

# Katedra Systemów Transportowych

## Mobilność

dr inż. Rafał Kucharski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra Systemów Transportowych  
Politechnika Krakowska

Kraków, 2018



# Mobilność

## Definicje

### Natężenie ruchu

Liczba pojazdów przejeżdżająca przez dany odcinek drogi w określonym czasie,  
np. *2 000 pojazdów na godzinę szczytu na kierunek w Alejach (Jubilat)*

### Potok pasażerski

Liczba pasażerów używających pojazdów komunikacji zbiorowej na danym odcinku w danym czasie,  
np. *18 000 pasażerów na kierunek pomiędzy stacją metra Centrum a Świętokrzyska w Warszawie w godzinie szczytu.*

### Czas przejazdu

Średni czas przejazdu odcinka (miedzy kolejnymi skrzyżowaniami, lub przystankami) lub relacji skrajnej (od dołączenia do kolejki do opuszczenia tarczy) w godzinie szczytu, np. *15 minut pomiędzy przystankiem Politechnika a Nowy Kleparz o godzinie 16:15*



# Mobilność

## Definicje

### Podróż

- rano z domu po bułki
- z domu do pracy
- z pracy na spotkanie
- ze szkoły na gimnastykę
- z pracy po dzieci z przedszkola
- ...

### Mobilność

Potrzeba użytkowników (klientów) systemu transportowego przemieszczania się: **znalezienia się w innym miejscu przy jak najmniejszej uciążliwości.**

Podstawowa przyczyna dla której potrzebne są systemy transportowe (podaż).



## Aktywność

Przebywanie w określonym miejscu przez pewien okres czasu w związku z realizacją potrzeby.

Podstawowe aktywności:

- **DOM** (sen, rodzina, posiłki, zabawa, odpoczynek, wizyty, ...)
- **PRACA**
- **SZKOŁA**  
oraz
- zakupy
- sprawy urzędowe
- rozrywka
- sport
- wizyta
- jedzenie
- odwożenie, odprowadzanie
- ...

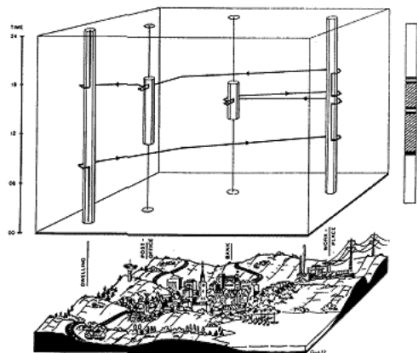


## Łańcuch

## Dobowy Łańcuch Aktywności

## Łańcuch aktywności

### Sekwencja aktywności realizowanych przed daną osobą w ciągu doby



## Cylinder czasoprzestrzenny



# Łańcuchy podróży

Łańcuch zazwyczaj kończy i zaczyna się w domu.

## Podstawowe łańcuchy trójelementowe

- Dom -> Praca -> Dom (pracujący)
- Dom -> Szkoła -> Dom (uczniowie)
- Dom -> Zakupy -> Dom (bezrobotni, emeryci, niepracujący, urlop, itp.)

## Dodatkowa aktywność po podstawowej

- Dom -> Praca -> Zakupy -> Dom
- Dom -> Szkoła -> Rozrywka -> Dom
- Dom -> Lekarz -> Odbieranie -> Dom

## Dodatkowa aktywność przed podstawową

- Dom -> Odwożenie -> Praca -> Zakupy -> Dom
- Dom -> Sport -> Szkoła -> Dom
- Dom -> Odwożenie -> Lekarz -> Dom

# Liczność łańcuchów (Poznań 2010)

| łańcuch | liczba podróży | udział |
|---------|----------------|--------|
|---------|----------------|--------|



## Liczność łańcuchów (Poznań 2010)

| łańcuch | liczba podróży | udział |
|---------|----------------|--------|
| DPD     | 5342           | 36.46% |





## Liczność łańcuchów (Poznań 2010)

| łańcuch | liczba podróży | udział |
|---------|----------------|--------|
| DPD     | 5342           | 36.46% |
| DSD     | 2382           | 16.26% |



## Liczność łańcuchów (Poznań 2010)

| łańcuch | liczba podróży | udział |
|---------|----------------|--------|
| DPD     | 5342           | 36.46% |
| DSD     | 2382           | 16.26% |
| DID     | 2032           | 13.87% |



## Liczność łańcuchów (Poznań 2010)

| łańcuch | liczba podróży | udział |
|---------|----------------|--------|
| DPD     | 5342           | 36.46% |
| DSD     | 2382           | 16.26% |
| DID     | 2032           | 13.87% |
| DUD     | 1031           | 7.04%  |



## Liczność łańcuchów (Poznań 2010)

| łańcuch | liczba podróży | udział |
|---------|----------------|--------|
| DPD     | 5342           | 36.46% |
| DSD     | 2382           | 16.26% |
| DID     | 2032           | 13.87% |
| DUD     | 1031           | 7.04%  |
| DPDID   | 347            | 2.37%  |



## Liczność łańcuchów (Poznań 2010)

| łańcuch | liczba podróży | udział |
|---------|----------------|--------|
| DPD     | 5342           | 36.46% |
| DSD     | 2382           | 16.26% |
| DID     | 2032           | 13.87% |
| DUD     | 1031           | 7.04%  |
| DPDID   | 347            | 2.37%  |
| DPDUD   | 211            | 1.44%  |



## Liczność łańcuchów (Poznań 2010)

| łańcuch | liczba podróży | udział |
|---------|----------------|--------|
| DPD     | 5342           | 36.46% |
| DSD     | 2382           | 16.26% |
| DID     | 2032           | 13.87% |
| DUD     | 1031           | 7.04%  |
| DPDID   | 347            | 2.37%  |
| DPDUD   | 211            | 1.44%  |
| DSDID   | 181            | 1.24%  |



## Liczność łańcuchów (Poznań 2010)

| łańcuch | liczba podróży | udział |
|---------|----------------|--------|
| DPD     | 5342           | 36.46% |
| DSD     | 2382           | 16.26% |
| DID     | 2032           | 13.87% |
| DUD     | 1031           | 7.04%  |
| DPDID   | 347            | 2.37%  |
| DPDUD   | 211            | 1.44%  |
| DSDID   | 181            | 1.24%  |
| DIDID   | 178            | 1.21%  |



## Liczność łańcuchów (Poznań 2010)

| łańcuch | liczba podróży | udział |
|---------|----------------|--------|
| DPD     | 5342           | 36.46% |
| DSD     | 2382           | 16.26% |
| DID     | 2032           | 13.87% |
| DUD     | 1031           | 7.04%  |
| DPDID   | 347            | 2.37%  |
| DPDUD   | 211            | 1.44%  |
| DSDID   | 181            | 1.24%  |
| DIDID   | 178            | 1.21%  |
| DIID    | 156            | 1.06%  |





## Liczność łańcuchów (Poznań 2010)

| łańcuch | liczba podróży | udział |
|---------|----------------|--------|
| DPD     | 5342           | 36.46% |
| DSD     | 2382           | 16.26% |
| DID     | 2032           | 13.87% |
| DUD     | 1031           | 7.04%  |
| DPDID   | 347            | 2.37%  |
| DPDUD   | 211            | 1.44%  |
| DSDID   | 181            | 1.24%  |
| DIDID   | 178            | 1.21%  |
| DIID    | 156            | 1.06%  |
| DPID    | 149            | 1.02%  |



## Liczność łańcuchów (Poznań 2010)

| łańcuch | liczba podróży | udział |
|---------|----------------|--------|
| DPD     | 5342           | 36.46% |
| DSD     | 2382           | 16.26% |
| DID     | 2032           | 13.87% |
| DUD     | 1031           | 7.04%  |
| DPDID   | 347            | 2.37%  |
| DPDUD   | 211            | 1.44%  |
| DSDID   | 181            | 1.24%  |
| DIDID   | 178            | 1.21%  |
| DIID    | 156            | 1.06%  |
| DPID    | 149            | 1.02%  |
| DPUD    | 96             | 0.66%  |



# Macierz motywacji podróży

Tabela krzyżowa motywacja początku podróży \* motywacja końca podróży

| Liczebność                       |                 |                         |          |           |          |       |          |      |        |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------|----------|-----------|----------|-------|----------|------|--------|
|                                  |                 | motywacja końca podróży |          |           |          |       |          |      | Ogółem |
|                                  |                 | do domu                 | do pracy | do szkoły | uczelnię | w WOH | poza WOH | inne |        |
| motywacja<br>początku<br>podróży | dom             | 13                      | 7865     | 1511      | 638      | 711   | 1342     | 3004 | 15084  |
|                                  | praca           | 7244                    | 334      | 7         | 20       | 241   | 338      | 568  | 8752   |
|                                  | szkoła          | 1472                    | 1        | 5         | 0        | 5     | 12       | 44   | 1539   |
|                                  | wyższa uczelnia | 560                     | 20       | 0         | 13       | 15    | 22       | 49   | 679    |
|                                  | WOH             | 988                     | 16       | 2         | 0        | 24    | 17       | 47   | 1094   |
|                                  | poza WOH        | 1691                    | 49       | 2         | 2        | 23    | 112      | 95   | 1974   |
|                                  | inne            | 3211                    | 326      | 15        | 15       | 78    | 142      | 465  | 4252   |
| Ogółem                           |                 | 15179                   | 8611     | 1542      | 688      | 1097  | 1985     | 4272 | 33374  |

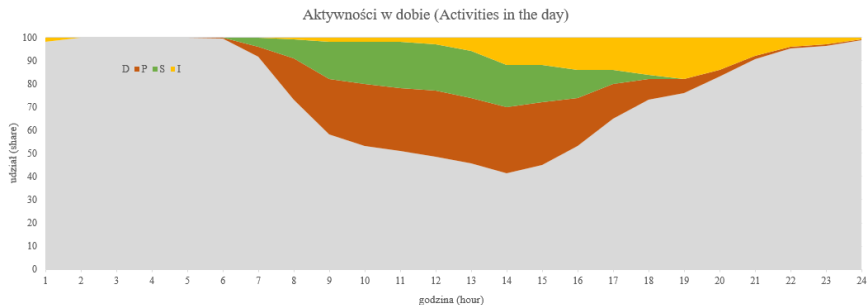
WBR 2015



## Doba - aktywnosci i podroze

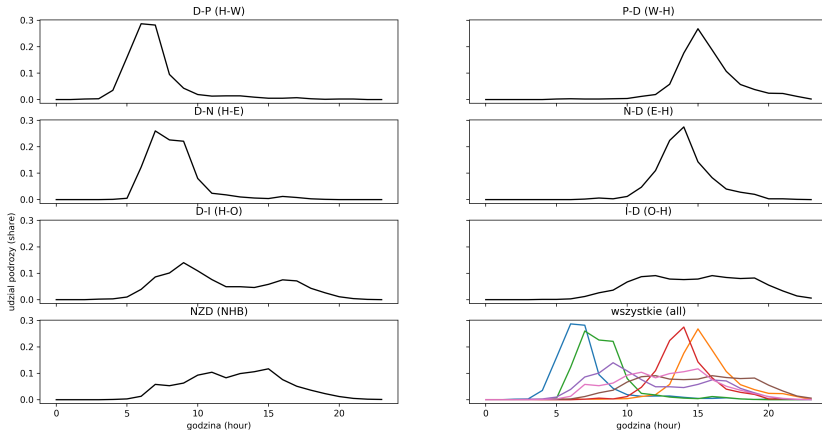


# Aktywności

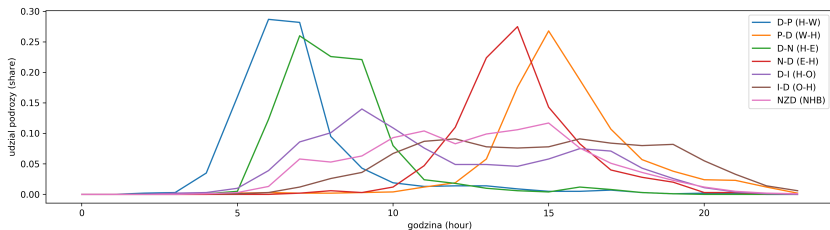


# Rozkład dobowy podróży

Rozkład dobowy podróży (temporal trip distribution)



# Rozkład dobowy podróży



## Rozkład dobowy podróży

| od | do | D-P   | P-D   | D-N   | N-D   | D-I   | I-D  | NZD   |
|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
|    | 0  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0% | 0.0%  |
| 0  | 1  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0% | 0.0%  |
| 1  | 2  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0% | 0.0%  |
| 2  | 3  | 0.2%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0% | 0.0%  |
| 3  | 4  | 0.3%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.2%  | 0.0% | 0.0%  |
| 4  | 5  | 3.5%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.0%  | 0.3%  | 0.1% | 0.1%  |
| 5  | 6  | 16.0% | 0.2%  | 0.5%  | 0.0%  | 1.0%  | 0.1% | 0.3%  |
| 6  | 7  | 28.7% | 0.3%  | 12.3% | 0.0%  | 3.9%  | 0.3% | 1.3%  |
| 7  | 8  | 28.2% | 0.2%  | 26.0% | 0.2%  | 8.6%  | 1.2% | 5.8%  |
| 8  | 9  | 9.5%  | 0.2%  | 22.6% | 0.6%  | 10.1% | 2.6% | 5.3%  |
| 9  | 10 | 4.3%  | 0.3%  | 22.1% | 0.3%  | 14.0% | 3.6% | 6.3%  |
| 10 | 11 | 1.9%  | 0.4%  | 8.0%  | 1.2%  | 10.9% | 6.7% | 9.3%  |
| 11 | 12 | 1.3%  | 1.2%  | 2.4%  | 4.7%  | 7.6%  | 8.7% | 10.4% |
| 12 | 13 | 1.4%  | 1.9%  | 1.8%  | 11.0% | 4.9%  | 9.1% | 8.3%  |
| 13 | 14 | 1.4%  | 5.8%  | 1.0%  | 22.4% | 4.9%  | 7.8% | 9.9%  |
| 14 | 15 | 0.9%  | 17.6% | 0.6%  | 27.5% | 4.6%  | 7.6% | 10.6% |
| 15 | 16 | 0.5%  | 26.8% | 0.4%  | 14.3% | 5.8%  | 7.8% | 11.7% |
| 16 | 17 | 0.5%  | 18.8% | 1.2%  | 8.3%  | 7.5%  | 9.1% | 7.6%  |
| 17 | 18 | 0.7%  | 10.7% | 0.8%  | 4.0%  | 7.1%  | 8.4% | 5.1%  |
| 18 | 19 | 0.3%  | 5.7%  | 0.3%  | 2.8%  | 4.3%  | 8.0% | 3.6%  |
| 19 | 20 | 0.1%  | 3.8%  | 0.1%  | 2.0%  | 2.6%  | 8.2% | 2.3%  |
| 20 | 21 | 0.2%  | 2.4%  | 0.0%  | 0.3%  | 1.1%  | 5.5% | 1.2%  |
| 21 | 22 | 0.2%  | 2.3%  | 0.0%  | 0.3%  | 0.4%  | 3.3% | 0.5%  |
| 22 | 23 | 0.0%  | 1.2%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.1%  | 1.4% | 0.2%  |
| 23 | 24 | 0.0%  | 0.2%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.6% | 0.1%  |





## Model 4 stadiowy



# Model 4 stadiowy

## Wprowadzenie

- analityczny
- zgodny z KBR
- czytelny
- powtarzalny
- wartości średnie (oczekiwane)
- opisuje podróże (nie łańcuchy)



# Model 4 stadiowy

opis

|   |                  |                              |            |                         |
|---|------------------|------------------------------|------------|-------------------------|
| 1 | czy?/jak często? | produkcja i atrakcja rejonów | $q_o, q_d$ | generacja podróży       |
| 2 | dokąd?           | wieżba ruchu                 | $q_{od}$   | grawitacja              |
| 3 | czym?            | udziały środków transportu   | $p_{od}$   | wybór środka transportu |
| 4 | którędy?         | obciążenia ścieżek           | $q_a$      | wybór trasy             |



# Model 4 stadiowy

- 1 Na etapie **generacji ruchu** określamy liczbę podróży rozpoczynanych  $q_o$  i kończonych  $q_d$  w każdym rejonie używając formuł generacji zgodnie z zagospodarowaniem (zmienne rejonu  $X_o$ ) i parametrami określonymi w KBR.
- 2 Na etapie **wyboru celu podróży** określamy liczbę podróży między rejonami  $q_{od}$  na podstawie:
  - produkcji w źródle  $q_o$ ,
  - atrakcji u celu  $q_d$
  - odległości pomiędzy rejonami (koszt  $c_{od}$ , lub czas  $t_{od}$ )
- 3 Na etapie **wyboru środka transportu** dla każdej pary rejonów określamy prawdopodobieństwa  $p_{od}$  wyboru każdego z rozważanych środków transportu:
  - pieszo,
  - komunikacją zbiorową,
  - samochodem,
  - ....
- 4 Na etapie **wyboru trasy** dla każdej pary źródło cel określ optymalną trasę: pieszą, komunikacją zbiorową, samochodem.

$$\{q_o, q_d\} \rightarrow q_{od} \rightarrow q_{od} \times p_m \rightarrow q_a$$

(1)



# Generacja Ruchu



# Generacja ruchu

Ujęcie statystyczne

## Produkcja

Liczba podróży rozpoczynanych w danym okresie czasu w danym obszarze w danej motywacji.  
np. *Liczba podróży rozpoczynanych w dobie na Osiedlu Kościuszkowskim z domu do pracy*

## Atrakcja

Liczba podróży kończonych w danym okresie czasu w danym obszarze w danej motywacji.  
np. *Liczba podróży kończonych w dobie na Politechnice Krakowskiej z domu na uczelnię.*

## Ruchliwość

Średnia liczba podróży wykonywana przez osobę w dobie.

## Liczba podróży

Najogólniej - ruchliwość razy liczba mieszkańców

$$T = \alpha \times LM_i$$



# Czas wykonywania aktywności



## Wybór celu podróży





# Wybór celu podróży

## Sytuacja

Wiemy gdzie i ile podróży rozpoczyna się (generacja) i kończy (atrakcja)  
**Nie wiemy** jakie to są podróże, nie wiemy jak początki łączą się z końcami.

## Wybór

Podróżny:

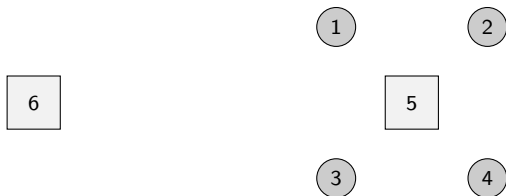
- jest w określonym miejscu (początek)
- z określoną potrzebą (kolejną aktywnością w łańcuchu)
- podejmuje decyzję gdzie zaspokoi potrzebę - wybiera koniec podróży



# Wybór celu podróży

## Przykład

Cztery rejony (1-4) generują podróże, w sumie 1000 podróży  
które mogą być zaspokojone w dwóch rejonach, bliższym nr 5 i dalszym nr 6.

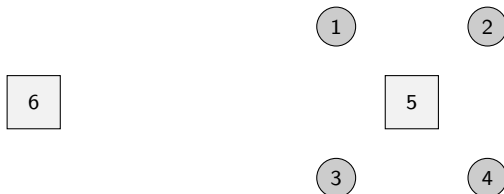


| $o, d$ | P   | A   |
|--------|-----|-----|
| 1      | 100 | -   |
| 2      | 200 | -   |
| 3      | 300 | -   |
| 4      | 400 | -   |
| 5      | -   | 200 |
| 6      | -   | 800 |



# Wybór celu podróży

Przykład



| $o, d$ | P   | A   |
|--------|-----|-----|
| 1      | 100 | -   |
| 2      | 200 | -   |
| 3      | 300 | -   |
| 4      | 400 | -   |
| 5      | -   | 200 |
| 6      | -   | 800 |

Podróże fakultatywne o dużym oporze przestrzeni

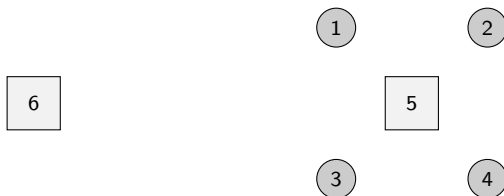
np. na zakupy do najbliższej Biedronki

| $o, d,$ | 5   | 6  |
|---------|-----|----|
| 1       | 90  | 10 |
| 2       | 200 | 0  |
| 3       | 270 | 30 |
| 4       | 400 | 0  |



# Wybór celu podróży

Przykład



| $o, d$ | P   | A   |
|--------|-----|-----|
| 1      | 100 | -   |
| 2      | 200 | -   |
| 3      | 300 | -   |
| 4      | 400 | -   |
| 5      | -   | 200 |
| 6      | -   | 800 |

Podróże fakultatywne o istotnej atrakcyjności celu podróży

np. do galerii handlowej przy dużej różnicy oferty (uwzględnione w atrakcji)

| $o, d,$ | 5  | 6   |
|---------|----|-----|
| 1       | 20 | 80  |
| 2       | 40 | 160 |
| 3       | 60 | 240 |
| 4       | 80 | 320 |



# Wybór celu podróży

Przykład



| $o, d$ | P   | A          |
|--------|-----|------------|
| 1      | 100 | -          |
| 2      | 200 | -          |
| 3      | 300 | -          |
| 4      | 400 | -          |
| 5      | -   | 200 -> 800 |
| 6      | -   | 800 -> 200 |

Podróże obligatoryjne gdzie podaż zdążyła dopasować się do popytu

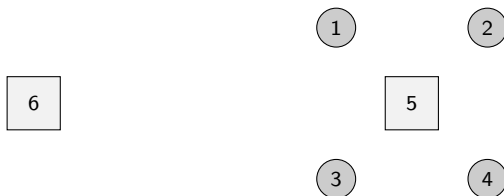
np. do przedszkola

| $o, d,$ | 5    | 6  |
|---------|------|----|
| 1       | 80   | 20 |
| 2       | 1600 | 40 |
| 3       | 240  | 60 |
| 4       | 320  | 80 |



# Wybór celu podróży

Przykład



| $o, d$ | P   | A   |
|--------|-----|-----|
| 1      | 100 | -   |
| 2      | 200 | -   |
| 3      | 300 | -   |
| 4      | 400 | -   |
| 5      | -   | 200 |
| 6      | -   | 800 |

## Podróże obligatoryjne o ograniczone pojemności celu podróży

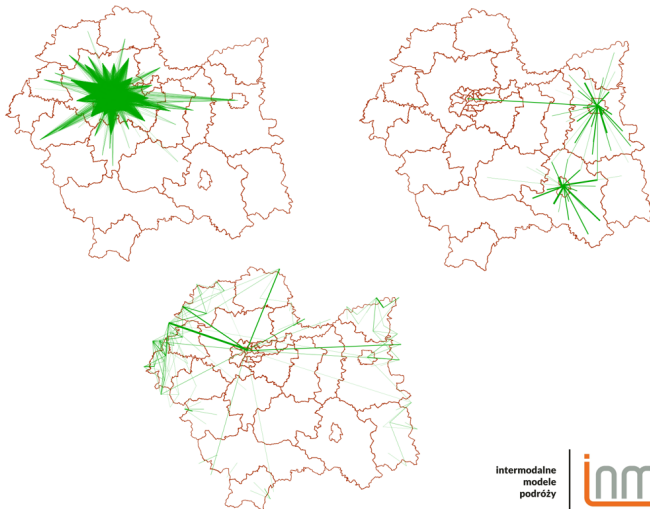
np. do pracy przy określonej liczbie miejsc pracy (górną granicą liczby podróży)

| $o, d,$ | 5  | 6   |
|---------|----|-----|
| 1       | 20 | 80  |
| 2       | 40 | 160 |
| 3       | 60 | 240 |
| 4       | 80 | 320 |



# Faktyczna struktura przemieszczeń

Ujawniona np. w śladach telefonów komórkowych



intermodalne  
modele  
podróży

inmo<sup>3</sup>



## Popyt na nowej inwestycji





# Popyt na nowej inwestycji

## Przykład

Dzisiaj otwarto nową linię tramwajową w Krakowie.

Łączy ona Mistrzejowice, przez Park Wodny, Rondo Młyńskie, Wieczystą i dalej do Ronda Mogińskiego.

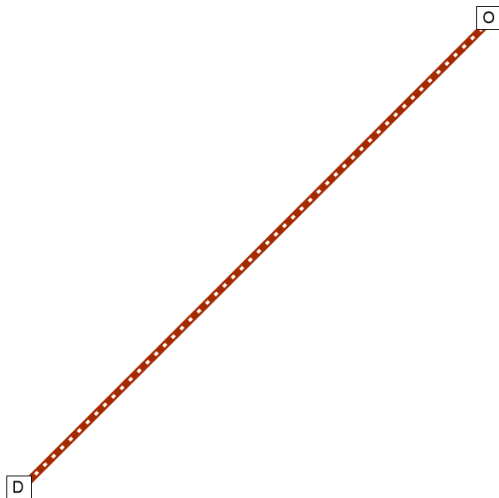
Pierwszego dnia po otwarciu kursem o 07:43 podróżuje 100 pasażerów.

Skąd oni się wzięli?



# Popyt na nowej inwestycji

Przykład

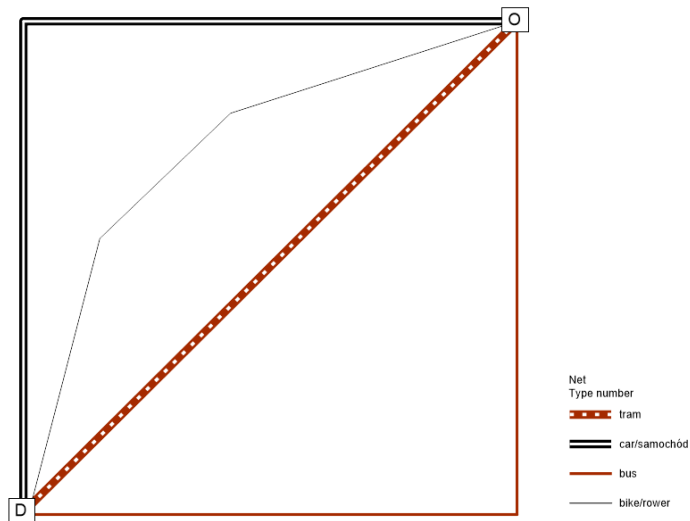


Net  
Type number  
tram



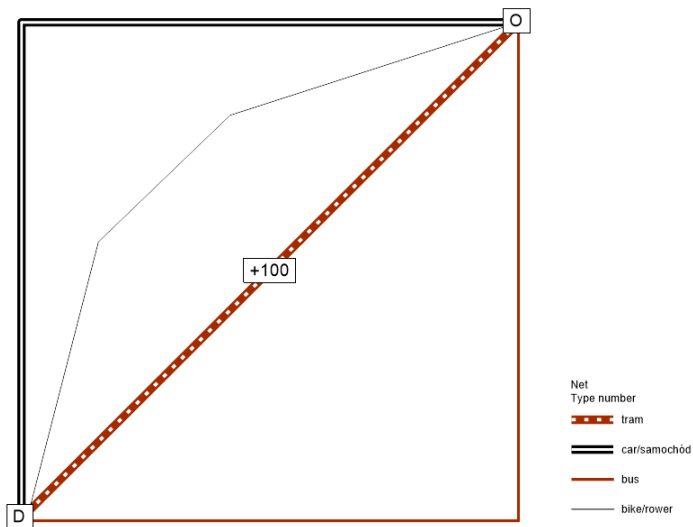
# Popyt na nowej inwestycji

Przykład



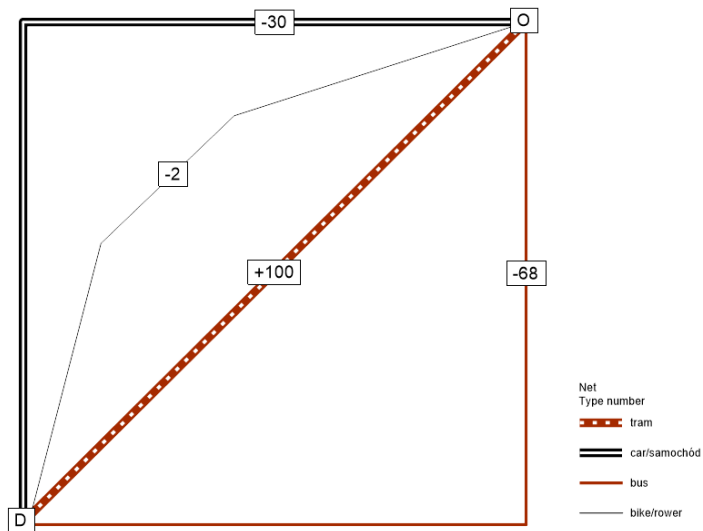
# Popyt na nowej inwestycji

Przykład



# Popyt na nowej inwestycji

Przykład



## Wybór trasy



# Wybór ścieżki w sieci drogowej

Dla przedstawionej poniżej sieci drogowej określmy obciążenie (liczbę pojazdów  $q_a$ ) na moście (odcinek przerywany) i wynikający z niego czasu przejazdu ( $t_a$ ). Wartości w rejonach oznaczają liczbę pojazdów jaka w ciągu godziny szczytu porannego chce dojechać do celu podróży. Załóż, że wszystkie odcinki są równe i czas przejazdu każdego z nich w ruchu swobodnym wynosi 1 minutę.

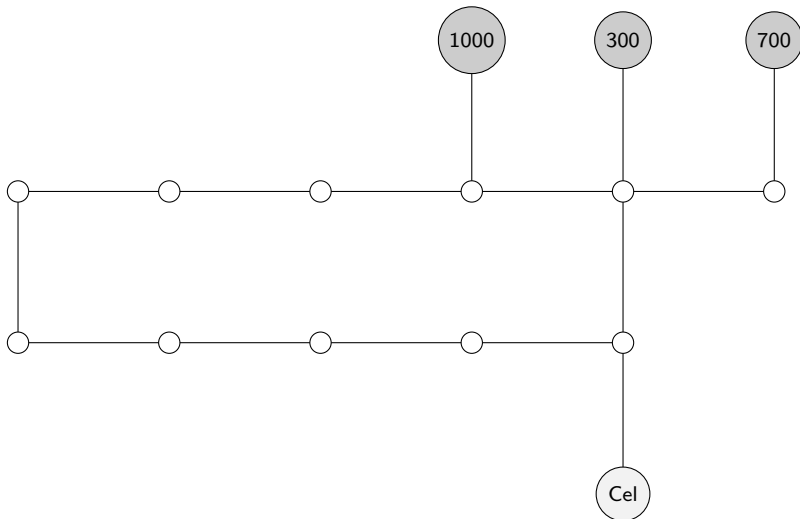
- ❶ załóż, że przepustowość wszystkich odcinków jest nieograniczona.
- ❷ załóż, że przepustowość ( $Q_a$ ) mostu (odcinek przerywany) wynosi 500 pojazdów na godzinę, pozostałe odcinki mają nieograniczoną przepustowość. Czas przejazdu oszacuj korzystając z funkcji:  $t_a = t_a^0 \cdot (1 + (q_a/Q_a)^2)$ . Podaj szacunkową wartość zbliżoną do warunków równowagi Wardop'a.



# Wybór ścieżki w sieci

przykład

A: przepustowość wszystkich odcinków jest nieograniczona.

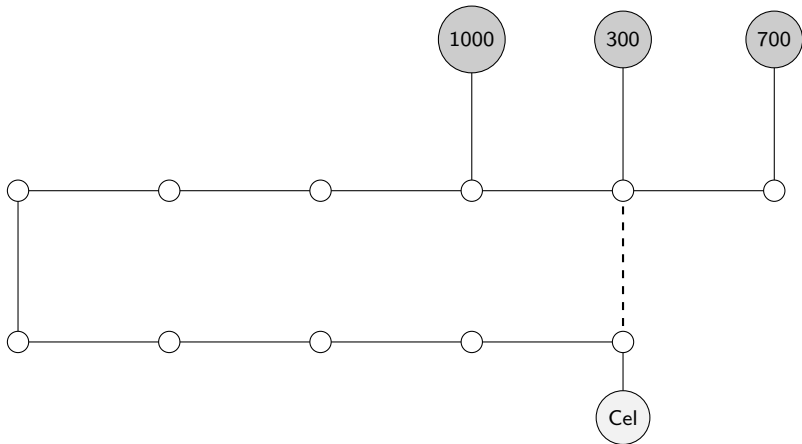




## Wybór ścieżki w sieci

### przykład

B: przepustowość ( $Q_a$ ) mostu (odcinek przerywany) wynosi 500 pojazdów na godzinę, pozostałe odcinki mają nieograniczoną przepustowość. Czas przejazdu oszacuj korzystając z funkcji:  $t_a = t_a^0 \cdot (1 + (q_a/Q_a)^2)$ . Podaj szacunkową wartość zbliżoną do warunków równowagi Wardop'a.



# Podsumowanie

Dziękuję za uwagę

Rafał Kucharski, rkucharski(at)pk.edu.pl

