

Prognozowanie Ruchu

Wykład 1 **Wprowadzenie**

dr inż. Rafał Kucharski

Katedra Systemów Transportowych www.kst.pk.edu.pl

Politechnika Krakowska

semestr letni, 2019

Cel i zakres przedmiotu

1. Ocena efektywności inwestycji transportowych. Co to znaczy, że przedsięwzięcie będzie efektywne.
2. Miejsce i znaczenie prognozowania w procesie inwestycyjnym (pozyskanie środków zewnętrznych - EU).
3. Określanie stanu sieci transportowej: praca przewozowa, potoki, więźby ruchu, obciążenia sieci, średnia prędkość, itp.
4. Prognozowanie przyszłego (długoterminowego) stanu sieci transportowej – identyfikacja zmian: zmiany w sieci, zmiany w zagospodarowaniu, zmiany zachowań, zmiany otoczenia, itp.

Literatura

- Tracz M. „*Pomiary i badania ruchu drogowego*”, Kraków, 1983
- Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M. „*Inżynieria ruchu*”, Warszawa 2008
- Cascetta E. (2009) *Transportation System Analysis: Models and Applications* Springer, New York
- www.blibos.pk.edu.pl – multiwyszukiwarka – po zalogowaniu:
 - Transportation Research Part A, B, C,
 - Transportmetrica A, B
 - Journal of ITS,
 - Journal of Advanced Transportation,
 - Transportation Science,
 - ...
- Czasopisma branżowe: Transport Miejski i Regionalny, Przegląd Komunikacyjny, Drogownictwo.
- *internety*: skyscrapercity, transport-publiczny.pl, knsk.org, GDDKiA, siskom
- Wyniki Kompleksowych Badań Ruchu (częstopublikowane online)
- Prace projektowe, ekspertyzy, raporty (j.w.)

Zdobywane umiejętności

1. Ocena wpływu przyszłych inwestycji na sieć transportową.
2. Szacowanie efektywności inwestycji transportowych, znajomość procesu wyboru wariantu inwestycyjnego.
3. Szacowanie zapotrzebowania na infrastrukturę i przewozy. Planowanie rozwoju układu do prognozowanych potrzeb.
4. Wykorzystanie w projektowaniu dróg, ulic, parkingów, stacji, dworców, zjazdów, wjazdów i dojazdów.

I

Potrzeba prognozowania

Kiedy i dlaczego potrzebne są prognozy?

Analiza kosztów i korzyści

Koszty – C

Ile kosztuje dane przedsięwzięcie?

- droga; ulica; trasa; linia; węzeł; tunel

Korzyści – B

Jakie generuje korzyści?

- ile zarobimy (z opłat)
- ile zaoszczędzimy: czasu, paliwa, hałasu, wypadków.
- ile *pozytywu* wygenerujemy (miejsc pracy, rozwoju gospodarczego, ...)

Pytania: $B > C \quad \frac{B}{C}$

Potrzeba prognozowania

Jak oszacować korzyści z przedsięwzięcia transportowego:

- ile czasu zaoszczędzimy?
- ilu pasażerów, kierowców, firm skorzysta z inwestycji?
- ile ruchu wzbudzimy?
- jak zmienimy zachowania?
- ile czasu zaoszczędzą podróżni?

Odpowiedź: Prognozowanie

II

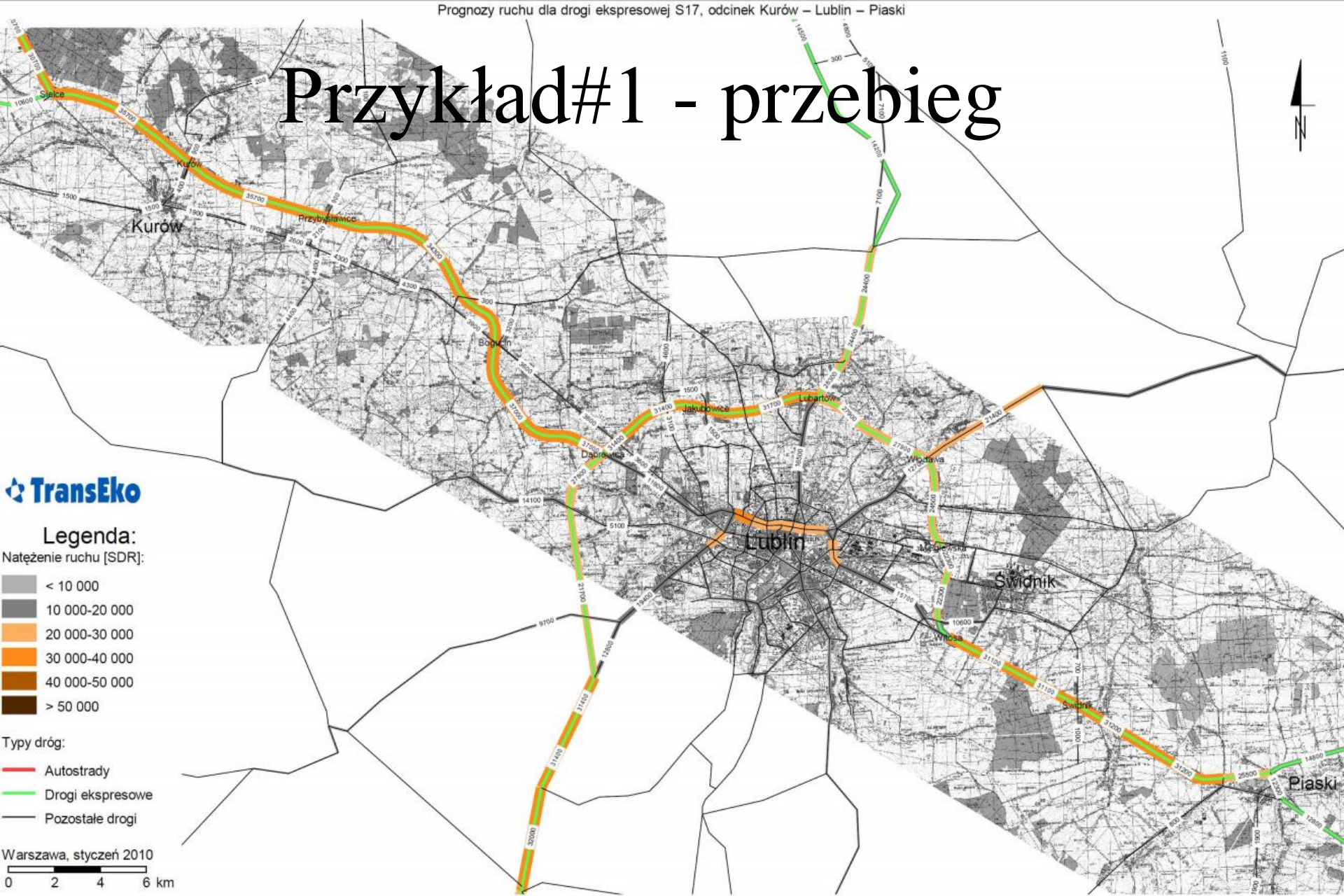
Prognozy - zastosowanie

O czym przesądza prognoza ruchu?

Przykład #1 - przebieg



Przykład#1 - przebieg



Prognoza ruchu, rok 2018
Wariant inwestycyjny, bezpłatny

Przykład#2 – warstwa bitumiczna




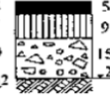



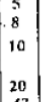
Kategoria ruchu samochodowego jeden z głównych parametrów wpływających na projektowaną konstrukcję drogi.

Kategoria ruchu	N_{100} – sumaryczna liczba równoważnych osi standardowych 100 kN w całym okresie projektowym (w milionach osi 100 kN na pas obliczeniowy) standardy z 2014
KR1	$0,03 < N_{100} \leq 0,09$
KR2	$0,09 < N_{100} \leq 0,50$
KR3	$0,50 < N_{100} \leq 2,50$
KR4	$2,50 < N_{100} \leq 7,30$
KR5	$7,30 < N_{100} \leq 22,00$
KR6	$22,00 < N_{100} \leq 52,00$
KR7	$N_{100} > 52,00$

Okres projektowy wynosi 30 lat w przypadku autostrad i dróg ekspresowych, a 20 w przypad

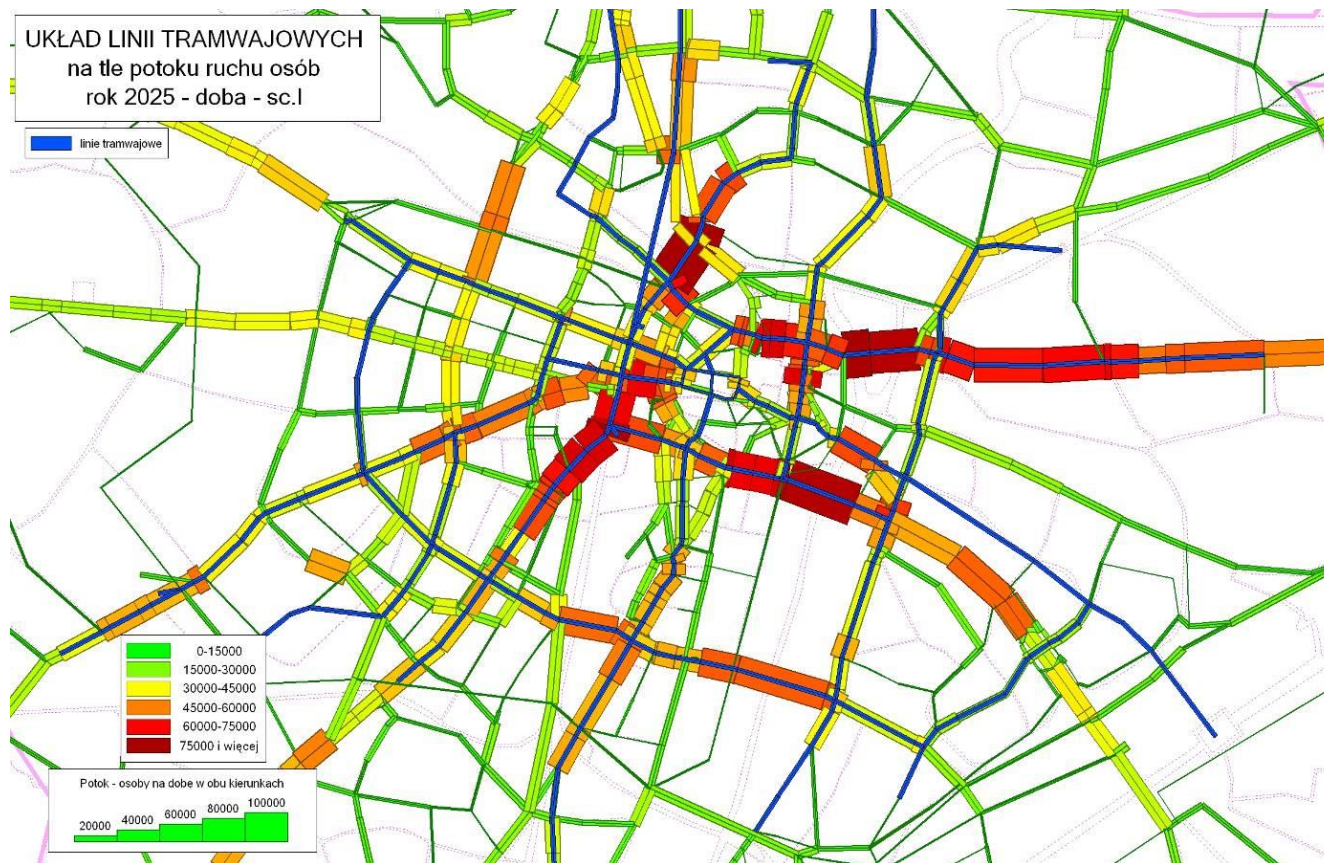
$$N_{100} = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot (N_C \cdot r_C + N_{C+P} \cdot r_{C+P} + N_A \cdot r_A)$$

Lp.	Rodzaj warstwy	Miesz		
		Podbudowa zasadnicza		
		KR1-KR2	KR3-KR4	KR5-KR7
1.	Mieszanki związane cementem wg PN-EN 14227-1	C3/4 $\leq 6,0$ MPa	C5/6 $\leq 10,0$ MPa	C8/10 ≤ 20 MPa
2.	Mieszanki związane żużlem wg PN-EN 14227-2	Typ A1, A2, A3, B1, B2: CBR50/50; Typ B4: C3/4	Typ B4: C6/8	Nie stosuje się

Typ	Kategoria ruchu Liczba osi obliczeniowych 100 kN/pas/dobę			
	KR1	KR2	KR3	KR4
	≤ 12	13 - 70	71 - 335	336 - 1000
A	PODBUDOWA Z KRUSZYWA ŁAMANEGO STABILIZOWANEGO M			
	LUB Z TŁUCZNIĄ KAMIENNEGO			
				
				

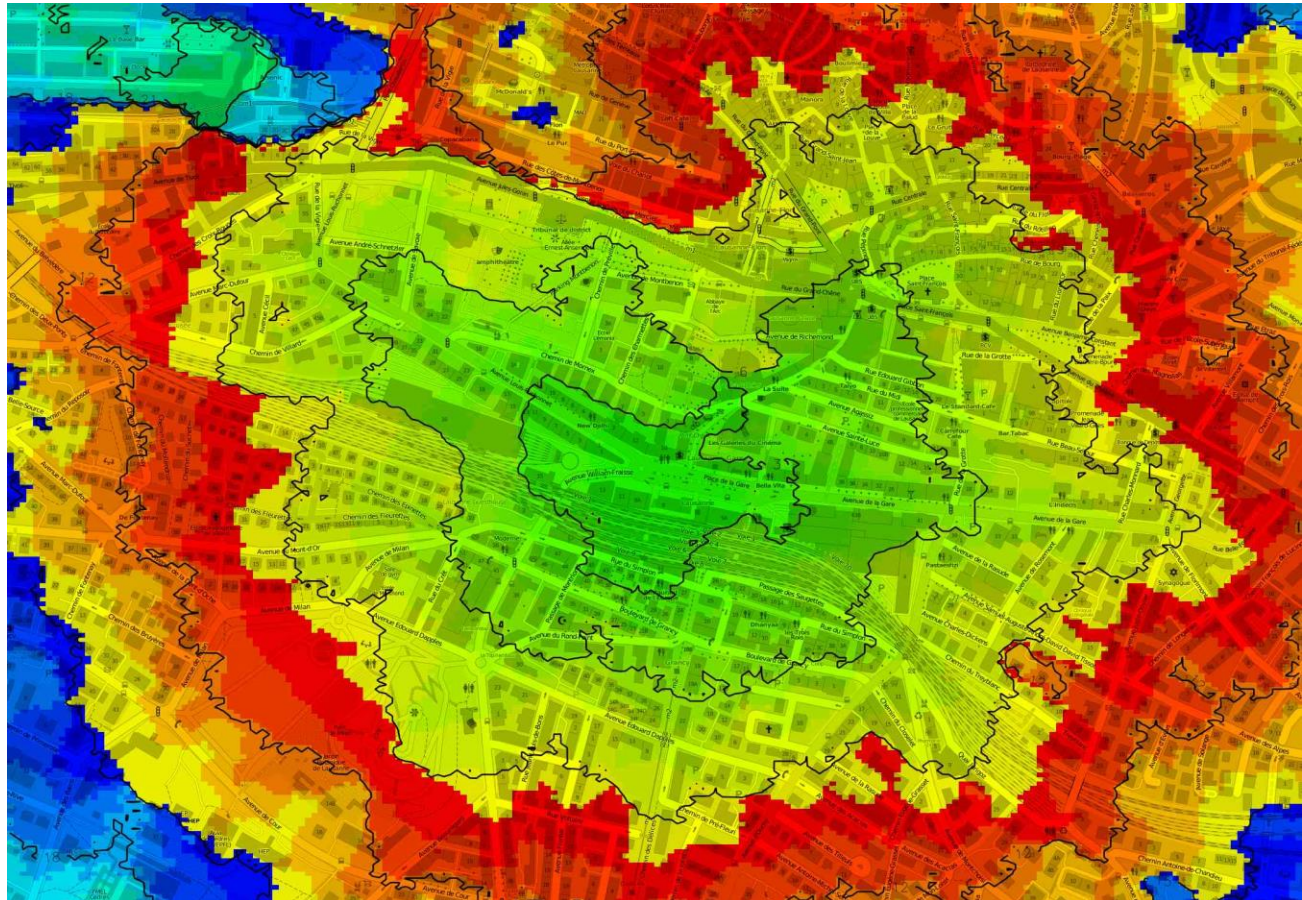
Przykład #4 – układ linii

źródło: W. Jastrzębski – ScottWilson



Przykład #5 – rozmieszczenie przystanków

izochrona –
potencjał
przystanku
(Grenoble)

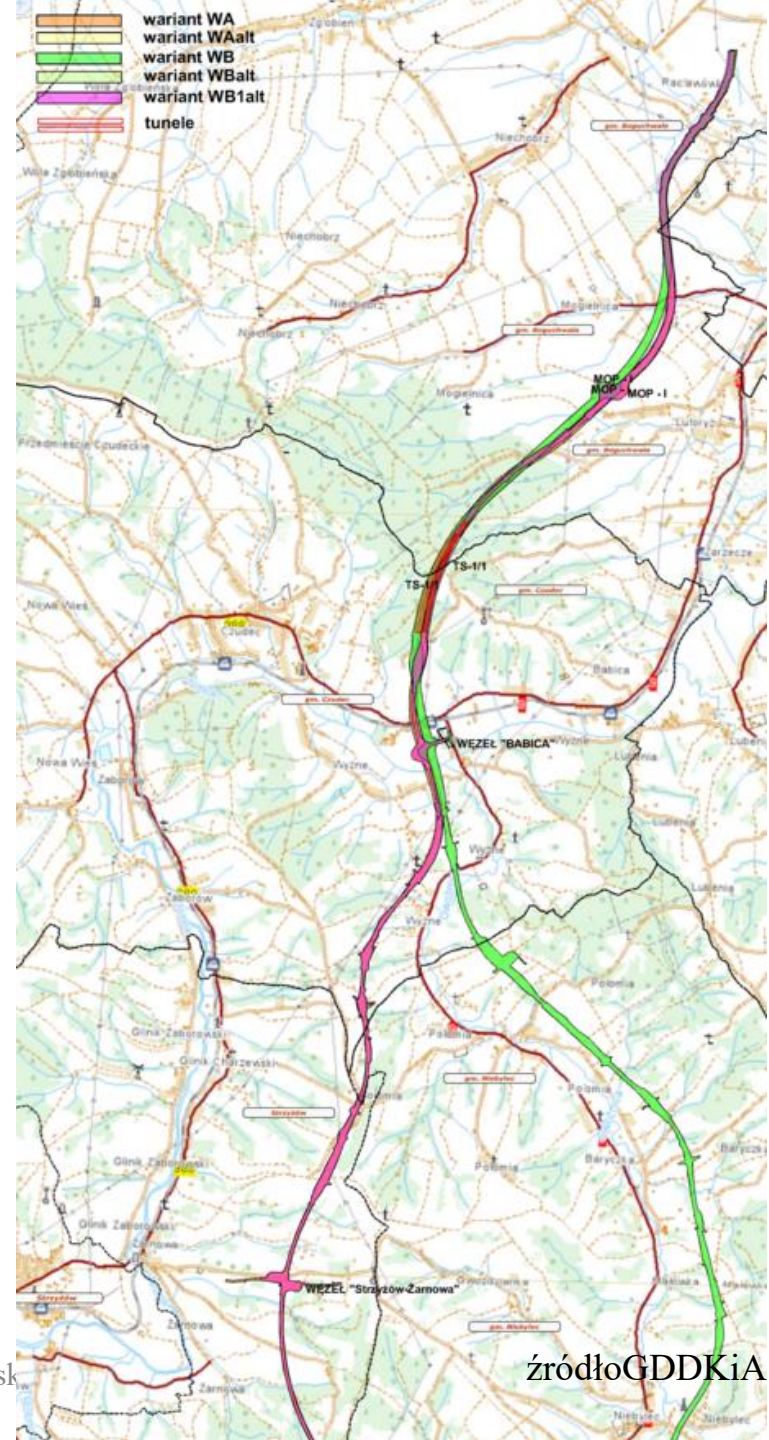


źródło:
Remi Emonet

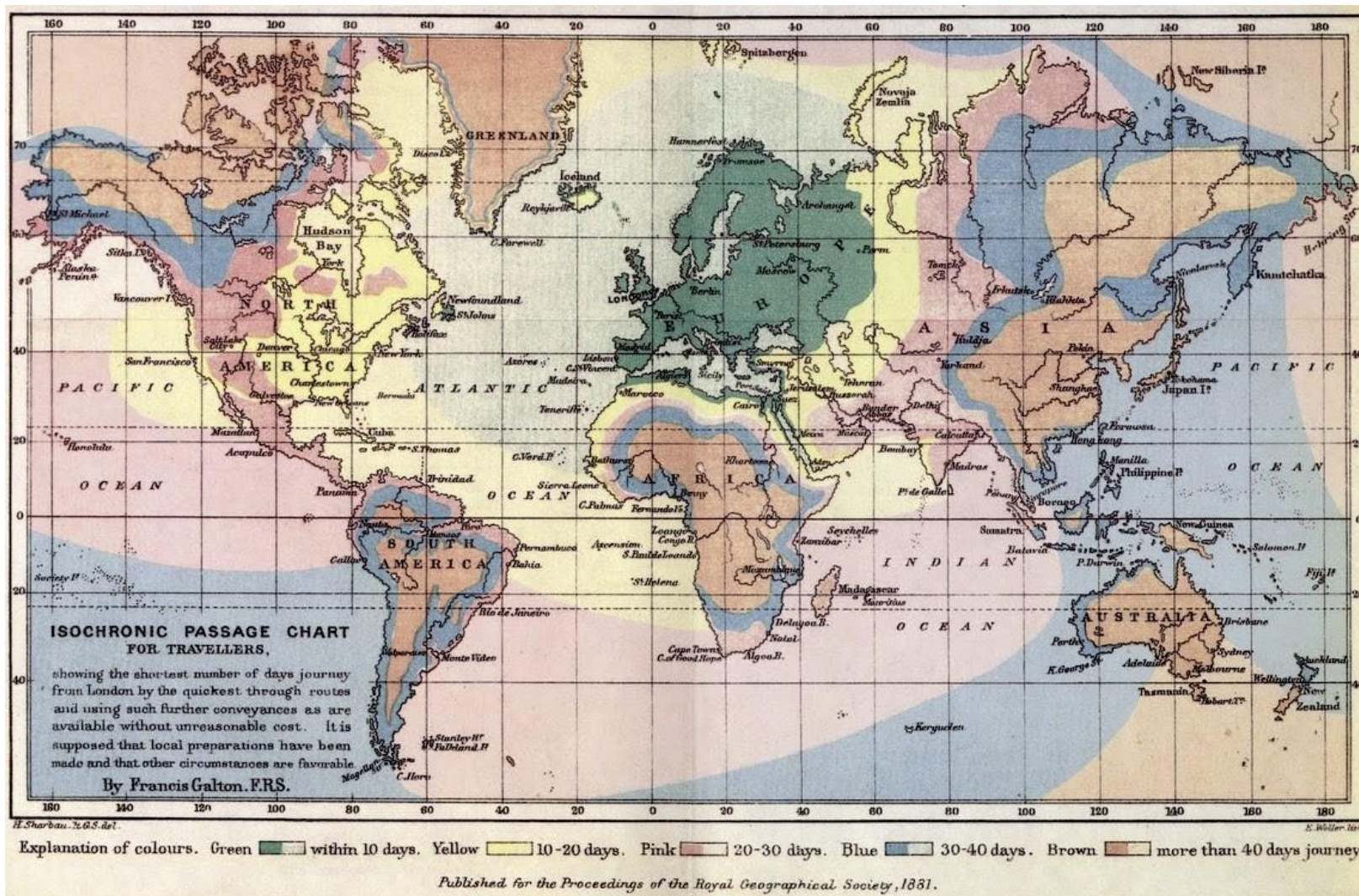
Przykład #6

lokalizacja węzłów

efektywność ekonomiczna
dla różnych wariantów
rozmieszczenia węzłów na S-19

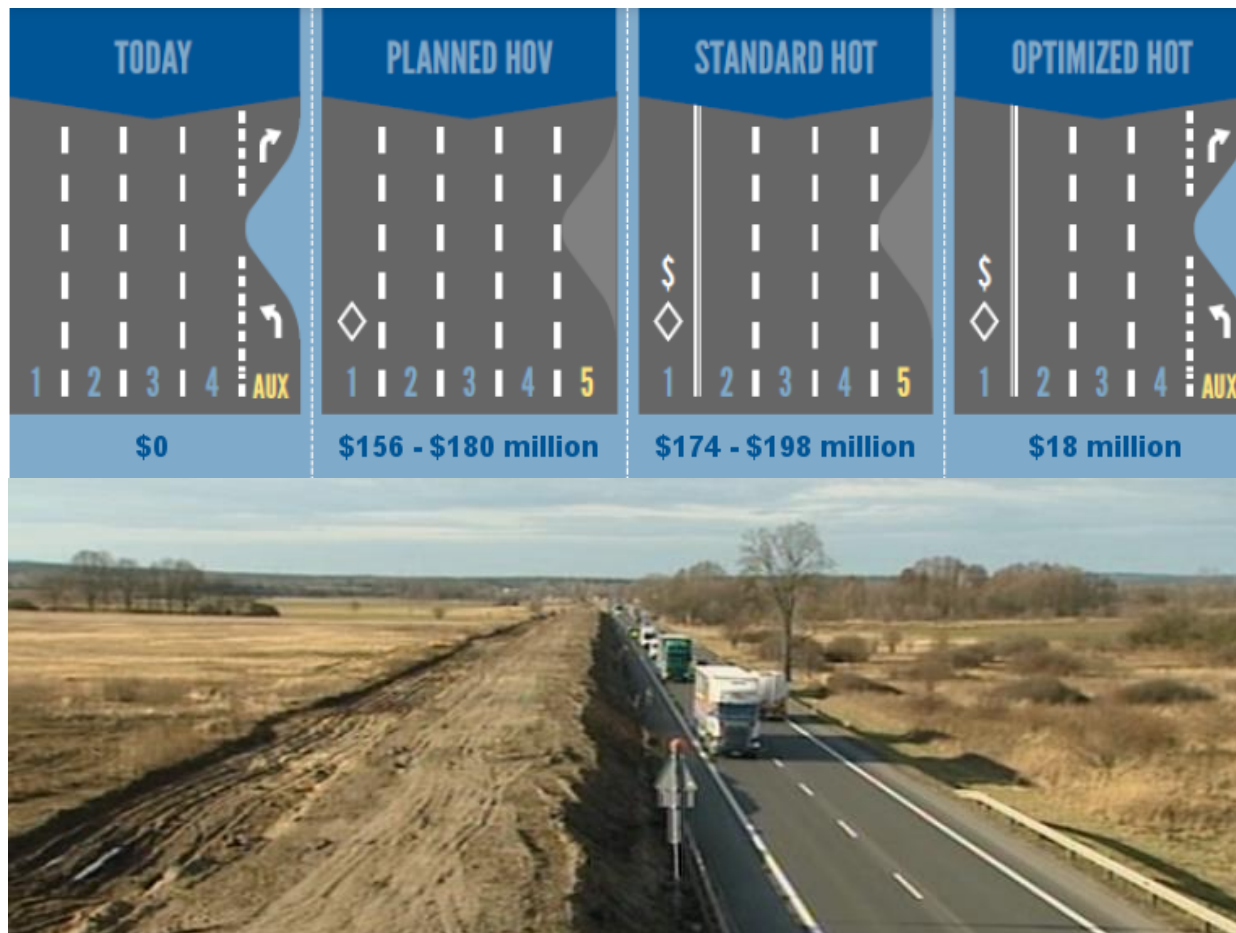


Przykład #7 – dostępność



Przykład #8 – przekrój drogowy

liczba pasów na
budowanej drodze



Przykład #8 – stacje metra

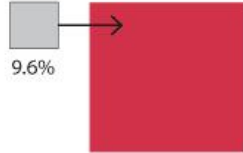
powierzchnia
peronów

przepustowość
drzwi



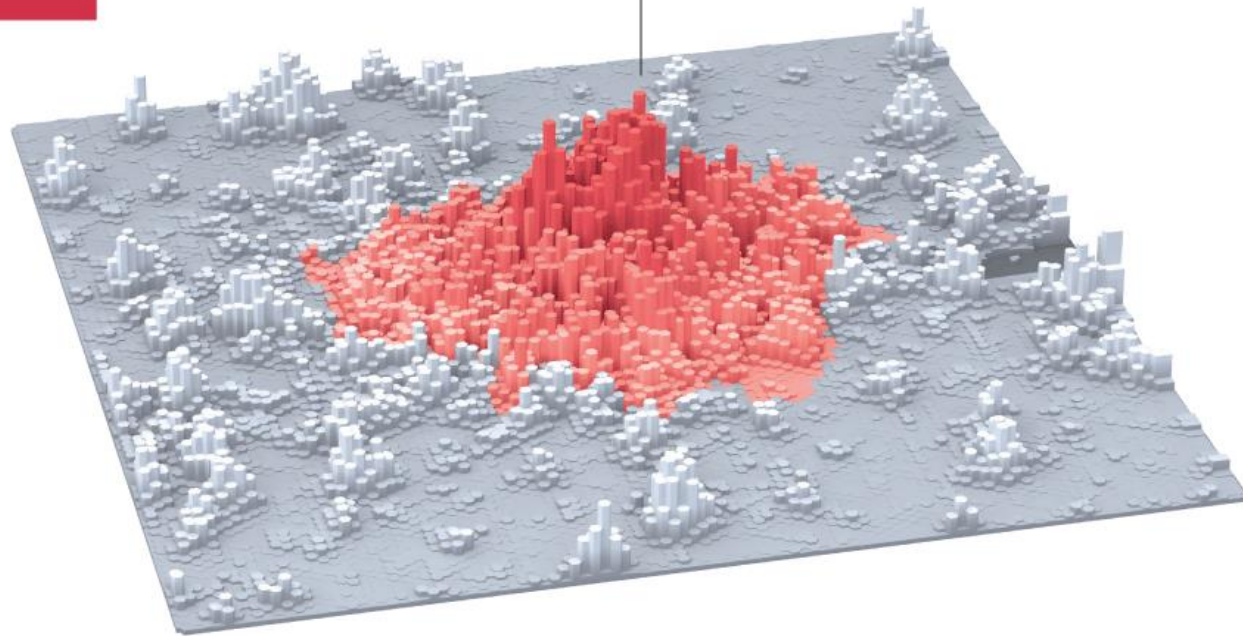
Przykład #9 – rozmieszczenie ludności

722,000 commuters entering
administrative city per day (2007)



21,000 people/km²

LONDON



„Ambient” population density in London in 2014 - representing the actual daily trip “density” (total trip production and attraction) (source: lsecities.net).

Przykład #10 – tłok w autobusach

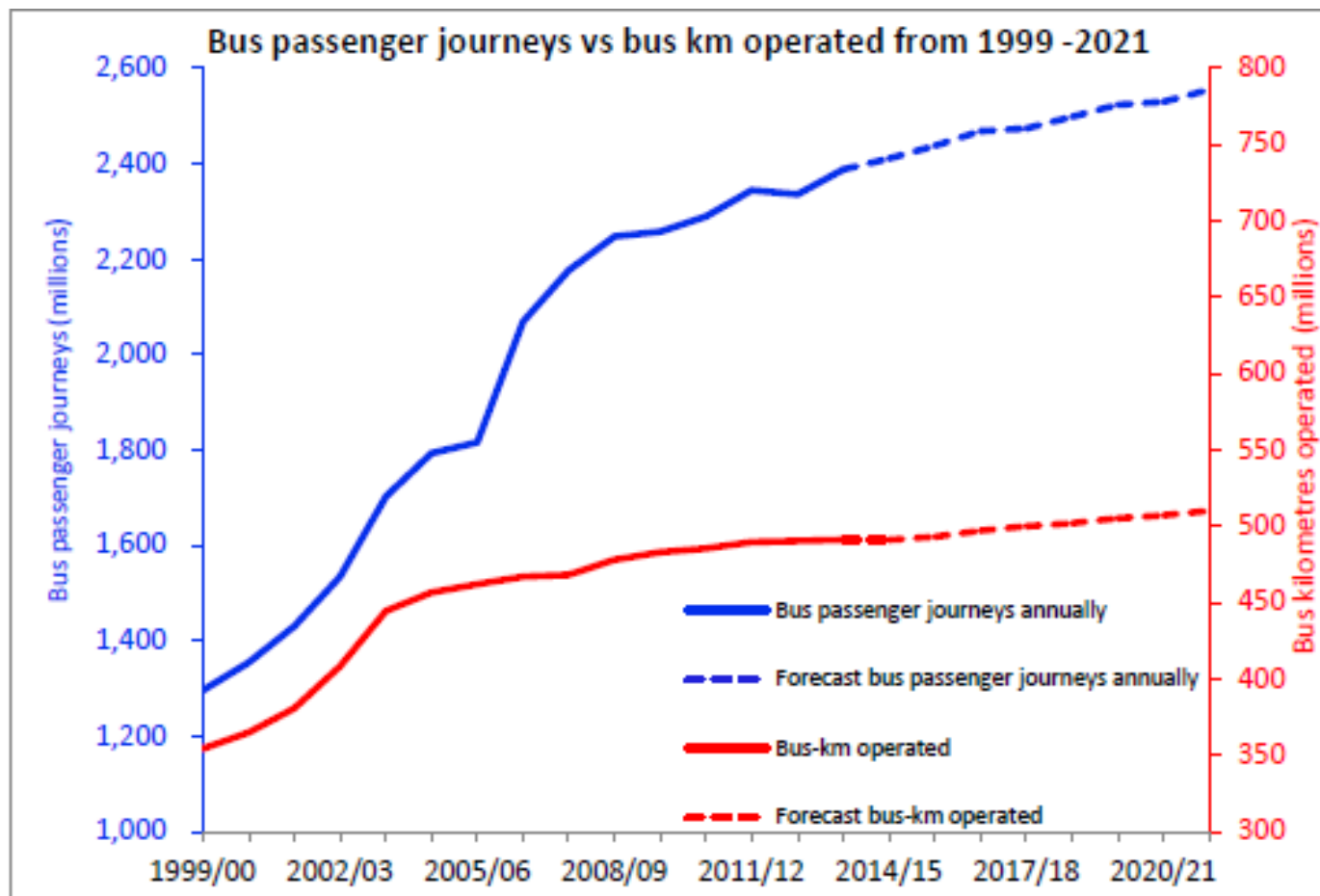


Figure 11. Bus ridership vs bus services in London, actual and projected values (source: London Assembly Committee Report, 2013).

Przykład #11 – tłok w metrze

Despite line upgrade, new capacity will be quickly absorbed

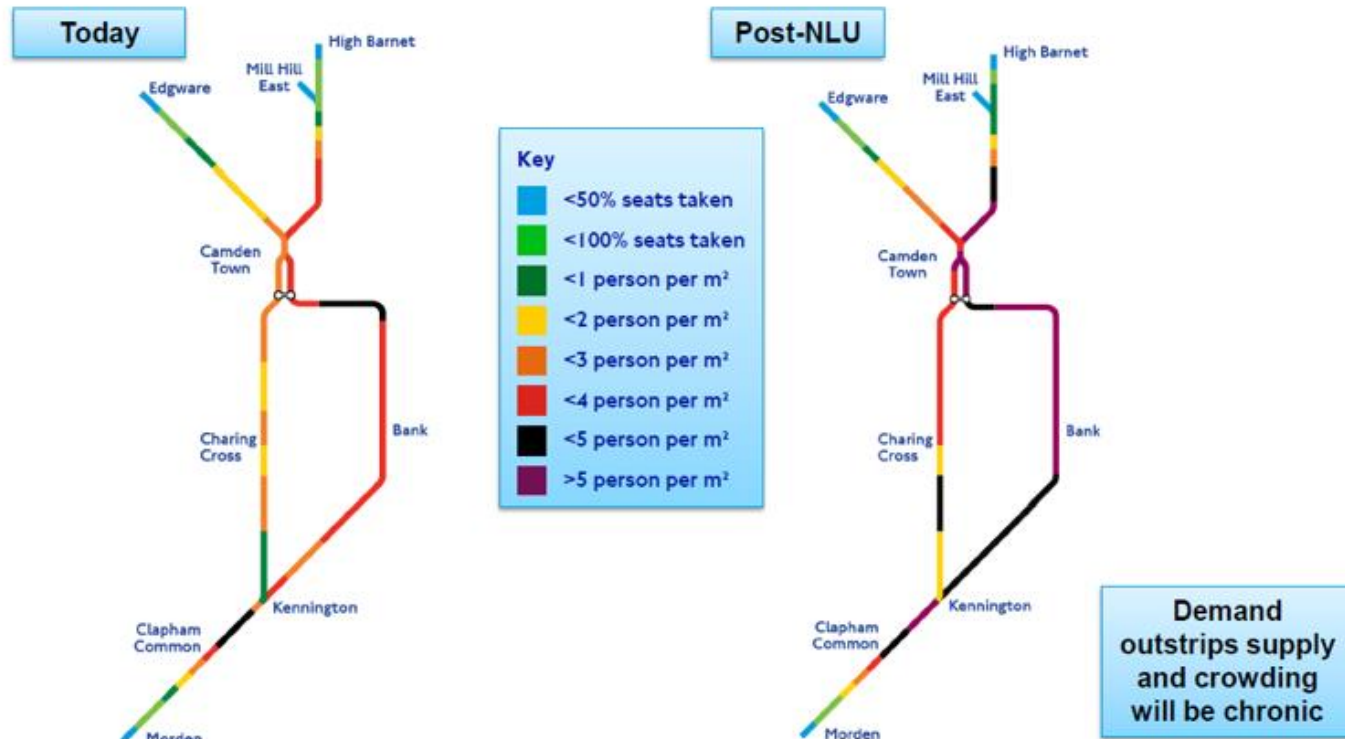


Figure 12. Back to square one: despite the capacity increases on the Northern Line in London (NLU), passenger overcrowding will become even worse (source: see [1]).

Przykład #12 – stacje rowerowe



Przykład #13 – KDP



Przykład #14 – uspokojenie ruchu



Przykład #15 – logistyka miejska



Przykład #16 – sekwencja odśnieżania



I

Potrzeba prognozowania

Kiedy i dlaczego potrzebne są prognozy?

Przykład: JASPERS – NIEBIESKA KSIĘGA

Jaspers – Niebieska Księga

- *Niebieska Księga dla projektów infrastruktury drogowej realizowanych w ramach perspektywy finansowej 2014-2020 została przygotowana przez ekspertów Inicjatywy Jaspers. Dokument jest uzupełnieniem i doprecyzowaniem wytycznych Komisji Europejskiej (Guide to cost benefit analysis of investment projects. Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020, December 2014) oraz wytycznych krajowych w zakresie zagadnień związanych z przygotowaniem projektów inwestycyjnych w tym projektów generujących dochód i projektów hybrydowych na lata 2014-2020 w zakresie analizy kosztów i korzyści.*
- *Niebieska Księga jest zalecana przez Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju w celu ujednolicenia metodyki przeprowadzania analizy kosztów i korzyści dla projektów sektora transportu, realizowanych w ramach Programu Infrastruktura i Środowisko. Może być również stosowana przez beneficjentów realizujących projekty transportowe w ramach innych krajowych lub regionalnych programów operacyjnych.*

(www.pois.gov.pl)

Jaspers – niebieska księga

Prognozy ruchu

Przygotowanie prawidłowych prognoz natężenia ruchu ma zasadnicze znaczenie dla AKK. Prognozy te muszą uwzględniać zmiany na analizowanym odcinku oraz skutki planowanej inwestycji dla sieci drogowej. Mając na uwadze wymagania analizy ekonomicznej, prognozy ruchu należy opracować w szczególności dla:

- *wariantu bezinwestycyjnego W0*
- *każdego z wariantu/ów analizowanych w ramach AKK.*

Ponieważ niniejszy podręcznik ma służyć głównie do opracowywania AKK dla tzw. „dużych projektów” drogowych, dla których zaleca się stosowanie indywidualnego podejścia przy prognozowaniu natężeń ruchu, zakłada się, że projekty takie będą miały znaczący wpływ na zmiany potoków ruchu na większym obszarze oddziaływania projektu. Podstawą do wykonywania analiz oraz prognoz ruchu dla takich projektów jest przygotowanie aktualnego modelu ruchu, który wykonuje się opisanymi poniżej metodami.

- ***Modelowanie***
- ***Metody uproszczone***

Jaspers – niebieska księga

Zasadniczo, na potrzeby projektów drogowych należy wykonywać prognozy ruchu za pomocą modelowania. Jedynie w uzasadnionych merytoryczne przypadkach mogą być stosowane metody uproszczone (np. ograniczenia czasowe, weryfikacja wyników). Jednakże należy mieć świadomość, że otrzymane wyniki będą mniej dokładne niż w przypadku modelowania.

Jaspers - Kiedy model?

rodzaj inwestycji	obszar miejski	obszar zamiejski
Inwestycje punktowe lub liniowe zmierzające do poprawy jakości lub bezpieczeństwa bez zwiększenia przepustowości.	Nie ma wymogu stosowania sieciowego modelu ruchu jeśli nie wystąpią ograniczania przepustowości	
Przebudowa istniejącej drogi skutkująca większą przepustowością, np. przez poszerzenie (rozbudowa do drogi dwujezdniowej lub dodanie dodatkowych pasów ruchu).	Model obejmujący obszar w granicach miasta	Model regionalny lub krajowy z uszczegółowieniem obszaru znaczącego oddziaływania planowanej inwestycji
Budowa nowej drogi o nowym przebiegu (w tym obwodnic miast).	Model obejmujący obszar w granicach aglomeracji , szczegółowy w granicach miasta.	Model regionalny lub krajowy z uszczegółowieniem obszaru znaczącego oddziaływania planowanej inwestycji.

Wymagania modelu ruchu

Tabela 7. Etapy prognozowania ruchu

ETAP	ZAKRES
ETAP I Definiowanie modelu	<ul style="list-style-type: none">• Zasięg obszarowy• Szczegóły sieci• Rejony komunikacyjne• Kategorie pojazdów• Wielogłęziowość• Kategorie użytkowników• Przedziały czasowe• Horyzont prognozy. Rok bazowy• Inne parametry modelu (np. opłaty)
ETAP II Model dla roku bazowego	<ul style="list-style-type: none">• Przygotowanie danych wejściowych• Aktualizacja i uszczegółowienie sieci• Uwzględnienie transportu publicznego (w miastach)• Aktualizacja i uszczegółowienie rejonów komunikacyjnych• Opracowanie/ uszczegółowienie macierzy podróży• Aktualizacja zmiennych funkcji popytu
ETAP III Kalibracja i walidacja modelu	<ul style="list-style-type: none">• Kalibracja modelu• Kalibracja macierzy podróży• Kalibracja zmiennych funkcji popytu
ETAP IV Prognozowanie ruchu -założenia	<ul style="list-style-type: none">• Analiza rozwoju sieci• Opracowanie wskaźników wzrostu• Wpływ wskaźników wzrostu na popyt• Wpływ oddziaływań zewnętrznych
ETAP V Oszacowanie prognozy ruchu Raporty wynikowe	<ul style="list-style-type: none">• Oszacowanie potoków ruchu• Analiza wyników• Przygotowanie raportów wynikowych.

Wyniki modelu ruchu

Co otrzymamy z modelu ruchu i jak to wykorzystać do
prognozy?

Wyniki modelu ruchu

Główne założenia modelu oraz wyniki prognozowania ruchu powinny być przedstawione w ramach AKK (lub dołączone jako osobny dokument), w tym jako minimum:

- prognozowane natężenia ruchu na poszczególnych odcinkach, w relacjach źródło-cel, w SDR (poj/dobę),
- średnie odległości podróży,
- ruch źródło-cel dla poszczególnych odcinków sieci,
- czas podróży na określonych odcinkach lub kategoriach odcinków o określonej długości,
- prędkości podróży na poszczególnych odcinkach

Wyniki modelu ruchu (cd.)

Główne założenia modelu oraz wyniki prognozowania ruchu powinny być przedstawione w ramach AKK (lub dołączone jako osobny dokument), w tym jako minimum:

- ...
- liczba podróży,
- praca przewozowa na określonej sieci w poj-km i poj-godz w podziale na kategorie dróg/przedziały prędkości,
- prognozę warunków ruchu w analizowanym okresie (poziom swobody ruchu) pokazującą wyliczone potoki ruchu w odniesieniu do przepustowości w okresie referencyjnym.

Wyniki modelu ruchu - kolej

1. Kategorie ruchu:

- międzyaglomeracyjny i międzynarodowy, międzyregionalny, regionalny, aglomeracyjny
- towarowy z podziałem na rodzaje pociągów.

2. Motywacje podróży:

- Służbowe,
- Dojazdowe (do i z pracy, szkoły, itp. - podróże regularne),
- Pozostałe (inne niż służbowe i dojazdowe).

Wyniki modelu ruchu - kolej

Źródło ruchu:

- ruch kolejowy dotychczasowy, na wielkość którego nie ma wpływu realizacja inwestycji,
- ruch przejęty (pasażerowie kolei przejęci z innego środka transportu lub masa ładunkowa przejęta z transportu drogowego na rzecz transportu kolejowego),
- ruch wzbudzony (tzn. nowi użytkownicy kolei którzy zaczęli podróżować w wyniku poprawy jakości usług).

Wykorzystanie prognoz w innych obszarach

Tabela 23. Wzory do obliczania kosztów hałasu

$$K_H = 365 \cdot L \cdot \sum_{j=1}^2 k_{h,j}(Z) \cdot SDR_j$$

lub

$$K_H = 365 \cdot \sum_{j=1}^2 k_{h,j}(Z) \cdot W_j^{km}$$

gdzie:

- | | |
|--------------|---|
| K_H | – roczne koszty hałasu emitowanego przez pojazdy samochodowe, w PLN, |
| j | – liczba kategorii pojazdów, |
| $k_{h,j}(Z)$ | – jednostkowe koszty hałasu wg. kategorii pojazdów samochodowych „j”, w obszarze Z, (miejski/ zamiejski), w PLN/poj-km, |
| SDR_j | – średnioroczne dobowe natężenie ruchu dla kategorii pojazdów „j”, w pojazdach/dobę, |
| L | – długość odcinka drogi, w km, |
| W_j^{km} | – praca przewozowa dla pojazdów kategorii „j” w zależności od długości odcinka drogi, w pojazdokilometrach/dobę. |

Założenia w prognozowaniu

3. Koszty czasu użytkowników infrastruktury drogowej

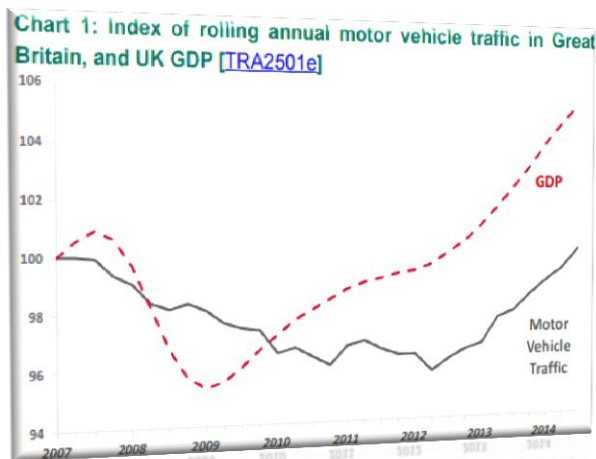
Jednostkowe koszty czasu (PLN/h), ceny 2014

Rok	Stawka godzinowa dla pasażerów oraz kierowców (PLN/h)			Stawka godzinowa przewozów towarowych (PLN/h)
	Podróży służbowych	Dojazdów do/z pracy	Podróży pozostałych	
2014	64.57	31.81	26.69	64.57
2015	65.87	32.45	27.23	65.87
2016	67.14	33.07	27.75	67.14
2017	68.46	33.73		
2018	69.78	34.38		
2019	71.02	34.99		
2020	72.25	35.59		
2021	73.48	36.20		
2022	74.70	36.80		

Wzrost PKB per capita do wykorzystania przy indeksacji kosztów jednostkowych, przedstawiono poniżej.

Lata	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PKB per capita	4.02%	3.85%	3.95%	3.85%	3.55%	3.45%	3.41%
Lata	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
PKB per capita	3.31%	3.21%	3.11%	3.01%	3.10%	3.10%	3.00%
Lata	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
PKB per capita	3.00%	3.00%	2.99%	2.99%	2.99%	2.89%	2.89%
Lata	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042
PKB per capita	2.86%	2.86%	2.76%	2.66%	2.55%	1.48%	1.48%

Źródło (1) Prognozy wskaźnika wzrostu PKB na okres 2008-2040, GDDKiA, <http://www.gddkia.gov.pl/pl/992/założenia-do-prognoz-ruchu>



Prognoza popytu na przewozy - kolej

Przyszła liczba pasażerów i towarów na linii kolejowej, której można się spodziewać w wyniku zmian **społecznych, ekonomicznych i przestrzennych** a także środków podjętych w celu realizacji polityki transportowej.

Ta prognoza ma kluczowe znaczenie dla oceny zaproponowanych rozwiązań, wyboru najbardziej korzystnego rozwiązania i przygotowania wdrożenia dla tego wariantu.

W celu oszacowania prognozowanej wielkości popytu na usługi transportu kolejowego, należy wziąć pod uwagę następujące czynniki:

- zmiany demograficzne,
- zmiany społeczno-ekonomiczne,
- zmiany przestrzenne ,
- zmiany w podziale zadań transportowych,

Prognoza popytu na przewozy - kolej

należy wziąć pod uwagę następujące czynniki:

- zmiany demograficzne, w tym:
 - liczbę ludności,
 - strukturę wieku z uwzględnieniem udziału studentów i uczniów,
 - poziom wykształcenia oraz
 - ilość osób w wieku produkcyjnym i nieprodukcyjnym,

Prognoza popytu na przewozy - kolej

należy wziąć pod uwagę następujące czynniki:

- zmiany społeczno-ekonomiczne, w tym:
 - poziom produktu krajowego brutto na analizowanym obszarze,
 - dochody ludności,
 - liczba posiadanych samochodów prywatnych,
 - poziom bezrobocia,
 - struktura gospodarcza regionów obsługiwanych przez infrastrukturę kolejową,

Prognoza popytu na przewozy - kolej

należy wziąć pod uwagę następujące czynniki:

- zmiany przestrzenne prowadzące do zmian w lokalizacji potencjałów ruchu (istotne inwestycje zmieniające popyt na transport pasażerski i towarowy),

Prognoza popytu na przewozy - kolej

należy wziąć pod uwagę następujące czynniki:

- zmiany w podziale zadań transportowych, będące w pewnym stopniu wynikiem zmian społeczno-ekonomicznych, lecz również oferty transportowej (w tym oddziaływania projektu) oraz polityki zarządzania ruchem na danym obszarze (obecność lub brak ograniczeń dotyczących użytkowania samochodów, miejsc parkingowych itp.).

Kalibracja modelu

Czy model jest zgodny z rzeczywistością?

Wykorzystanie modelu - kalibracja

W celu sprawdzenia poprawności modelu ruchu, należy przeprowadzić jego walidację na podstawie porównania dostępnych danych z pomiarów w roku bazowym z wynikami uzyskanymi z modelu ruchu dla tego roku.

Weryfikację modelu ruchu zaleca się przeprowadzić przez analizę i porównanie co najmniej następujących wielkości:

- natężenia ruchu w podziale na podstawowe kategorie pojazdów,
- średniej prędkości ruchu na odcinkach,
- rozkładu średnich długości podróży w całej sieci dla poszczególnych kategorii użytkowników,
- zgodności rozkładu przestrzennego podróży z badaniami ankietowymi (jeśli zostały przeprowadzone).

Wykorzystanie modelu - kalibracja

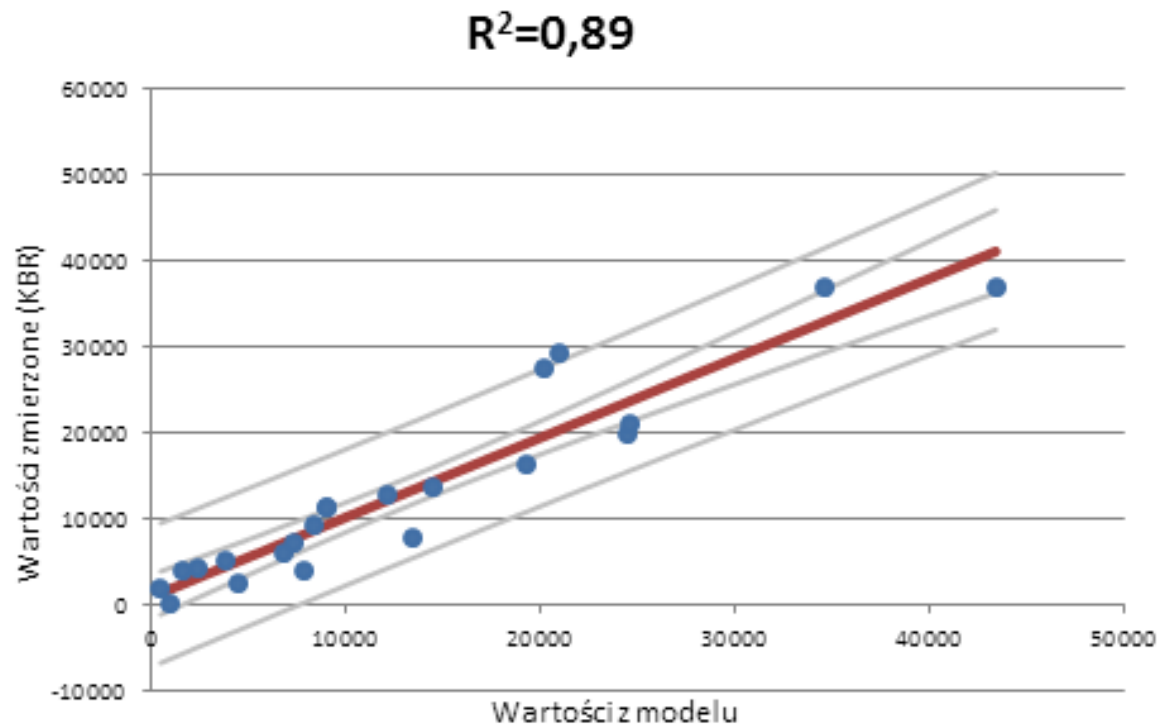
Zakres zgodności wyników dla poszczególnych wielkości jest zróżnicowany. Należy jednak przyjąć, że model odpowiednio odwzorowuje rzeczywiste warunki ruchu, jeśli rozbieżność wyników pomiarów i modelu na obszarze analizowanej sieci drogowej nie przekracza +/- 15%.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

Należy przyjąć, że wynik walidacji jest pozytywny, jeżeli wartość $GEH < 5$ dla co najmniej 85% wszystkich analizowanych odcinków.

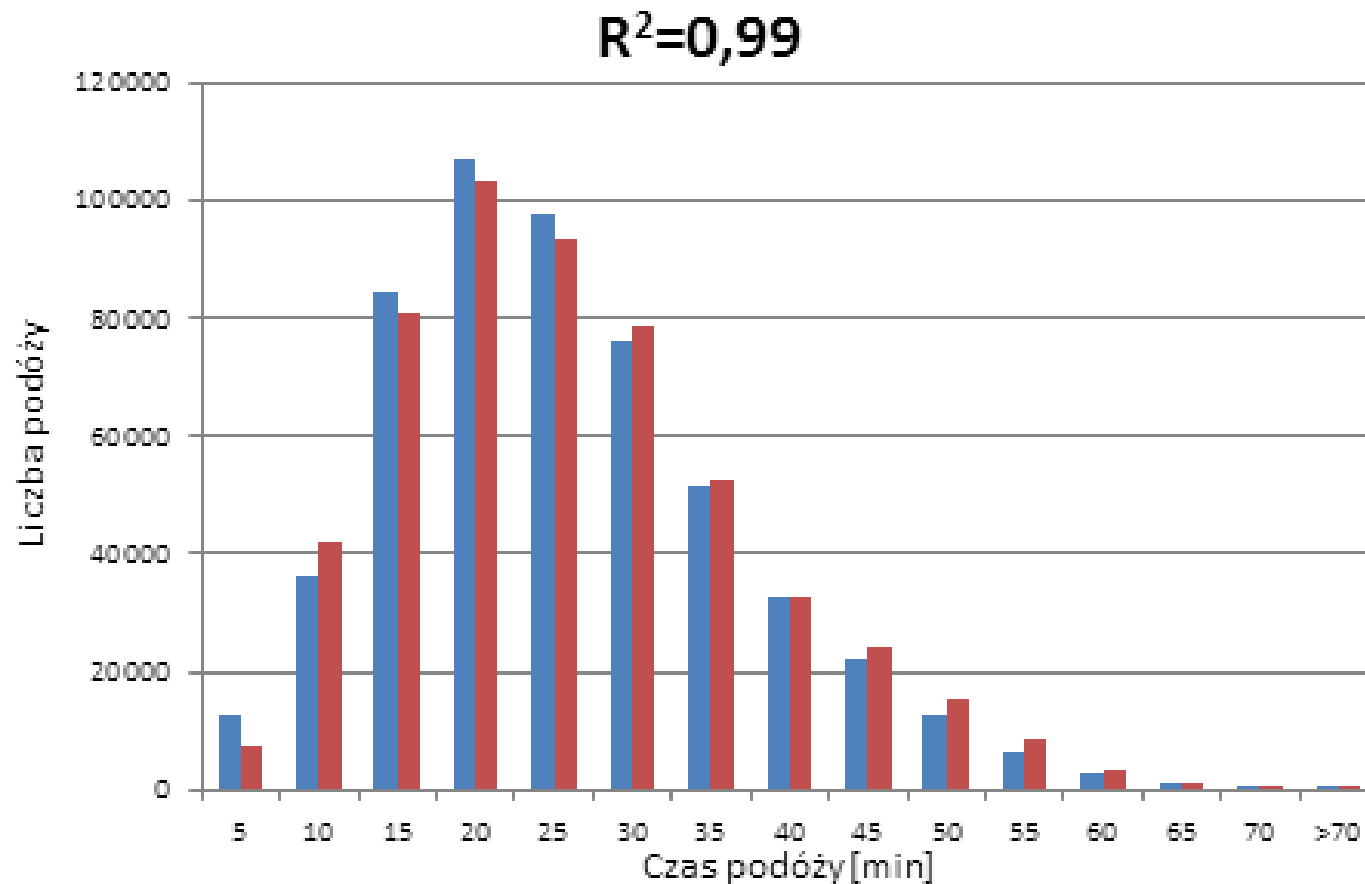
Polecaną metodą walidacji modelu jest również sprawdzenie skalibrowanych natężeń ruchu w przekrojach ekranowych, dla których wskaźnik GEH powinien być $< 5\%$ dla 85% wyników w porównaniu z rezultatami pomiarów.

Wykorzystanie modelu - kalibracja



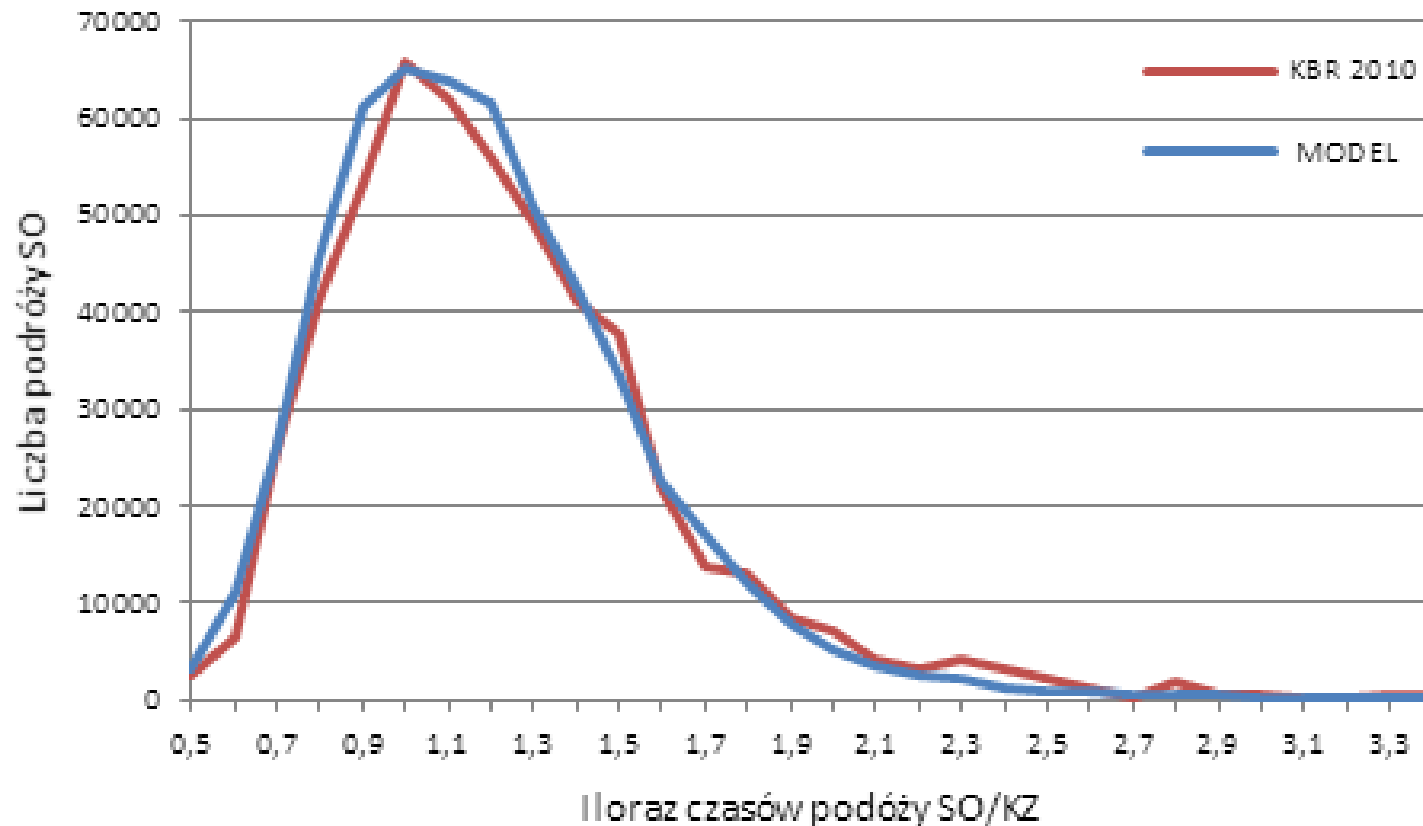
$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - \bar{y})^2}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2}$$

Wykorzystanie modelu - kalibracja



Wykorzystanie modelu - kalibracja

$R^2=0,99$



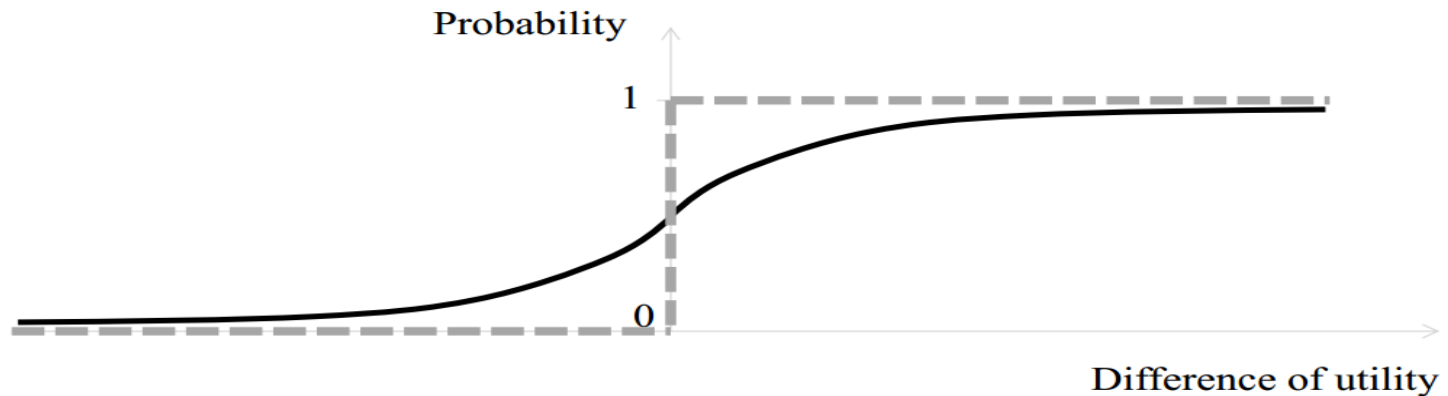
II

Złożoność problemu prognozowania

Skoro od wyników prognozy zależy decyzja o inwestycji, to od czego zależą wyniki prognozy?

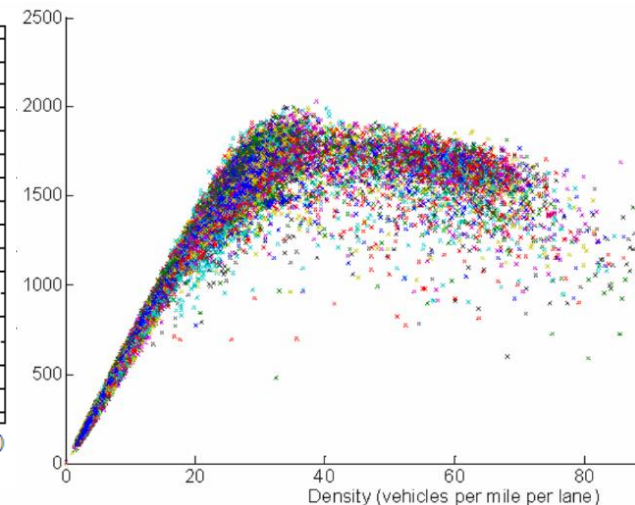
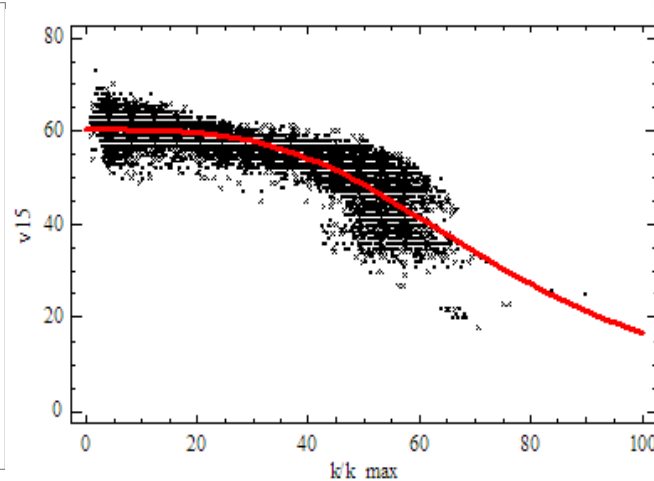
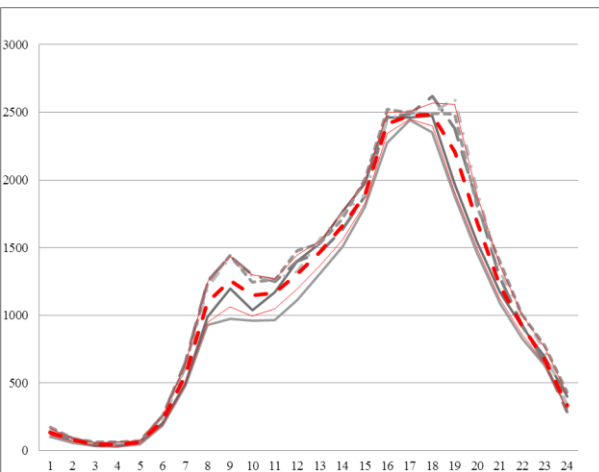
Niedeterministyczność (losowość)

Decyzja transportowa użytkownika (godzina wyjazdu, środek transportu, trasa, ...) jest zależna od pewnych czynników, ale zawsze jest losowa (każdy z nas podejmuje inną decyzję).



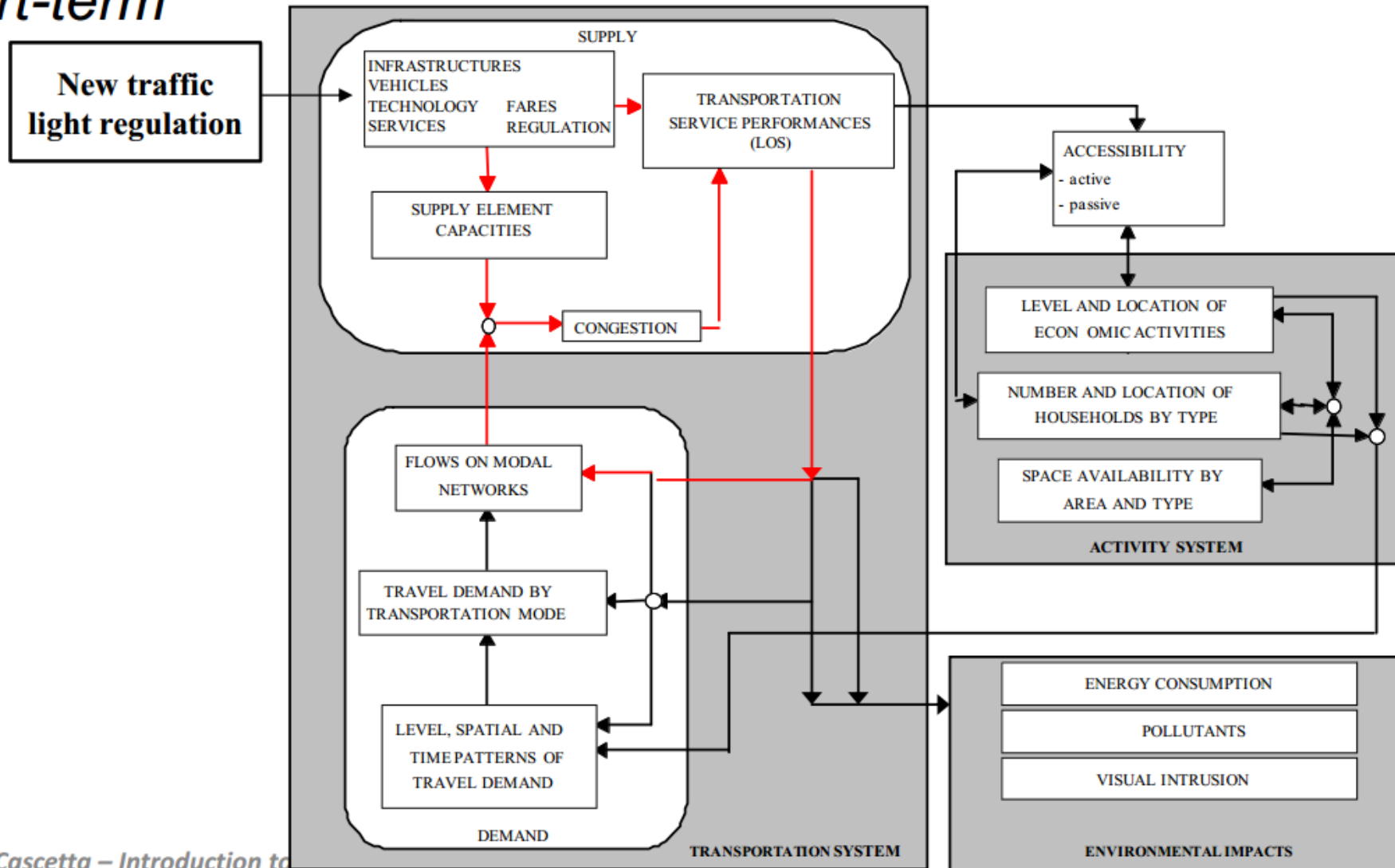
Niedeterministyczność (losowość)

Decyzja transportowa użytkownika (godzina wyjazdu, środek transportu, trasa, ...) jest zależna od pewnych czynników, ale zawsze jest losowa (każdy z nas podejmuje inną decyzję).



Złożoność systemu (mała zmiana)

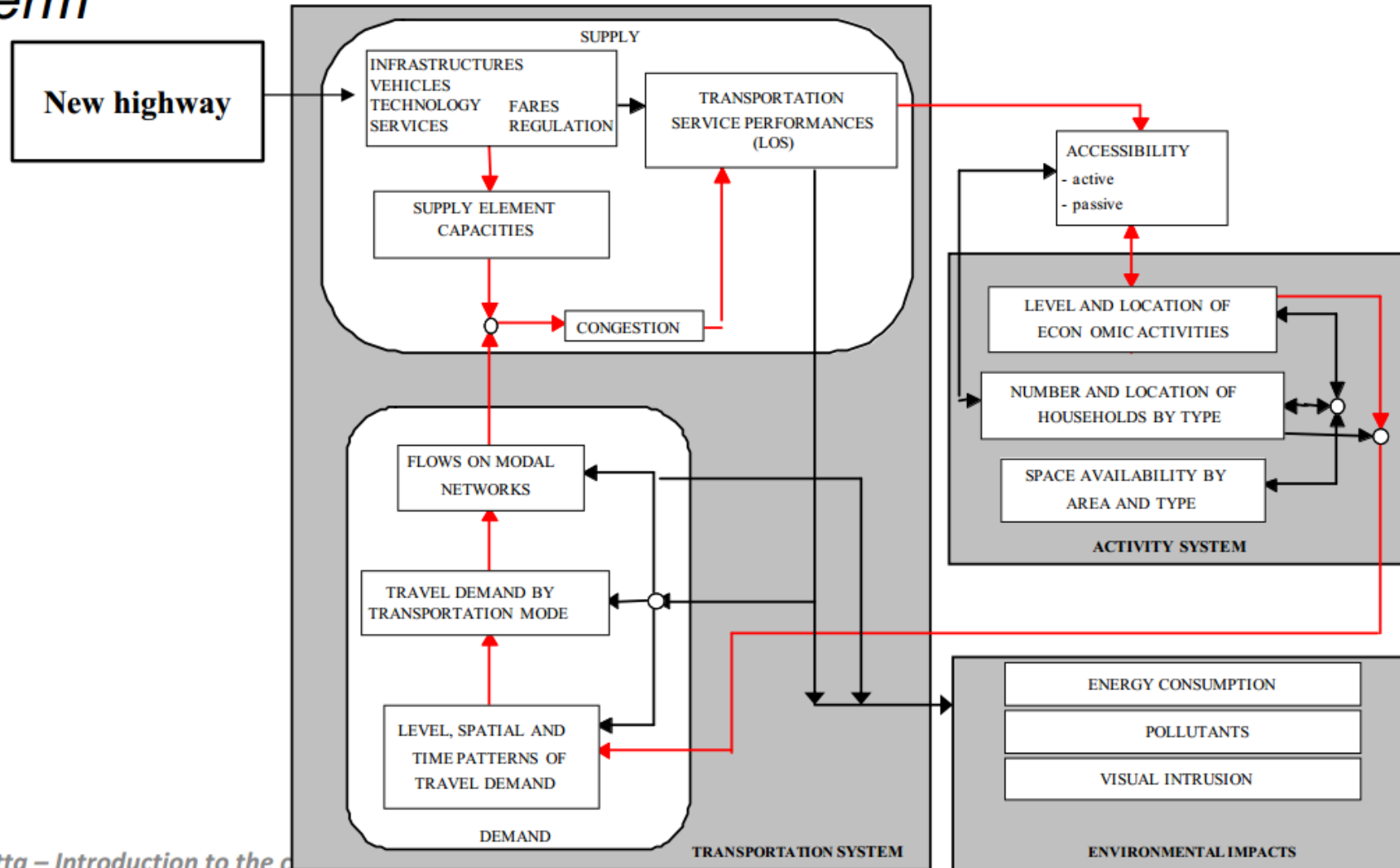
Short-term



Ennio Cascetta – Introduction to

Złożoność systemu (duża zmiana)

Long-term



Ennio Cascetta – Introduction to the c

Podsumowanie

Do oceny inwestycji trzeba rzetelnej prognozy.

Do wyboru wariantu trzeba rzetelnej prognozy.

Do zrobienia rzetelnej prognozy trzeba dużej wiedzy o funkcjonowaniu systemu.

Do zrobienia prognozy trzeba przyjęcia szeregu założeń – opartych o wyniki pomiarów

Żeby przekonać decydentów do wariantu potrzebna jest rzetelnej prognozy – wtedy ciężko dyskutować (vide: krakowskie metro).

Do zobaczenia za tydzień

Wykład 2:

Pomiary i badania – podstawa wiedzy – podstawa do
prognozy.

dr inż. Rafał Kucharski

rkucharski@pk.edu.pl