

Błędy planowania transportu publicznego – jak ich uniknąć?



Public Trans 2023

Andrzej Szarata, Piotr Kisielewski, Marek Bauer, Andrzej Kisielewski



Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki



**Katedra Pojazdów Szynowych
i Transportu**



**Katedra Systemów
Transportowych**



Zintegrowany proces planowania transportu publicznego



Zintegrowany proces planowania transportu publicznego

Brak zintegrowanego planowania



Początki zintegrowanego planowania



Błędy planowania w transporcie publicznym z podziałem na fazy procesu

Na kolejnych slajdach przedstawiono listę błędów

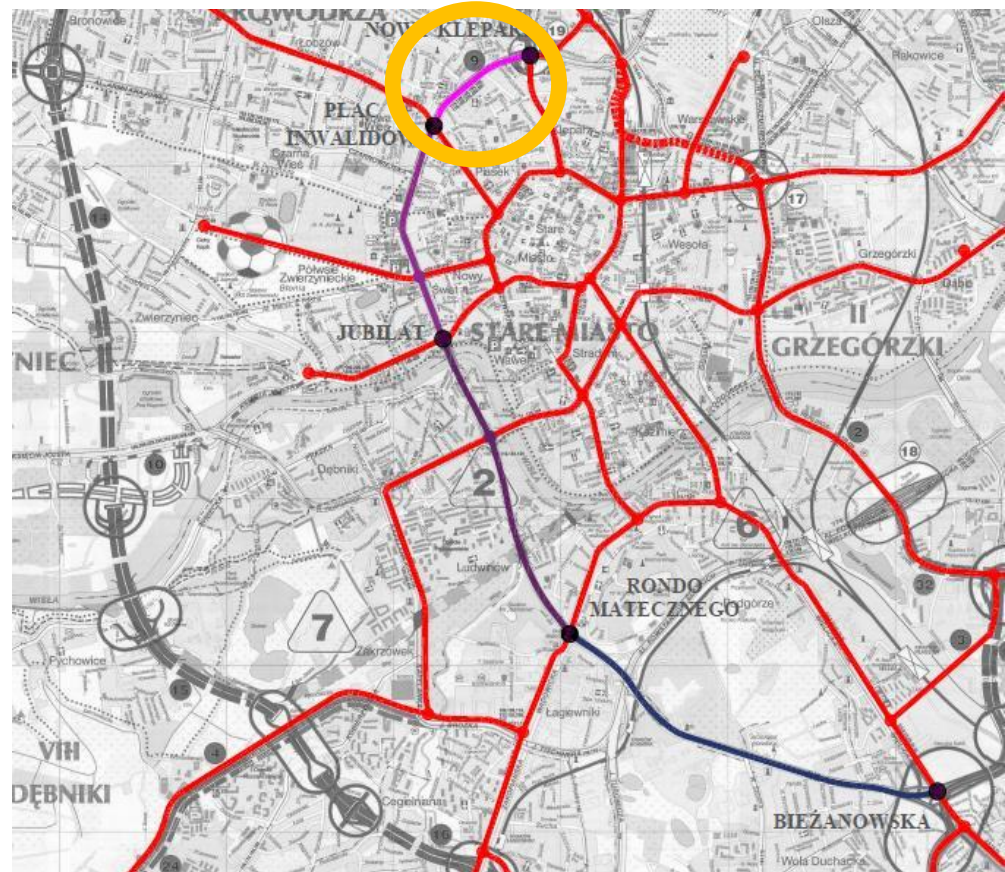
Błędy zaznaczone na czerwono zostaną omówione szczegółowo

Planowanie sieci transportu publicznego

- Brak spójności i konsekwencji w procesie planowania tras transportu zbiorowego
- Planowanie tras transportu szynowego z towarzyszącą przeskalowaną infrastrukturą drogową
- Niezachowanie zasady zapewnienia jak najkrótszych połączeń pomiędzy najistotniejszymi skupiskami źródeł i celów podróży
- W badaniu przepustowości sieci komunikacyjnej wystarczy modelowanie przepływu w otoczeniu tylko jednego rozpatrywanego węzła
- Wskaźnik pokrycia komunikacyjnego obszaru miasta zależy tylko od przebiegu linii komunikacyjnych, a nie zależy od rozkładu przystanków
- Model sieci komunikacyjnej – wystarczy jak zawiera tylko przystanki i połączenia między nimi
- Przepustowość odcinków sieci transportu publicznego nie zależy od ruchu indywidualnych środków transportu
- Rozkład przystanków końcowych linii nie ma większego znaczenia dla funkcjonowania systemu transportu publicznego
- Do projektowania sieci komunikacyjnej wystarczy wyznaczenie więźby ruchu
- Macierz podróży pasażerów jest zawsze symetryczna

Błąd 1. Brak spójności i konsekwencji w procesie planowania tras transportu zbiorowego

- Planowanie bez uwzględnienia kontekstu całej sieci
- Etapowanie planowania zamiast etapowania realizacji tras (przykład: koncepcja budowy trasy tramwajowej w Al. Trzech Wieszczów w Krakowie)

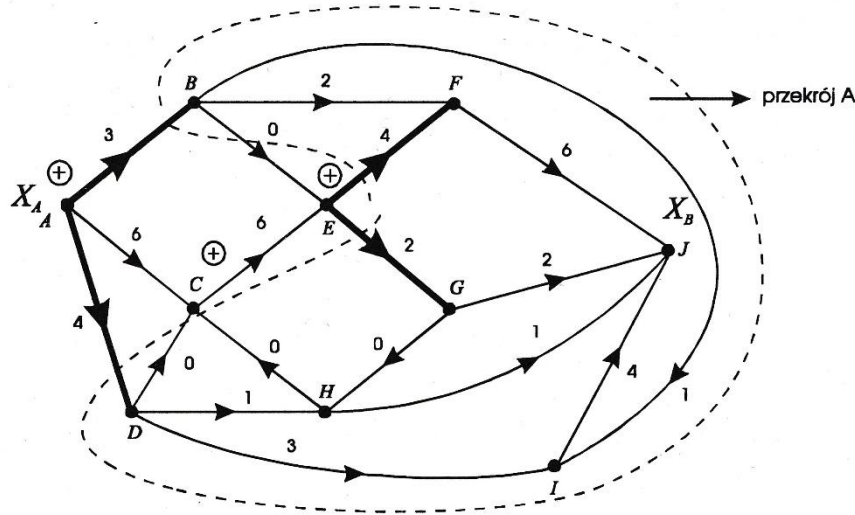


Błąd 2. Planowanie tras transportu szynowego z towarzyszącą przeskalowaną infrastrukturą drogową

- Brak odczuwalnej konkurencyjności transportu zbiorowego pod względem czasu przejazdu
- Skutki:
 - ✓ niewykorzystany potencjał trasy transportu zbiorowego
 - ✓ niezadowalający wpływ na zmiany zachowań komunikacyjnych
 - ✓ wyższe koszty inwestycji
 - ✓ obarczanie transportu zbiorowego odpowiedzialnością za zakłócenia wynikające z rozbudowy infrastruktury drogowej

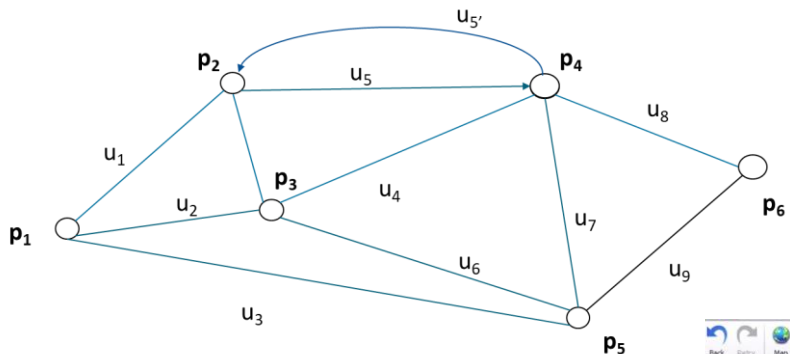


Błąd 3. W badanych przepustowości sieci komunikacyjnej wystarczy modelowanie przepływu w otoczeniu tylko jednego rozpatrywanego węzła



TW Forda-Fulkersona. W danej sieci transportowej wartość maksymalna przepływu jest równa pojemności minimalnego przekroju

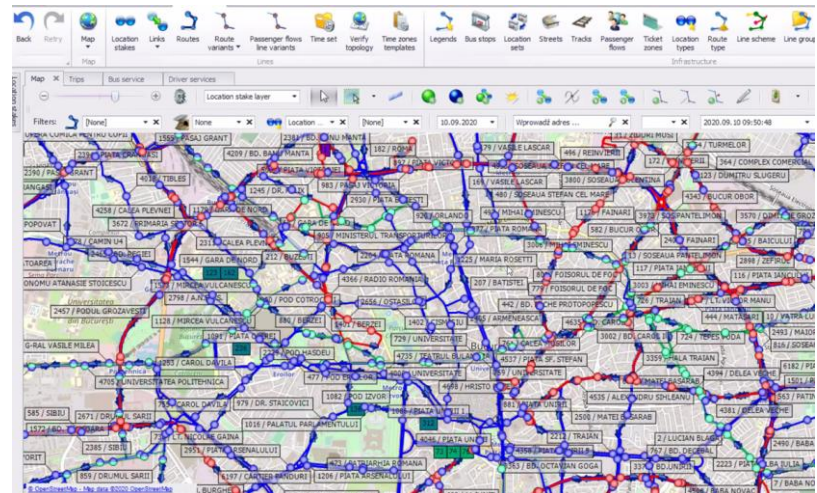
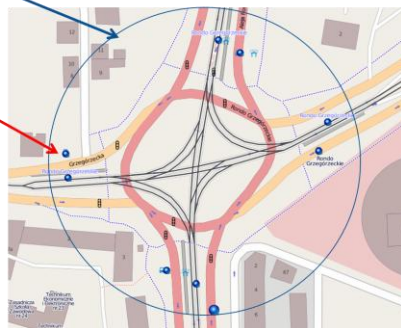
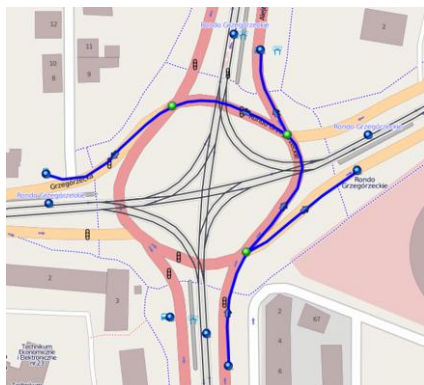
Błąd 4. Model sieci komunikacyjnej – wystarczy jak zawiera tylko przystanki i połączenia między nimi



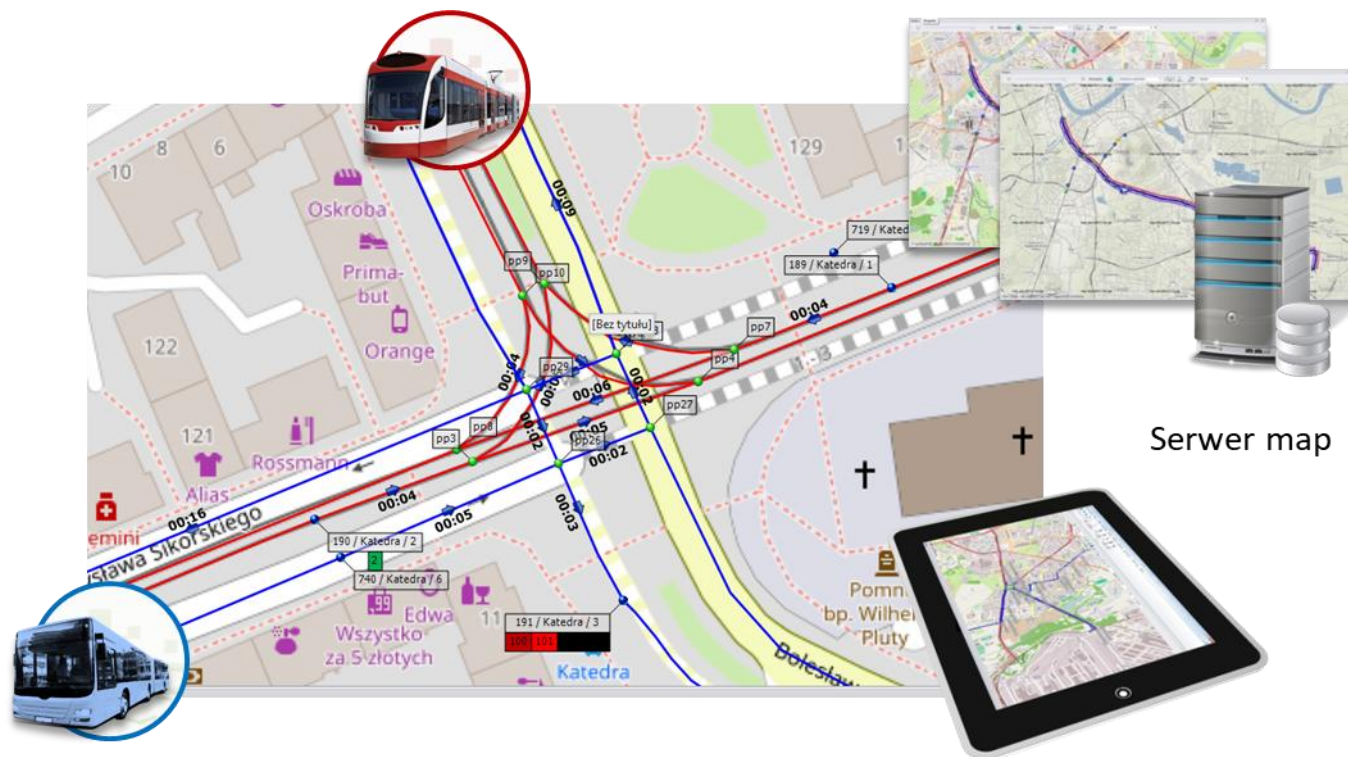
Transit stop topology

Stop: $p_i(\text{id, name}) = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_n\}$

Position/post:
 $s_i(\text{id, name, } x_i, y_i, \dots)$



Szczegółowy graf sieci komunikacyjnej - przykład

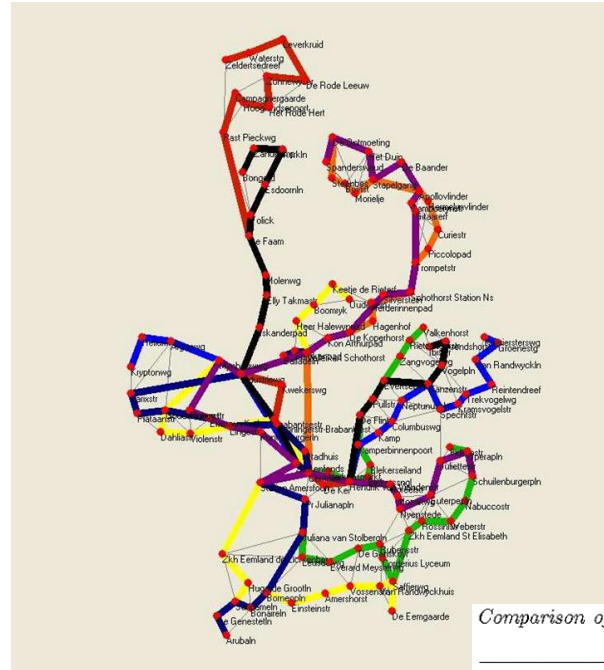
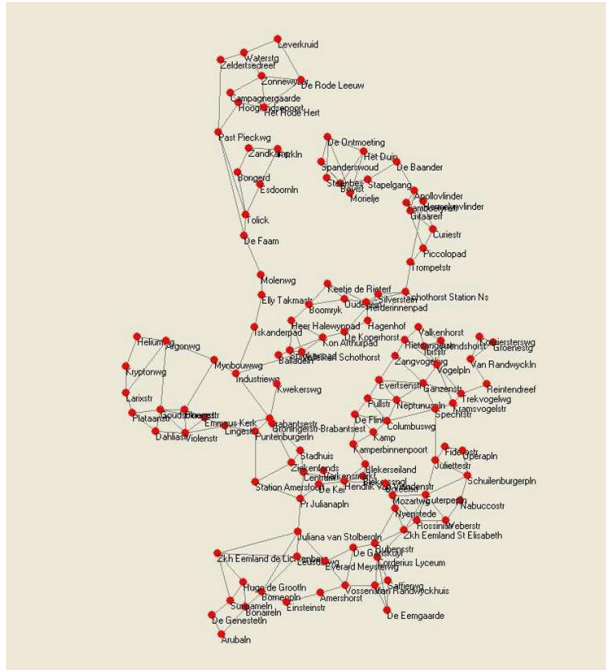


Planowanie linii komunikacyjnych

- Projektowanie jednej linii komunikacyjnej może być niezależne od innych linii
- Im więcej linii komunikacyjnych tym lepiej
- Liczba i układ linii komunikacyjnych nie ma znaczenia dla kosztów transportu
- Rozkład przystanków końcowych nie ma większego znaczenia dla projektu linii
- Rozkład ładowarek taboru elektrycznego jest bez znaczenia dla przebiegu linii
- Do projektowania linii wystarczy wyznaczenie więźby ruchu
- Warianty trasy linii komunikacyjnej w obu kierunkach są symetryczne

Błąd 5. Projektowanie jednej linii komunikacyjnej może być niezależne od innych linii.

Błąd 6. Im więcej linii komunikacyjnych tym lepiej



Comparison of the Line Set Construction Method to the current situation

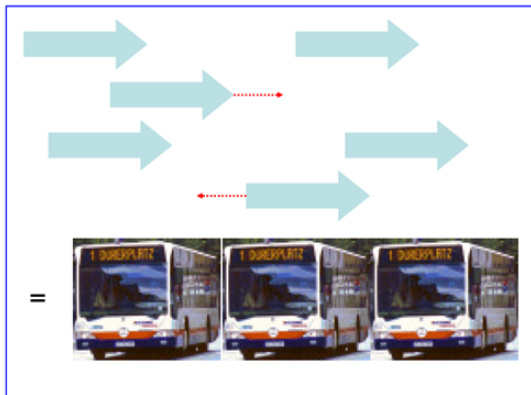
	Current	LSCM
total global drive time (hours)	14:00:49	10:20:01
number of global lines	20	16
mean detour time (min)	14:03	11:22
mean quadratic detour time (min ²)	406.5	299.7

Planowanie rozkładów jazdy

- Interwał czasowy kursów linii musi być podzielnikiem liczby 60
- Interwał czasowy kursów linii musi być stały
- Synchronizacja przesiadkowa oznacza że pojazdy pojawią się na przystanku w tym samym momencie czasu
- Czasy rozkładowe kursów zależą tylko od średniej prędkości komunikacyjnej
- Czasy przejazdu nie zależą od pory dnia i typu taboru
- Rozkład jazdy wynika z obiegu taboru
- Do każdego kursu może być przypisany tylko 1 typ taboru
- Planowanie rozkładu jazdy i zadań pojazdów (brygad/obiegu taboru) stanowią procesy rozłączne i może być realizowane niezależnie

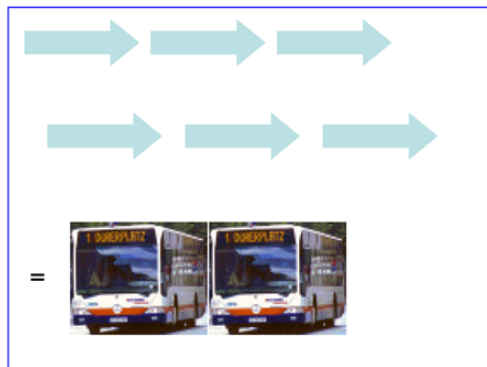
Błąd 7. Planowanie rozkładu jazdy i zadań pojazdów (brygad/obiegu taboru) stanowią procesy rozłączne i może być realizowane niezależnie

„Niewielkie” przesunięcie kursów



Optimization Overview

„Wielki” efekt!



Optimization Overview

Planowanie zadań/brygad pojazdów

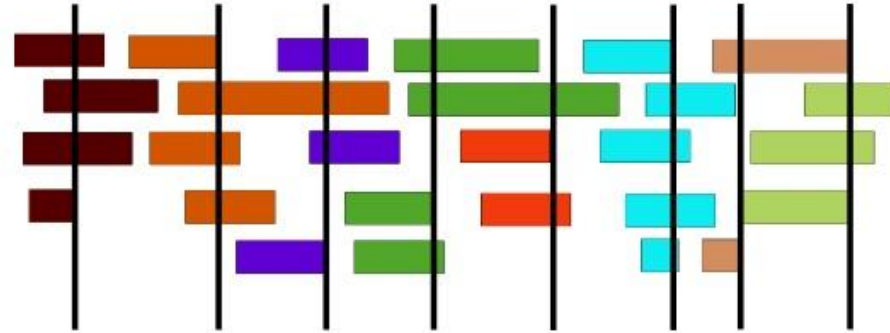
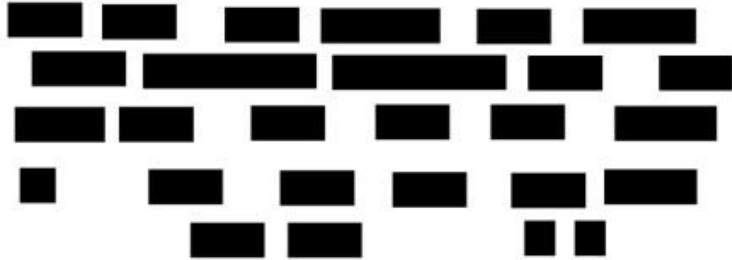
- Brygady powinny być planowane indywidualnie tj. brygada po brygadzie
- Brygada (zadanie pojazdu) powinno obejmować 1 lub max 2 linie
- Brygada musi uwzględniać przerwy/odpoczynki wymagane ustawowo dla kierowców
- Pojazd „jest przypisany” do kierowcy
- Autobus elektryczny powinien być ładowany po każdym kursie
- Brygady powinny być planowane osobno tj. niezależnie dla każdego typu taboru
- Brygady powinny być planowane osobno dla każdej zajezdni
- Rozmieszczenie zajezdni nie ma znaczenia dla planu brygad
- Preferencje zmiany linii na brygadzie nie są istotne
- Przerwy między kursowe nie muszą być zdefiniowane
- Wymagania taborowe dla kursów nie są istotne
- Planowanie zadań pojazdów i służb kierowców stanowią procesy rozłączne, a zetem może być realizowane niezależnie

Planowanie zadań/służb kierowców

- Pojazd jest przypisany do kierowcy tj. kierowca nie zmienia pojazdu w trakcie swojej służby
- Planowanie służb kierowców i zadań pojazdów stanowią procesy rozłączne, a zatem może być realizowane niezależnie
- Służby powinny być planowane osobno dla każdej zajezdni
- Macierz preferencji zmiany linii przy budowie służb nie jest istotna

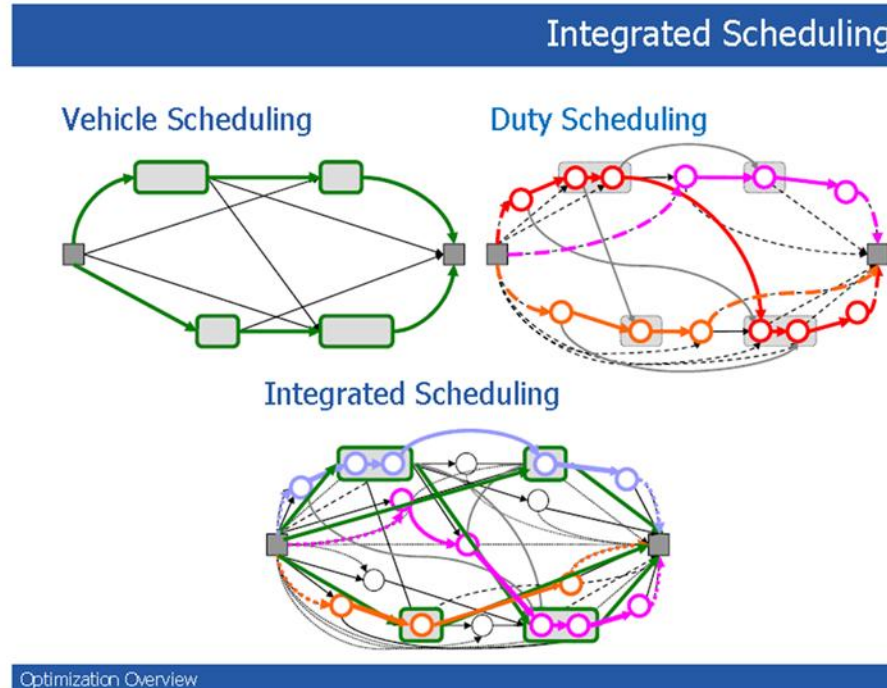
Błąd 8. Brygady powinny być planowane indywidualnie tj. brygada po brygadzie

Błąd 9. Brygada musi zawierać przerwy/odpoczynki wymagane ustawowo dla kierowców



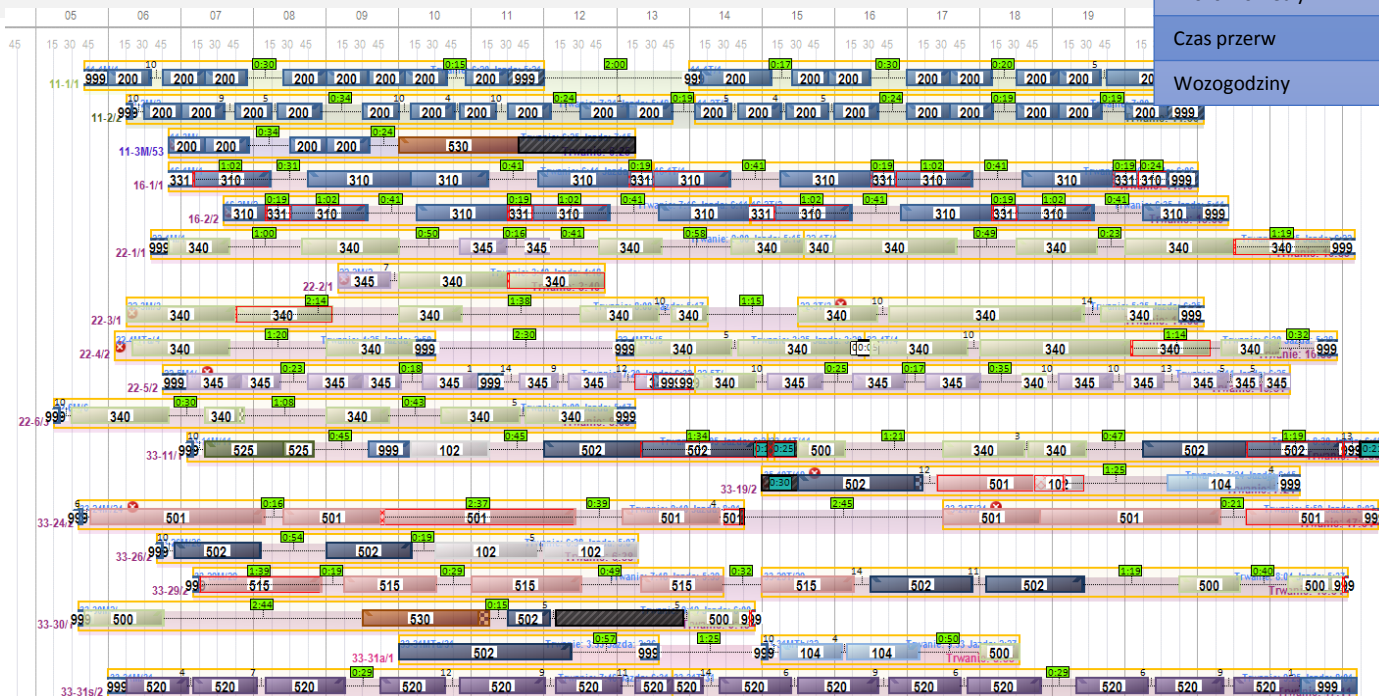
Metodologia badań operacyjnych

Błąd 10. Pojazd „jest przypisany” do kierowcy. Kierowca nie zmienia pojazdu na służbie.
Błąd 11. Planowanie zadań pojazdów i służb kierowców stanowią procesy rozłączne, a zetem może być realizowane niezależnie



Optymalizacja brygad

Optymalizacja brygad – jak było ☹️



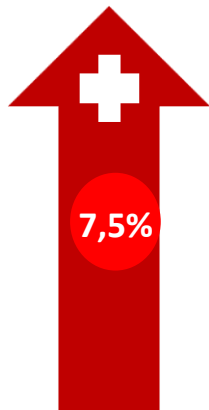
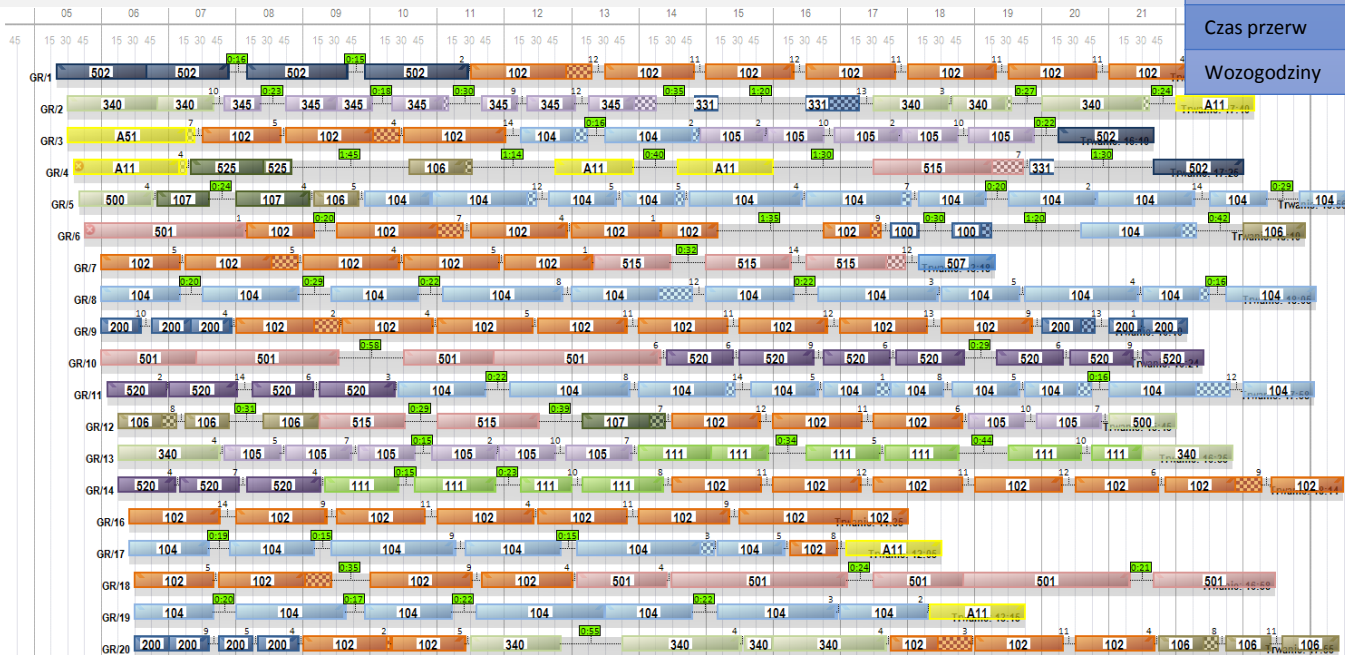
Wartość funkcji	10,71
Ilość brygad	63
Nieprzypisane kursy	132
Wozokilometry	19952,02
Czas przerw	325:43
Wozogodziny	840:59

Optymalizacja brygad

Optymalizacja brygad – jak jest 😊

Wartość funkcji	6,36
Ilość brygad	59
Ilość służb	122
Wozokilometry	19621,02
Czas przerw	185:21
Wozogodziny	800:23

case study



Mallorca

Testy na danych rzeczywistych. Rzeszów



SZKOLNY+SZKOLNY_I_POZASZKOLNY	
Untitled1	Untitled2
ZTM	ELEKTRO
1. Ilość brygad: 199	1. Ilość brygad: 183
2. WozokM (Sumaryczny dystans brygad): 39423,741	2. WozokM (Sumaryczny dystans brygad): 40172,359
3. Wozogodz (Sumaryczny czas trwania brygad): 2901:10	3. Wozogodz (Sumaryczny czas trwania brygad): 2829:26
4. Sumaryczny czas trwania przerw międzykursowych w brygadach: 976:03	4. Sumaryczny czas trwania przerw międzykursowych w brygadach: 885:05
5. Procentowy udział przerw międzykursowych w czasie trwania brygad: 33,64%	5. Procentowy udział przerw międzykursowych w czasie trwania brygad: 31,28%
6. Procentowy udział kursów technicznych w czasie trwania brygad: 5,49%	6. Procentowy udział kursów technicznych w czasie trwania brygad: 5,46%
7. Procentowy udział kursów technicznych w dystansie brygad: 6,05%	7. Procentowy udział kursów technicznych w dystansie brygad: 7,83%
11. Liczba brygad / Liczba dostępnego taboru: 0,85	11. Liczba brygad / Liczba dostępnego taboru: 0,79

SZKOLNY	
Untitled1	Untitled2
1. Ilość brygad: 114	1. Ilość brygad: 103
2. WozokM (Sumaryczny dystans brygad): 21929,892	2. WozokM (Sumaryczny dystans brygad): 22363,032
3. Wozogodz (Sumaryczny czas trwania brygad): 1675:33	3. Wozogodz (Sumaryczny czas trwania brygad): 1627:55
4. Sumaryczny czas trwania przerw międzykursowych w brygadach: 589:44	4. Sumaryczny czas trwania przerw międzykursowych w brygadach: 529:17
5. Procentowy udział przerw międzykursowych w czasie trwania brygad: 35,2%	5. Procentowy udział przerw międzykursowych w czasie trwania brygad: 32,51%
6. Procentowy udział kursów technicznych w czasie trwania brygad: 5,85%	6. Procentowy udział kursów technicznych w czasie trwania brygad: 5,58%
7. Procentowy udział kursów technicznych w dystansie brygad: 6,40%	7. Procentowy udział kursów technicznych w dystansie brygad: 8,26%
11. Liczba brygad / Liczba dostępnego taboru: 0,49	11. Liczba brygad / Liczba dostępnego taboru: 0,44

SZKOLNY_I_POZASZKOLNY	
Untitled1	Untitled2
1. Ilość brygad: 85	1. Ilość brygad: 81
2. WozokM (Sumaryczny dystans brygad): 17493,849	2. WozokM (Sumaryczny dystans brygad): 17757,476
3. Wozogodz (Sumaryczny czas trwania brygad): 1225:37	3. Wozogodz (Sumaryczny czas trwania brygad): 1200:37
4. Sumaryczny czas trwania przerw międzykursowych w brygadach: 386:19	4. Sumaryczny czas trwania przerw międzykursowych w brygadach: 357:28
5. Procentowy udział przerw międzykursowych w czasie trwania brygad: 31,52%	5. Procentowy udział przerw międzykursowych w czasie trwania brygad: 29,77%
6. Procentowy udział kursów technicznych w czasie trwania brygad: 4,98%	6. Procentowy udział kursów technicznych w czasie trwania brygad: 5,08%
7. Procentowy udział kursów technicznych w dystansie brygad: 5,61%	7. Procentowy udział kursów technicznych w dystansie brygad: 7,01%
11. Liczba brygad / Liczba dostępnego taboru: 0,36	11. Liczba brygad / Liczba dostępnego taboru: 0,35

Testy na danych rzeczywistych. Lublin



Numer testu	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Scenariusz	Oryginalny plan brygad	Abp0 Ręczny dobór parametrów	Abp1 Zmniejszanie czasu przerw	Abp2 Zmniejszanie liczby zmian linii	Abp3 Zmniejszanie dystansu kursów technicznych	Abp4 Zmniejszanie liczby brygad zdegenerowanych	Abp5 Zmniejszanie czasu przerw + brak "TamTam"	Abp6 Zmniejszanie czasu przerw + brak "TamTam" + min. przerwa 1min	Abp7 Zmniejszanie dystansu kursów technicznych + brak "TamTam"	Abp8 Zmniejszanie liczby brygad zdegenerowanych + brak "TamTam"

Liczba brygad	282	272	271	272	272	272	271	272	272	272
Dystans całkowity [km]	60 399	60 736	61 609	60 781	60 693	60 773	61 607	61 548	60 669	60 761
Dystans kursów liniowych [km]	55 201	55 201	55 201	55 201	55 201	55 201	55 201	55 201	55 201	55 201
Dystans kursów technicznych [km]	5 197	5 535	6 408	5 579	5 492	5 572	6 406	6 347	5 468	5 560
Suma czasów przerw [h:mm]	1210:12	1115:14	1045:51	1132:16	1136:10	1117:43	1045:34	1033:31	1133:08	1118:42
Liczba krótkich brygad (< 4 kursy)	3	0	0	2	1	0	0	0	1	0
Liczba zmian linii	123	230	747	184	191	224	752	775	199	233

Zmiana liczby brygad [%]	-	3,5%	3,9%	3,5%	3,5%	3,5%	3,9%	3,5%	3,5%	3,5%
Zmiana dystansu całkowitego [%]	-	-0,6%	-2,0%	-0,6%	-0,5%	-0,6%	-2,0%	-1,9%	-0,4%	-0,6%
Zmiana sumy czasów przerw [%]	-	7,8%	13,6%	6,4%	6,1%	7,6%	13,6%	14,6%	6,4%	7,6%

Testy na danych rzeczywistych. Kraków

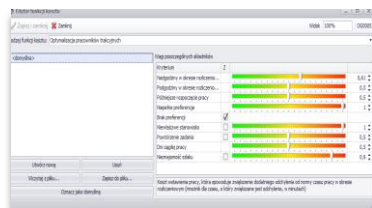


Numer testu	-	1	2	3	9
Scenariusz	Oryginalny plan brygad	Optimum brygad / krótkich brygad / zmian linii	Optimum kursów technicznych	Optimum brygad / krótkich brygad	Optimum brygad
Liczba brygad	605	551	537	521	520
Dystans całkowity [km]	152 795	152 384	151 774	153 017	152 998
Dystans kursów liniowych [km]	141 437	141 437	141 437	141 437	141 437
Dystans kursów technicznych [km]	11 358	10 947	10 337	11 580	11 561
Suma czasów przerw [h:mm]	3460:18	2957:24	2785:49	2435:57	2452:19
Liczba krótkich brygad (< 4 kursy)	0	1	4	1	3
Liczba zmian linii	703	2 144	1 484	2 874	2 690
Zmiana liczby brygad [%]	-	8,9%	11,2%	13,9%	14,0%
Zmiana dystansu całkowitego [%]	-	0,3%	0,7%	-0,1%	-0,1%
Zmiana sumy czasów przerw [%]	-	14,5%	19,5%	29,6%	29,1%

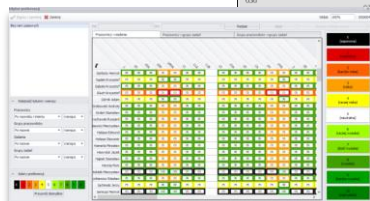
Harmonogramowanie zadań kierowców

- Harmonogram pracy kierowcy tworzony jest zawsze na miesiąc
- Harmonogram pracy kierowców nie zależy od zestawu służb
- Harmonogram powinien być tworzony dla małych grup kierowców
- **Harmonogram powinien być tworzony w oparciu o schematy pracy kierowców**
- Harmonogram nie musi być planowany na nominalny (miesięczny) czas pracy kierowcy
- Harmonogram nie musi zawierać nominalnej liczby dni ustawowo wolnych
- Proces projektowania harmonogramu nie musi uwzględniać statystyk absencji pracowników

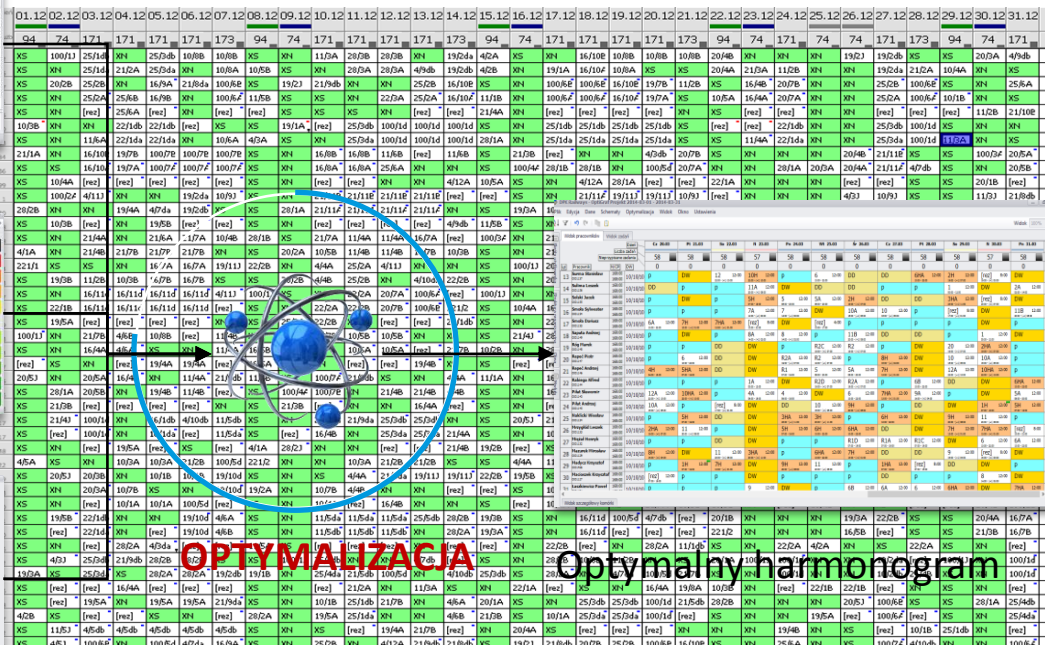
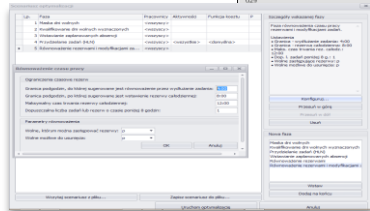
Błąd 10. Harmonogram powinien być tworzony w oparciu o schematy pracy kierowców



funkcja kosztów



preferencje

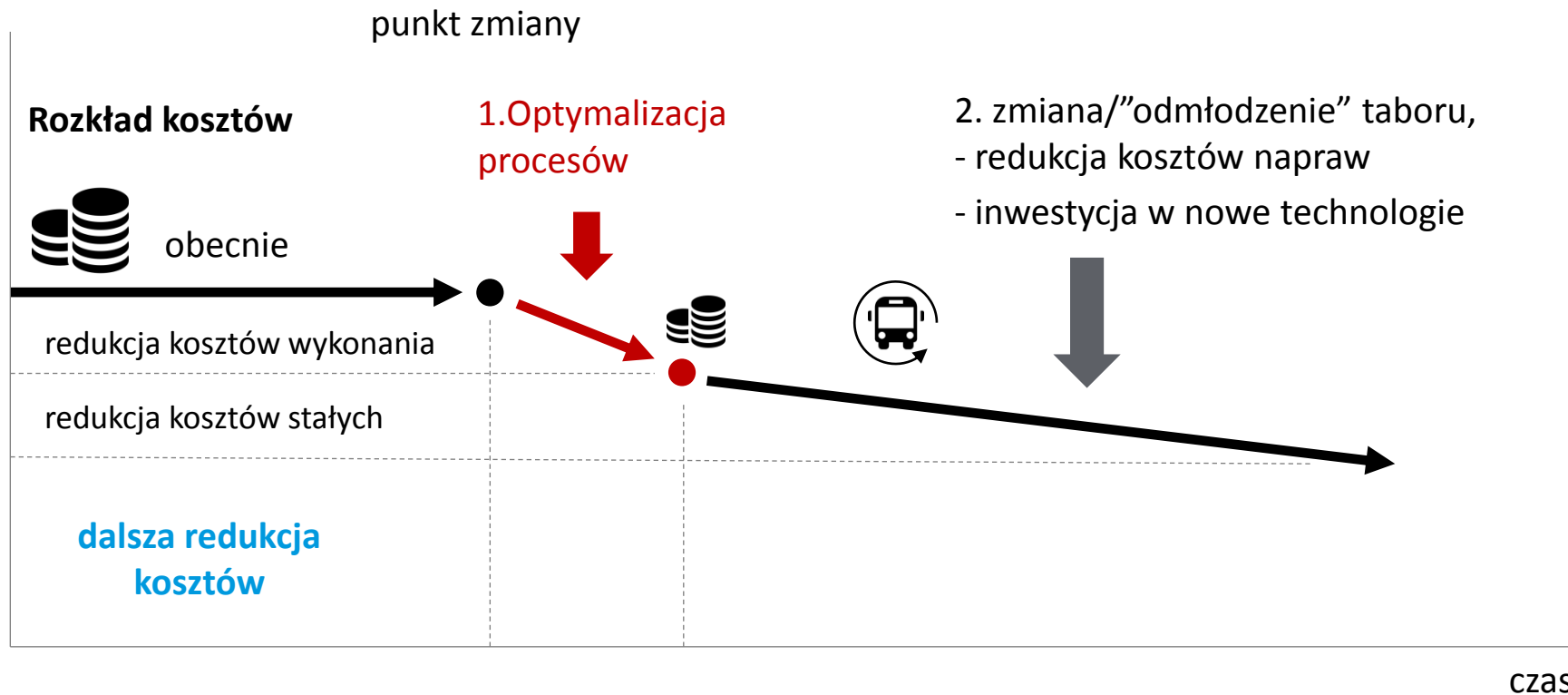


OPTIMALIZACJA

Optimalny harmonogram

scenariusz optymalizacji

Optymalizacja procesów – doskonały początek zmian



Kwalifikacje pracowników / szkolenia (!)



- Projektowanie i Optymalizacja Systemów Transportu Publicznego
- Laboratoria komputerowe dla studentów

Przykładowe laboratoria....

Politechnika
Krakowska



Politechnika
Warszawska





Dziękujemy za uwagę

POIR.01.01.01-00-0514/21

„Optymalizacja planowania zadań transportowych w komunikacji miejskiej pod kątem elektromobilności”



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



**Rzeczpospolita
Polska**



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego

