjne

Szacowanie kosztów wypadków w Polsce - IBDiM

jednostkowe koszty zdarzeń drogowych na jedno zdarzenie, wg następujących kategorii:

- koszty medyczne;
- koszty administracyjne;
- koszty służb operacyjnych i porządkowych;
- koszty uszkodzenia mienia;
- koszty utraconej mocy produkcyjnej (utracona produkcja);
- ocena utraconej jakości życia (strata dobra z powodu wypadków).

Koszty wypadków i kolizji w Polsce są szacowane na poziomie:

2015 r. - 48,2 mld zł, 3% PKB; koszt wypadków drogowych - 33,6 mld zł, koszt kolizji drogowych - 14,6 mld zł

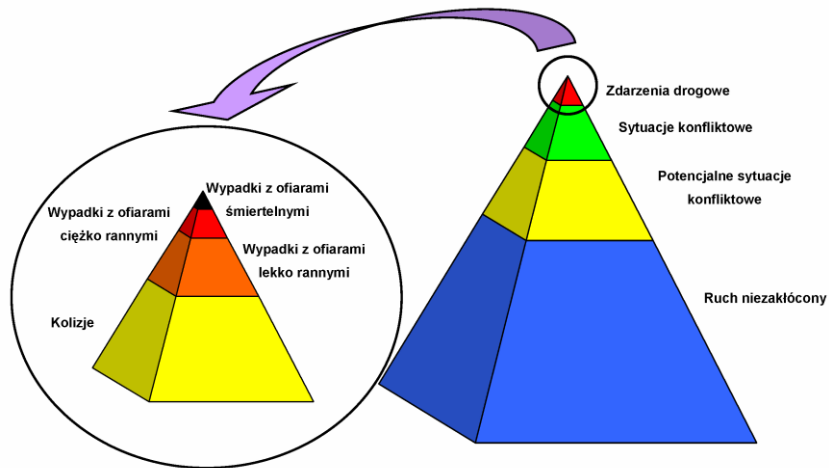
2018 r. - 56,6 mld zł, 2,7% PKB

5. Koszty wypadków drogowych i ofiar

Koszty jednostkowe zdarzeń drogowych (PLN/zdarzenie), ceny 2014

Rok	Koszty (PLN)			
	Ofiar śmiertelnych	Ciężko Rannych	Rannych	Straty materialne
2014	2 030 099	2 271 961	31 228	19 966
2015	2 095 316	2 344 947	32 231	20 607
2016	2 159 885	2 417 209	33 224	21 242
2017	2 228 175	2 493 635	34 275	21 914
2018	2 296 839	2 570 480	35 331	22 589
2019	2 362 099	2 643 514	36 335	23 231
2020	2 427 320	2 716 505	37 338	23 872
2021	2 493 633	2 790 719	38 358	24 524
2022	2 559 759	2 864 723	39 375	25 175
2023	2 625 586	2 938 393	40 388	25 822
2024	2 691 002	3 011 602	41 394	26 465
2025	2 755 889	3 084 220	42 392	27 104
2026	2 824 324	3 160 807	43 445	27 777
2027	2 894 457	3 239 296	44 524	28 466
2028	2 964 010	3 317 135	45 594	29 150
2029	3 035 234	3 396 845	46 689	29 851
2030	3 108 169	3 478 469	47 811	30 568
2031	3 182 575	3 561 740	48 956	31 300

Czy wypadki są dobrym miernikiem oceny infrastruktury?



Zjawisko/sytuacja	Rejestrowana liczba	
	W jednostce czasu	Na km
Informacja o ruchu	5/sek.	300/ 1 km
Obserwacje kierowcy	2/sek.	120/ 1 km
Decyzje kierowcy	40/ 1 minutę	40/ 1 km
Działania kierowcy	30/ 1 minutę	30/ 1 km
Błędne działania kierowcy	2/ 1 minutę	1/ 2 km
Ryzykowne sytuacje	1/ 2 godziny	1/ 120 km
Sytuacje „bliskie zdarzenia”	1/ 1 miesiąc	1/ 2000 km
Zdarzenia drogowe	1/ 7,5 roku	1/ 150 000 km
Wypadki z rannymi	1/ 100 lat	1/ 2 000 000 km
Wypadek śmiertelny	1/ 2000 lat	1/ 40 000 000 km



TYPOWE ZACHOWANIA
 BŁĘDNE ZACHOWANIA
 KONFLIKTY W RUCHU
 ZDARZENIA DROGOWE



Dlaczego wypadki nie są dobrą miarą brd:

- ♦ mała próba uniemożliwiająca rozstrzygające wnioskowanie o źródłach zagrożeń i ich unikaniu
- ♦ brak dokładnych informacji do zrozumienia mechanizmu wypadków, a szczególnie zachowań uczestników ruchu

PROPOZYCJA: STOSOWANIE MIAR POŚREDNICH

1. Miary pośrednie powinny bazować na możliwych do obserwacji zdarzeniach „nie wypadkowych”, które ze względu na fizyczną interpretację mogą wskazywać na zagrożenia wypadkami
2. Istnieje praktyczna metoda transponowania zdarzeń „nie wypadkowych” do wielkości odpowiadających częstości wypadków i/lub ciężkości wypadków

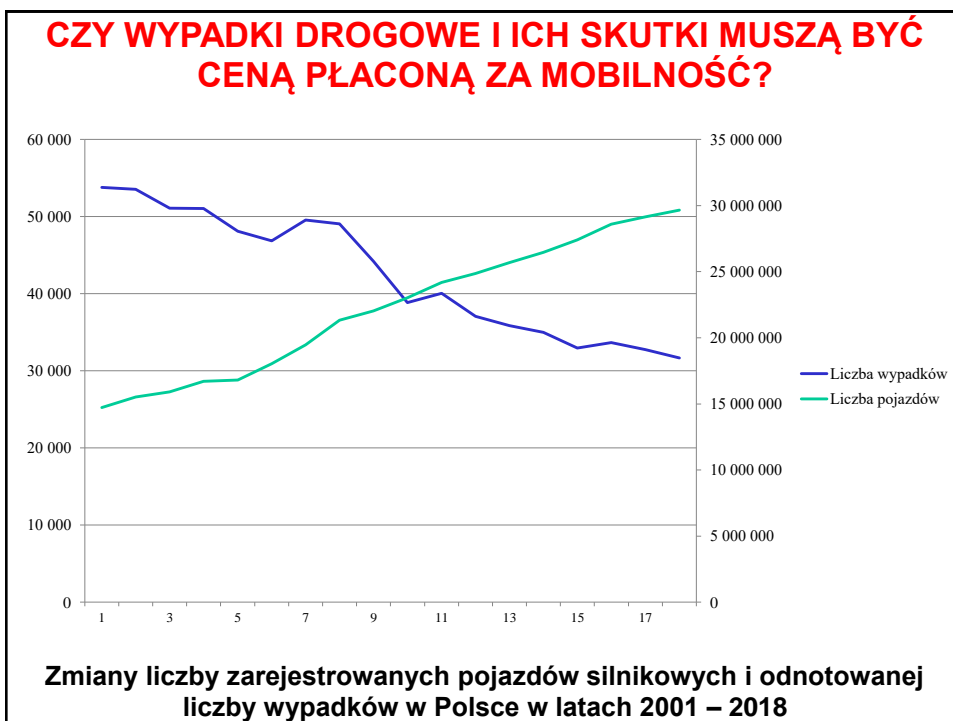
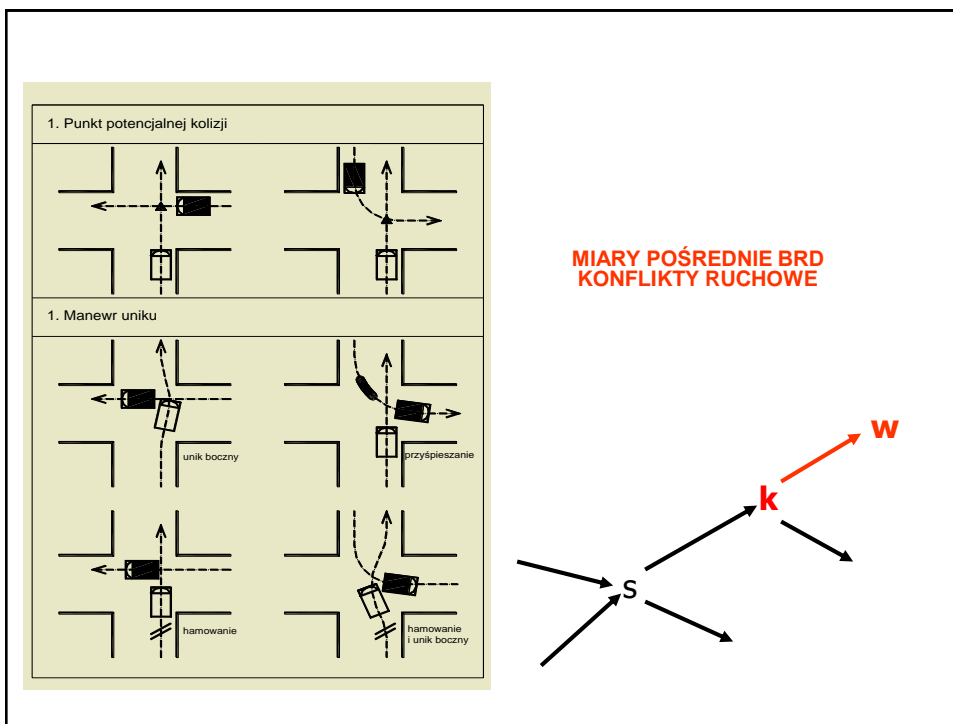
MIARY POŚREDNIE – ZACHOWANIA UCZESTNIKÓW RUCHU

Zachowanie kierowców i pasażerów:

- Prędkość, dyspersja prędkości
- Odstępy między pojazdami, jazda w kolumnach
- Inne niebezpieczne zachowania
- Alkohol i inne środki odurzające
- Stosowanie zabezpieczeń

Zachowanie pieszych:

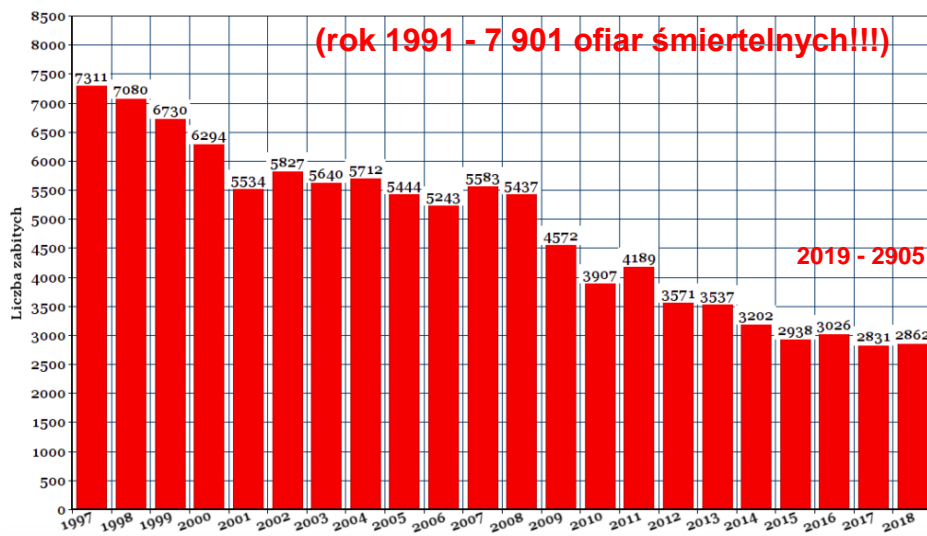
- wejście na czerwonym świetle
- noszenie materiałów odblaskowych



2009 – 2018 redukcja o 37,4% ofiar śmiertelnych!!!!

2010 – 2019 redukcja o 25,6% ofiar śmiertelnych!!!!

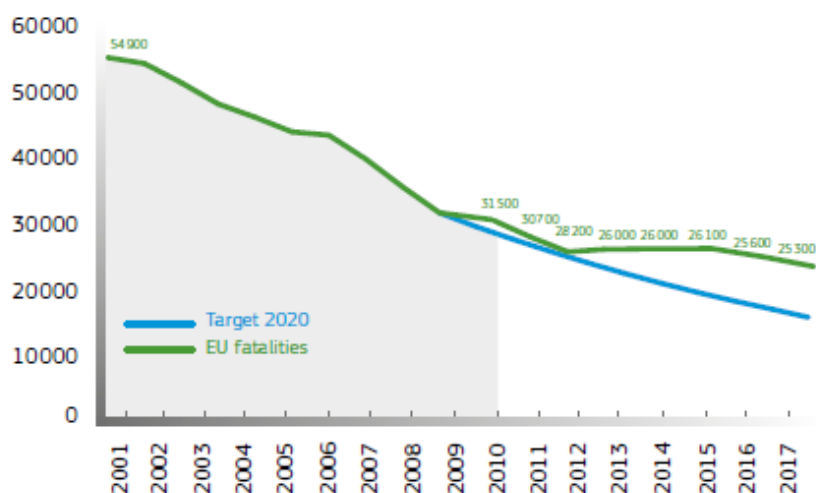
(rok 1991 - 7 901 ofiar śmiertelnych!!!!)



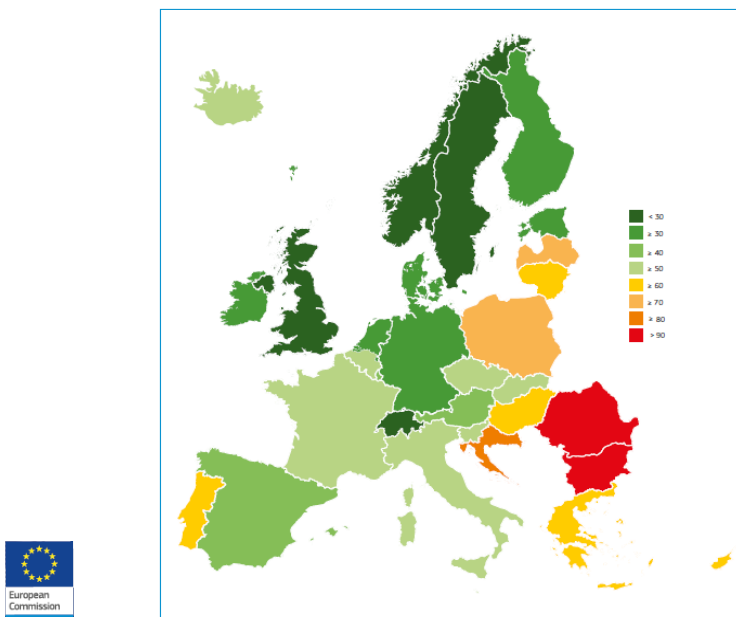
Zmiana liczby ofiar śmiertelnych w Polsce

Zmiana liczby ofiar śmiertelnych w UE

EU FATALITIES AND TARGETS (2010-2020)



ROAD FATALITY RATES 2017



Wskaźnik liczby ofiar śmiertelnych na 1 milion mieszkańców

CZY WYPADKI DROGOWE I ICH SKUTKI SĄ ISTOTNYM SPOŁECZNYM PROBLEMEM?

- Wypadki drogowe są na świecie na czołowym miejscu listy przyczyn zgonów najbardziej wpływających na skrócenie życia człowieka
- W UE koszty wypadków drogowych wynoszą ponad 200 mld Euro rocznie
- Koszty wypadków i kolizji w Polsce są szacowane na poziomie ok. 3% PKB (**48,2 mld zł w 2015 r. 3% PKB; 56,6 mld zł w 2018 r. – 2,7% PKB**)
- W Polsce liczba ofiar śmiertelnych wypadków maleje, ale w latach 2014 - 2018 (5 lat) było to łącznie **14,86 tys.**, a rannych zostało **199,91 tys.**
- Wypadki drogowe są główną przyczyną śmierci i inwalidztwa wśród młodych ludzi w wieku 18 - 25 lat

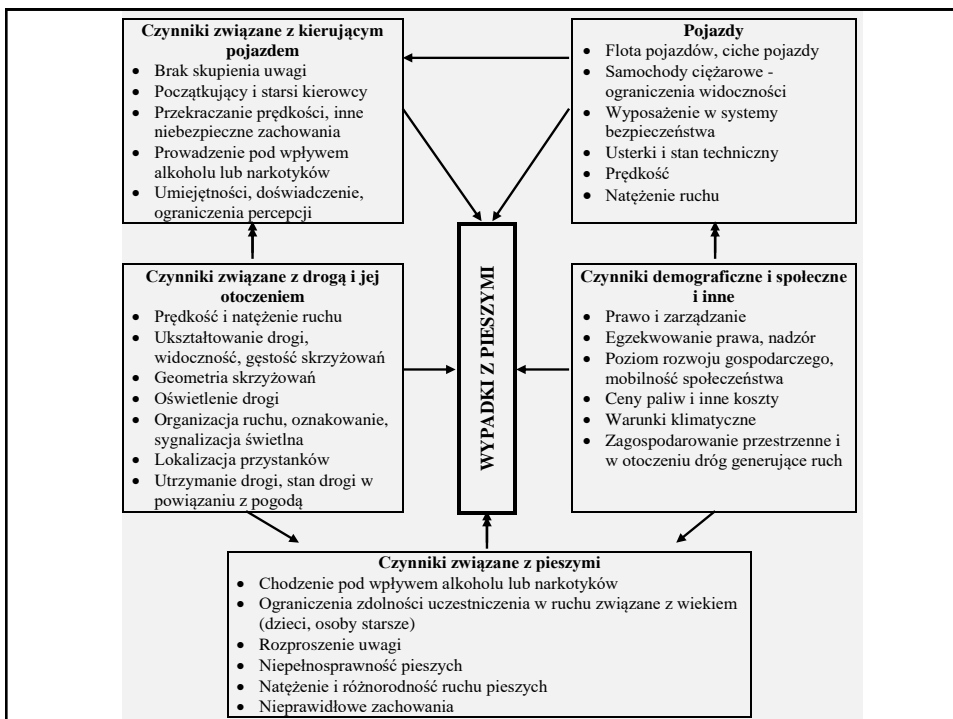
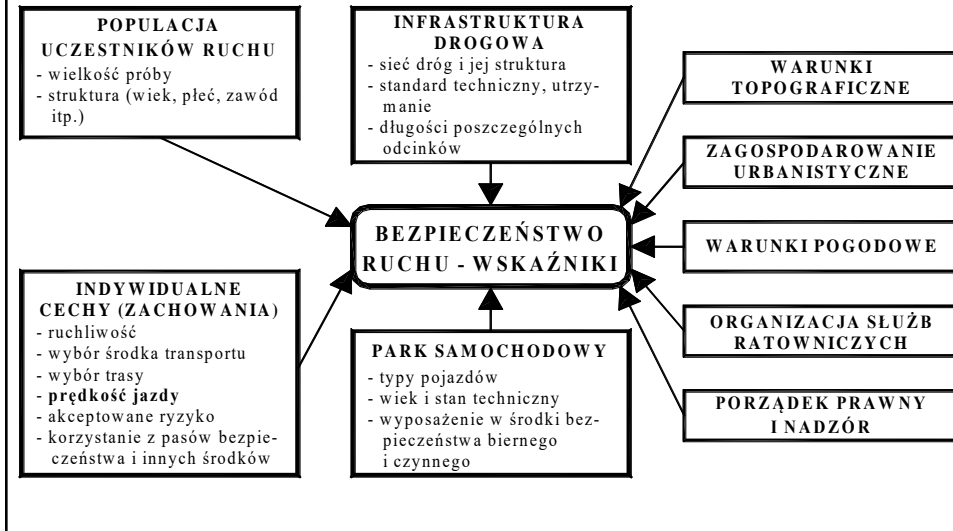
KOMPLEKS CZYNNIKÓW DETERMINUJĄCYCH BRD

„człowiek – pojazd – droga – środowisko drogi”

OD RUCHU NIEZAKŁÓCONEGO DO WYPADKU – czynniki wpływu

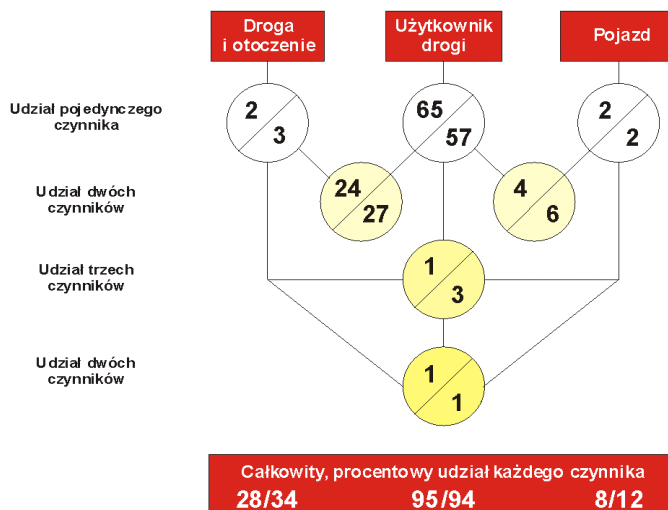
- ♦ Faza I - ruch normalny
*edukacja, prewencja, represja, **stan i wyposażenie dróg***
- ♦ Faza II – akcja kierowcy
*umiejętności kierowcy, bezpieczeństwo czynne pojazdu,
stan drogi*
- ♦ Faza III – wypadek
***otoczenie i wyposażenie dróg**, bezpieczeństwo bierne
pojazdu*
- ♦ Faza IV – po wypadku
***pomoc i służby ratownicze, rozwiązania drogowe
ułatwiające pracę służb ratowniczych***

GRUPY CZYNNIKÓW WPŁYWAJĄCYCH NA BEZPIECZEŃSTWO RUCHU DROGOWEGO

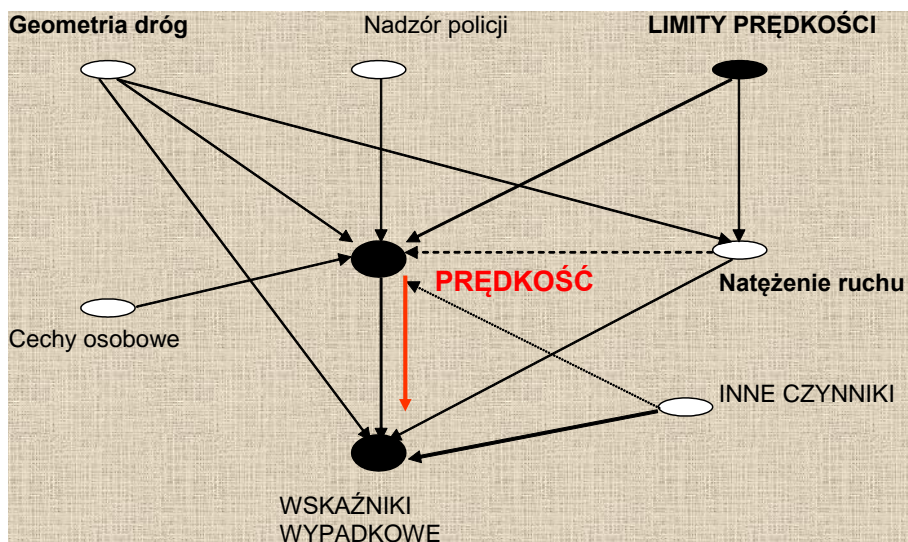


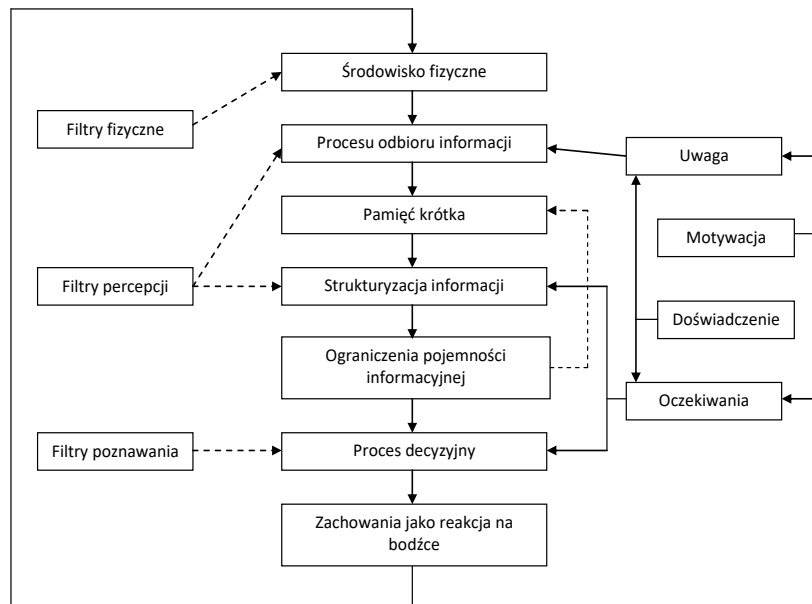
Rola poszczególnych grup czynników jako przyczyn wypadków – rola interakcji pomiędzy czynnikami

Dogłębne badania wypadku drogowego prowadzone w Stanach Zjednoczonych i Wielkiej Brytanii



Przykład interakcji różnych czynników wpływu na brd - prędkość





Model Rumar'a percepcji i rozpoznawania sytuacji w ruchu

Ograniczenia percepcji i przetwarzania informacji

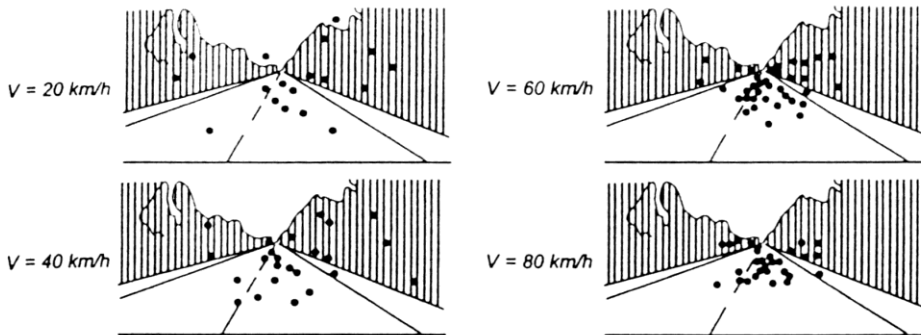
- ♦ **Fizyczne filtry** dotyczą przeszkód/barier, które utrudniają percepcję i ocenę sytuacji na drodze. Do ograniczeń tych należą warunki oświetlenia, fizyczne przeszkody zakrywające pole obserwacji itp.
- ♦ **Filtry percepcji** odnoszą się do fizjologicznych procesów postrzegania. Odbiór bodźców wizualnych (wzrokowych) jest ograniczany głównie sprawnością wzroku zależną np. od danej osoby, jej wieku, a także od warunków oświetlenia
- ♦ **Filtry procesu poznawania** wiążą się z takimi funkcjami człowieka, jak napięcie uwagi, motywy działania, doświadczenia i oczekiwania. Występować może w tym przypadku niedokładne przetwarzanie informacji, np. niewłaściwe oszacowanie prędkości lub odległości, ograniczenia zdolności przetwarzania przy nadmiarze informacji, braki informacji zwrotnej z otoczenia



Uwarunkowania odbioru bodźców wzrokowych

- ♦ ostrość wzroku
- ♦ pole widzenia
- ♦ widzenie barwne
- ♦ widzenie przestrzenne
- ♦ adaptacja wzroku do zmiennych warunków oświetlenia

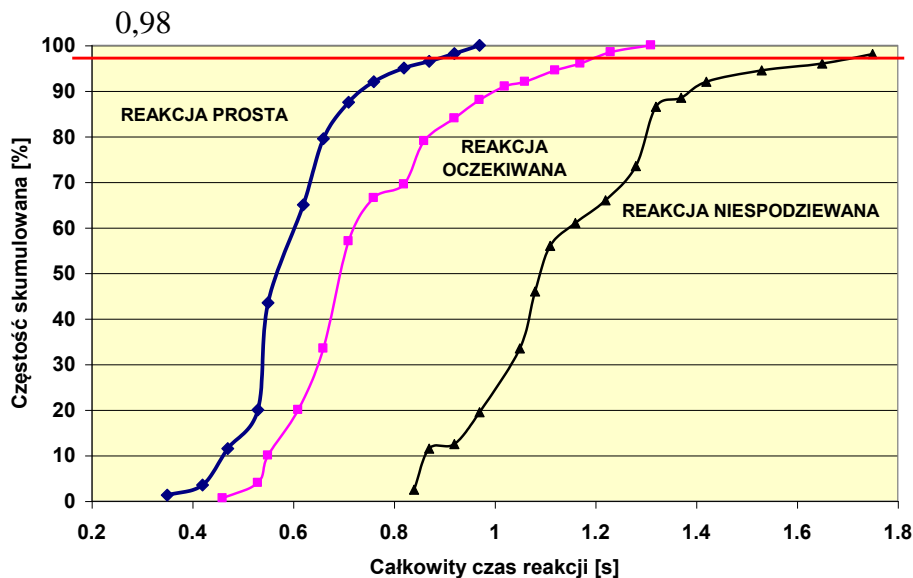
Wpływ prędkości na pole obserwacji kierującego



Inne czynniki sensomotoryczne

- ♦ wrażliwość słuchu
- ♦ ograniczenie częstotliwości odbieranych dźwięków
- ♦ bilateralna lokalizacja słuchu
- ♦ zmęczenie receptora słuchu
- ♦ receptor drgań
- ♦ receptor równowagi

ROZKŁAD CZASU REAKCJI W ZALEŻNOŚCI OD STOPNIA ZASKOCZENIA – znaczenie w projektowaniu dróg?



WNIOSKI DO PROJEKTOWANIA WYNIKAJĄCE Z PSYCHOFIZYCZNYCH I PSYCHOLOGICZNYCH CECH UŻYTKOWNIKÓW DRÓG:

1. Jednolitość geometrycznego ukształtowania drogi. Nie można dopuszczać do pojawiania się uczucia niepewności u użytkowników dróg (przewidywanie przebiegu drogi, przewidywanie zachowania się innych użytkowników)
2. Droga powinna jednoznacznie wyznaczać tor jazdy
3. Nie można stosować rozwiązań wymagających podejmowania kilku decyzji równocześnie

4. Droga nie powinna być monotonna, ani też otoczona zbyt wieloma informacjami
5. Urządzenia ostrzegawcze powinny być dostosowane do prędkości
6. Należy zapobiegać niewłaściwym sposobom korzystania z dróg
7. Należy uwzględniać ograniczoną akomodacyjną zdolność oka kierowcy (zmiany intensywności oświetlenia)
8. Należy zapobiegać pojawianiu się zbyt dużych różnic w prędkościach i kierunkach jazdy
9. Znaki drogowe dostosowane do zdolności ich odczytywania (barwa, symbolika, wielkość)

BLIŻEJ O DRODZE I RUCHU

Czynniki drogowe wpływające na brd:

- ♦ czynniki o charakterze urbanistycznym
- ♦ rozwiązanie geometryczne drogi
- ♦ rozwiązania skrzyżowań
- ♦ węzły drogowe
- ♦ rodzaj i stan cech powierzchniowych nawierzchni
- ♦ organizacja ruchu i jej środki
- ♦ inne czynniki

Dostępność do dróg jako czynnik wpływu na brd



Błędy infrastruktury - przykłady



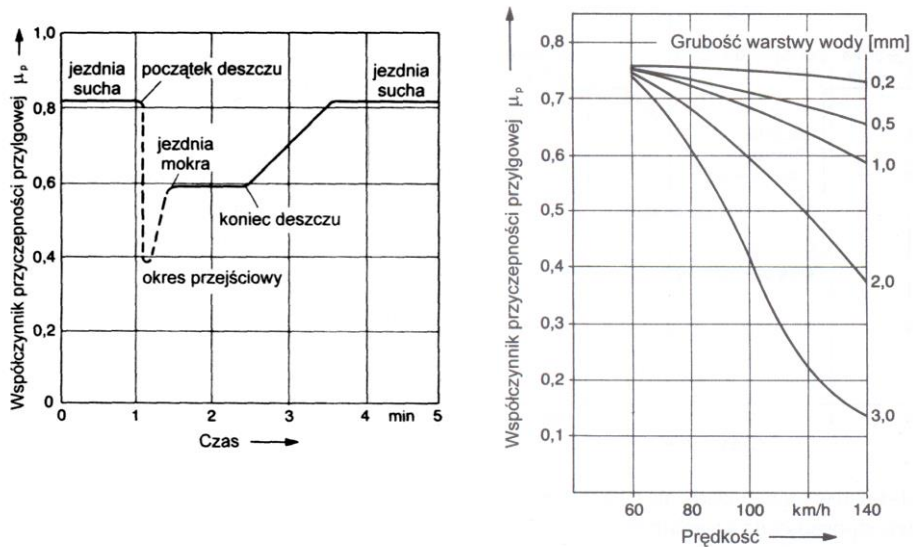




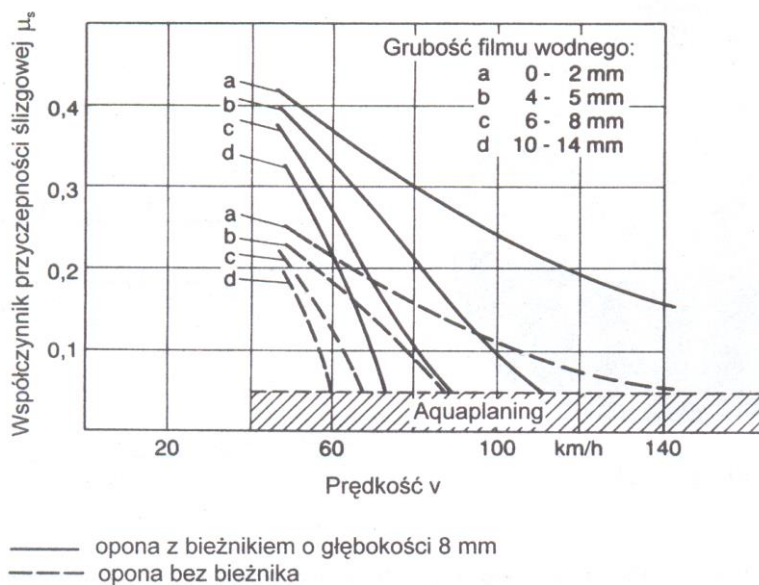
POTENCJALNE PRZYCZYNY BŁĘDÓW

- ♦ **Niewłaściwe zastosowanie (interpretacja) przepisów technicznych, braki wiedzy projektantów**
- ♦ **Stosowanie przepisów zawierających „niewłaściwe” sformułowania**
- ♦ **Ignorowanie przepisów technicznych lub świadome stosowanie odstępstw**
- ♦ **Brak w przepisach technicznych istotnych uwarunkowań bezpieczeństwa**
- ♦ **Koncentracja uwagi w procesie projektowania na sprawach ekonomicznych, realizacyjnych i ochrony środowiska z drugorzędną wagą bezpieczeństwa**

Stan nawierzchni jako czynnik wpływu na brd - zmiana wartości współczynnika przyczepności w zależności od zawilgocenia jezdni



Zjawisko „aquaplaningu”



RAMOWE WYMAGANIA BRD W PROJEKTOWANIU:

- ♦ spełnienie warunków dynamiki ruchu pojazdów opisywane przez modele (*równowagi sił działających na pojazdy, wyprzedzanie na odcinku drogi, zmiany pasów ruchu, droga hamowania*)
- ♦ zapewnienie widoczności w różnych sytuacjach na drodze
- ♦ dostosowanie technicznych rozwiązań elementów dróg, skrzyżowań i węzłów do psychologicznych oraz psychofizycznych uwarunkowań użytkowników dróg - percepcja, przetwarzanie informacji i podejmowanie decyzji adekwatnych do zmieniających się sytuacji na drodze

Ramowe wymagania brd w projektowaniu - cd:

- ♦ dobre optyczne prowadzenie kierującego pojazdem i dostatecznie wczesne dostrzeganie miejsc rozdziału kierunków jazdy (*decyzje uczestników ruchu*)
- ♦ zrozumiałość funkcjonowania skrzyżowań i węzłów (*decyzje uczestników ruchu*)
- ♦ prawidłowe odwodnienie zapewniające m.in. dobrą przyczepność kół pojazdów do nawierzchni, eliminacja zjawiska powstawania mgły wodnej
- ♦ czytelne, jednoznaczne w odbiorze oraz widoczne oznakowanie pionowe i poziome (*decyzje uczestników ruchu*)
- ♦ eliminacja z otoczenia drogi przeszkód lub ich zabezpieczenie minimalizujące skutki ewentualnych zderzeń z pojazdami

WPŁYW RUCHU NA BRD – ogólne uwagi

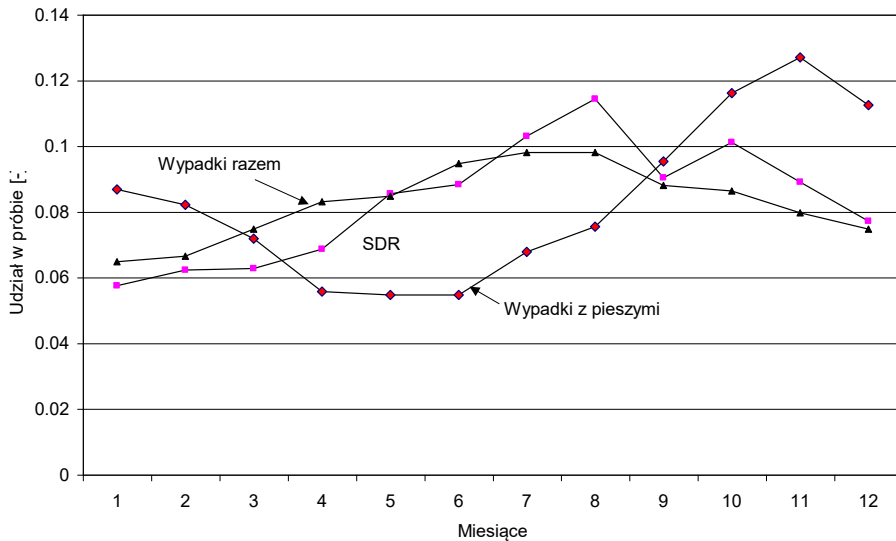
- ♦ Natężenie ruchu
- ♦ Struktura rodzajowa ruchu
- ♦ Charakter podróży
- ♦ Prędkość

NATĘŻENIE RUCHU I JEGO STRUKTURA

- ♦ Natężenie ruchu jako miara wystawienia na ryzyko i wpływające na prawdopodobieństwo błędu oraz skalę szkody
- ♦ **Małe natężenie** – swoboda wyboru prędkości i wyprzedzania, osłabienie uwagi kierujących - ciężkie wypadki, niewiele kolizji
- ♦ **Średnie natężenie** – ograniczenie swobody ruchu, wzrost uwagi kierujących, ważna rola struktury rodzajowej ruchu wpływającej na dyspersję prędkości – mniej wypadków i kolizji
- ♦ **Duże natężenie ruchu** – maleje prędkość i możliwość wyprzedzania - duża liczba kolizji, wypadki „seryjne”

NATEŻENIE RUCHU JAKO ZMIENNA WYSTAWIENIA NA RYZYKO – MOŻLIWE WPŁYWY INNYCH CZYNNIKÓW

(przykład analizy wypadków ogółem i wypadków z pieszymi)



PRĘDKOŚĆ

Prędkość ma wpływ na brd, bo decyduje o:

- ♦ długości drogi zatrzymania przed przeszkodą
- ♦ energii zderzenia
- ♦ warunkach równowagi pojazdów na krzywiznach
- ♦ polu obserwacji kierującego i możliwościach jego reakcji

Ocena wpływu prędkości na brd na podstawie danych o zdarzeniach drogowych - przykłady

Wpływ prędkości na brd – wyniki badań i analiz modeli regresyjnych

- ♦ wpływ prędkości na brd jest silnie związany ze standardem technicznym dróg i skrzyżowań oraz zagospodarowaniem ich otoczenia
- ♦ prędkość jest powiązana z kompleksem czynników determinujących brd poprzez interakcji z tymi czynnikami - jej ilościowy wpływ może być wyrażany pośrednio także przez inne czynniki
- ♦ obok nadmiernej prędkości istotnymi przyczynami wypadków jest także niejednorodność prędkości pojazdów w potokach ruchu
- ♦ grupą szczególnie narażoną na wypadki z nadmierną prędkością są piesi i rowerzyści

BLIŻEJ O POJEŹDZIE

Czynniki wpływające na powstawanie wypadków i ich skutki:

- ♦ **bezpieczeństwo czynne pojazdu** – zespół cech zmniejszających prawdopodobieństwo zdarzenia drogowego
- ♦ **bezpieczeństwo bierne pojazdu** – urządzenia zmniejszające skutki wypadku drogowego
- ♦ **stan techniczny pojazdu i jego nadzór**

PODSUMOWANIE

**WYPADKI DROGOWE SĄ ZWYKLE SKUTKIEM
ZAWODNOŚCI FUNKCJONOWANIA UKŁADU**

**„CZŁOWIEK – DROGA – POJAZD -
ŚRODOWISKO”**

**TO FUNKCJONOWANIE JEST ZJAWISKIEM
ZŁOŻONYM, A JEGO PEŁNE POZNANIE JEST
CIĄGŁE PRZEDMIOTEM WIELU BADAŃ I
WYMAGA INTERDYSCYPLINARNYCH ANALIZ**