

# Optymalizacja struktury sieci drogowej

Michał Siatkowski

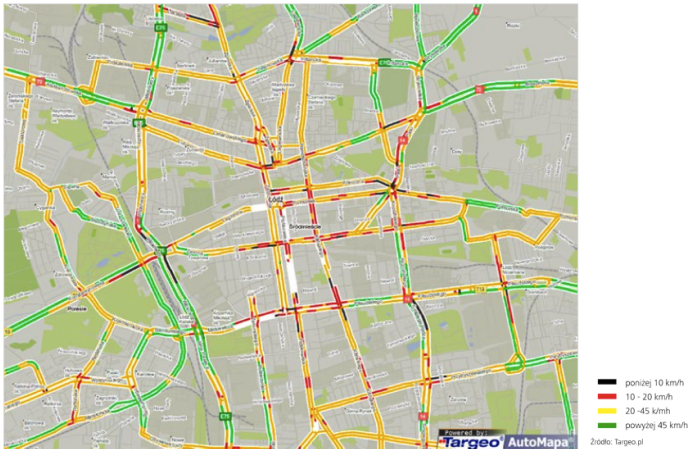
Promotor: dr hab. inż. Aneta Poniszewska - Marańda

Kopromotor: mgr inż. Łukasz Chomątek

Politechnika Łódzka

Łódź, FTIMS, Informatyka 2014/2015

# Problematyka optymalizacji ruchu drogowego



Rysunek 1 : Łódź - szczyt poranny, średnie prędkości.

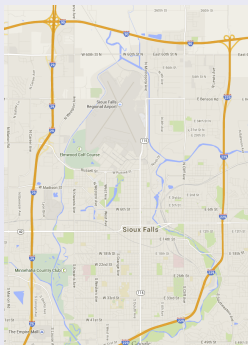
# Cele pracy

Celami pracy są:

- 1 Zdefiniowanie problematyki optymalizacji struktury sieci drogowej.
- 2 Stworzenie aplikacji optymalizującej tę strukturę.
- 3 Analiza i ocena efektywności zastosowanych rozwiązań.

# Podstawowe definicje

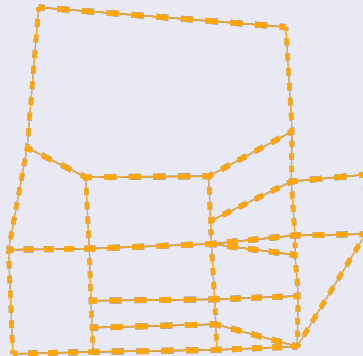
## Sieć drogowa



Rysunek 2 : Fragment sieci drogowej w Sioux Falls, Południowa Dakota.

# Podstawowe definicje

## Sieć drogowa w postaci grafu

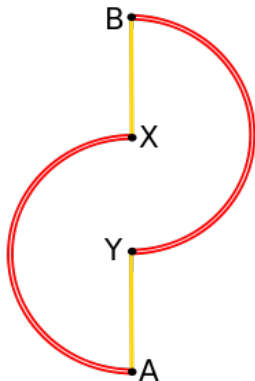


Rysunek 3 : Sieć drogowa miasta Sioux Falls w postaci grafu.

The map illustrates the proposed 11A bus route, which is a black line connecting stops labeled A through F. The route starts at A (near W 100th St and I-44), goes to B (near W 100th St and I-44), then to C (near W 100th St and I-44), D (near W 100th St and I-44), E (near W 100th St and I-44), and F (near W 100th St and I-44). The route also includes stops near the Stock River, the Missouri State Capitol, and various parks and schools. Major highways shown include I-44, I-270, I-64, and I-55. Local streets shown include W 100th St, W 110th St, W 120th St, W 130th St, W 140th St, W 150th St, W 160th St, W 170th St, W 180th St, W 190th St, W 200th St, W 210th St, W 220th St, W 230th St, W 240th St, W 250th St, W 260th St, W 270th St, W 280th St, W 290th St, W 300th St, W 310th St, W 320th St, W 330th St, W 340th St, W 350th St, W 360th St, W 370th St, W 380th St, W 390th St, W 400th St, W 410th St, W 420th St, W 430th St, W 440th St, W 450th St, W 460th St, W 470th St, W 480th St, W 490th St, W 500th St, W 510th St, W 520th St, W 530th St, W 540th St, W 550th St, W 560th St, W 570th St, W 580th St, W 590th St, W 600th St, W 610th St, W 620th St, W 630th St, W 640th St, W 650th St, W 660th St, W 670th St, W 680th St, W 690th St, W 700th St, W 710th St, W 720th St, W 730th St, W 740th St, W 750th St, W 760th St, W 770th St, W 780th St, W 790th St, W 800th St, W 810th St, W 820th St, W 830th St, W 840th St, W 850th St, W 860th St, W 870th St, W 880th St, W 890th St, W 900th St, W 910th St, W 920th St, W 930th St, W 940th St, W 950th St, W 960th St, W 970th St, W 980th St, W 990th St, W 1000th St, W 1010th St, W 1020th St, W 1030th St, W 1040th St, W 1050th St, W 1060th St, W 1070th St, W 1080th St, W 1090th St, W 1100th St, W 1110th St, W 1120th St, W 1130th St, W 1140th St, W 1150th St, W 1160th St, W 1170th St, W 1180th St, W 1190th St, W 1200th St, W 1210th St, W 1220th St, W 1230th St, W 1240th St, W 1250th St, W 1260th St, W 1270th St, W 1280th St, W 1290th St, W 1300th St, W 1310th St, W 1320th St, W 1330th St, W 1340th St, W 1350th St, W 1360th St, W 1370th St, W 1380th St, W 1390th St, W 1400th St, W 1410th St, W 1420th St, W 1430th St, W 1440th St, W 1450th St, W 1460th St, W 1470th St, W 1480th St, W 1490th St, W 1500th St, W 1510th St, W 1520th St, W 1530th St, W 1540th St, W 1550th St, W 1560th St, W 1570th St, W 1580th St, W 1590th St, W 1600th St, W 1610th St, W 1620th St, W 1630th St, W 1640th St, W 1650th St, W 1660th St, W 1670th St, W 1680th St, W 1690th St, W 1700th St, W 1710th St, W 1720th St, W 1730th St, W 1740th St, W 1750th St, W 1760th St, W 1770th St, W 1780th St, W 1790th St, W 1800th St, W 1810th St, W 1820th St, W 1830th St, W 1840th St, W 1850th St, W 1860th St, W 1870th St, W 1880th St, W 1890th St, W 1900th St, W 1910th St, W 1920th St, W 1930th St, W 1940th St, W 1950th St, W 1960th St, W 1970th St, W 1980th St, W 1990th St, W 2000th St, W 2010th St, W 2020th St, W 2030th St, W 2040th St, W 2050th St, W 2060th St, W 2070th St, W 2080th St, W 2090th St, W 2100th St, W 2110th St, W 2120th St, W 2130th St, W 2140th St, W 2150th St, W 2160th St, W 2170th St, W 2180th St, W 2190th St, W 2200th St, W 2210th St, W 2220th St, W 2230th St, W 2240th St, W 2250th St, W 2260th St, W 2270th St, W 2280th St, W 2290th St, W 2300th St, W 2310th St, W 2320th St, W 2330th St, W 2340th St, W 2350th St, W 2360th St, W 2370th St, W 2380th St, W 2390th St, W 2400th St, W 2410th St, W 2420th St, W 2430th St, W 2440th St, W 2450th St, W 2460th St, W 2470th St, W 2480th St, W 2490th St, W 2500th St, W 2510th St, W 2520th St, W 2530th St, W 2540th St, W 2550th St, W 2560th St, W 2570th St, W 2580th St, W 2590th St, W 2600th St, W 2610th St, W 2620th St, W 2630th St, W 2640th St, W 2650th St, W 2660th St, W 2670th St, W 2680th St, W 2690th St, W 2700th St, W 2710th St, W 2720th St, W 2730th St, W 2740th St, W 2750th St, W 2760th St, W 2770th St, W 2780th St, W 2790th St, W 2800th St, W 2810th St, W 2820th St, W 2830th St, W 2840th St, W 2850th St, W 2860th St, W 2870th St, W 2880th St, W 2890th St, W 2900th St, W 2910th St, W 2920th St, W 2930th St, W 2940th St, W 2950th St, W 2960th St, W 2970th St, W 2980th St, W 2990th St, W 3000th St, W 3010th St, W 3020th St, W 3030th St, W 3040th St, W 3050th St, W 3060th St, W 3070th St, W 3080th St, W 3090th St, W 3100th St, W 3110th St, W 3120th St, W 3130th St, W 3140th St, W 3150th St, W 3160th St, W 3170th St, W 3180th St, W 3190th St, W 3200th St, W 3210th St, W 3220th St, W 3230th St, W 3240th St, W 3250th St, W 3260th St, W 3270th St, W 3280th St, W 3290th St, W 3300th St, W 3310th St, W 3320th St, W 3330th St, W 3340th St, W 3350th St, W 3360th St, W 3370th St, W 3380th St, W 3390th St, W 3400th St, W 3410th St, W 3420th St, W 3430th St, W 3440th St, W 3450th St, W 3460th St, W 3470th St, W 3480th St, W 3490th St, W 3500th St, W 3510th St, W 3520th St, W 3530th St, W 3540th St, W 3550th St, W 3560th St, W 3570th St, W 3580th St, W 3590th St, W 3600th St, W 3610th St, W 3620th St, W 3630th St, W 3640th St, W 3650th St, W 3660th St, W 3670th St, W 3680th St, W 3690th St, W 3700th St, W 3710th St, W 3720th St, W 3730th St, W 3740th St, W 3750th St, W 3760th St, W 3770th St, W 3780th St, W 3790th St, W 3800th St, W 3810th St, W 3820th St, W 3830th St, W 3840th St, W 3850th St, W 3860th St, W 3870th St, W 3880th St, W 3890th St, W 3900th St, W 3910th St, W 3920th St, W 3930th St, W 3940th St, W 3950th St, W 3960th St, W 3970th St, W 3980th St, W 3990th St, W 4000th St, W 4010th St, W 4020th St, W 4030th St, W 4040th St, W 4050th St, W 4060th St, W 4070th St, W 4080th St, W 4090th St, W 4100th St, W 4110th St, W 4120th St, W 4130th St, W 4140th St, W 4150th St, W 4160th St, W 4170th St, W 4180th St, W 4190th St, W 4200th St, W 4210th St, W 4220th St, W 4230th St, W 4240th St, W 4250th St, W 4260th St, W 4270th St, W 4280th St, W 4290th St, W 4300th St, W 4310th St, W 4320th St, W 4330th St, W 4340th St, W 4350th St, W 4360th St, W 4370th St, W 4380th St, W 4390th St, W 4400th St, W 4410th St, W 4420th St, W 4430th St, W 4440th St, W 4450th St, W

Michał Siatkowski

# Paradoks Braessa



Rysunek 5 : Wyjściowy układ drogowy

Autostrady:

$$AX, t_{AX}(p) = 50 + p \text{ min}$$

$$YB, t_{YB}(p) = 50 + p \text{ min}$$

Drogi lokalne:

$$AY, t_{AY}(p) = 10p \text{ min}$$

$$XB, t_{XB}(p) = 10p \text{ min}$$

Aut jest 6000 i wszystkie mają za zadanie przejechać trasę z A do B.

# Równowaga Nasha

Równowaga Nasha to taka sytuacja, w której każdy z samochodów spowoduje wydłużenie swojego czasu jazdy, zmieniając decyzję co do wyboru trasy przy niezmiennych decyzjach pozostałych aut.

Jeśli  $p$  i  $q$  to liczby aut w tysiącach pokonujących odpowiednio trasy AXB i AYB, otrzymujemy równania:

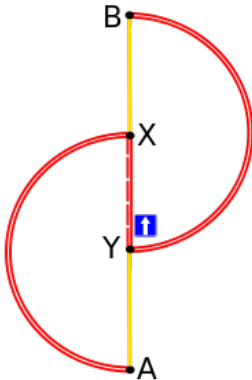
$$\begin{aligned}p + q &= 6 \\t_{AX}(p) + t_{XB}(p) &= t_{AY}(q) + t_{YB}(q) \\50 + p + 10p &= 10q + 50 + q\end{aligned}$$

rozwiązaniem jest  $p = q = 3$ .

Przy tej gęstości ruchu pokonanie obu dostępnych tras zabiera  $50 + 3 + 30 = 83$  minuty.



## Uzupełniony układ drogowy



Do wyjściowego układu drogowego dodana zostaje autostrada:

$$YX, t_{YX}(p) = 10 + p \text{ min}$$

Aut jest nadal 6000 i wszystkie mają za zadanie przejechać trasę z A do B.

Rysunek 6 : Uzupełniony układ drogowy

## Równowaga Nasha dla uzupełnionego układu

Jeśli  $p$ ,  $q$  i  $r$  to liczby aut w tysiącach pokonujących odpowiednio trasy AXB, AYB i AYXB, otrzymujemy równania:

$$\begin{aligned}p + q + r &= 6 \\t_{AX}(p) + t_{XB}(p + r) &= t_{AY}(q + r) + t_{YB}(q) = \\&= t_{AY}(q + r) + t_{YX}(r) + t_{XB}(p + r)\end{aligned}$$

$$50 + p + 10(p + r) = 10(q + r) + 50 + q = 10(q + r) + 10 + r + 10(p + r)$$

rozwiązaniem jest  $p = q = r = 2$ .

Czas przejazdu każdej z tych dróg wynosi wówczas

$$50 + 2 + 10(2 + 2) = 92 \text{ minuty.}$$

# Słabe punkty istniejących rozwiązań

Paradoks Braessa został sformułowany w roku 1970, a od roku 1996 zaczęły pojawiać się prace negujące lub podważające paradoks. Wiele miast jednak brało i bierze pod uwagę paradoks Braessa podczas projektowania swojej przestrzeni, przykładami są:

- Korea, Seul, likwidacja m.in. estakad Cheonggyecheon,
- Niemcy, Stuttgart, likwidacja dróg zbudowanych w latach 60,
- USA, Nowy Jork, czasowe zamknięcie ulicy 42,
- USA, Winnipeg.

# Symulator transportu



Rysunek 7 : Logo symulatora transportu MATSim

- Dostarcza symulację zachowań mobilnych opartych na agentach.
- Zapewnia szybkość i stabilność działania.
- Przedstawia analizę dostarczanych wyników.
- Pozwala na podejście modułowe.
- Został stworzony w ramach licencji otwartego oprogramowania.

# Przestrzeń poszukiwań

Najlepszego rozwiązania będę poszukiwał wykorzystując klasyczny algorytm genetyczny.

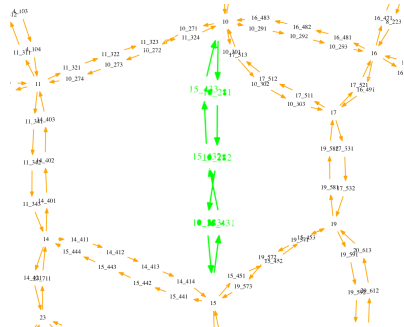


Rysunek 8 : Logo biblioteki Apache Commons Math

# Klasyczny algorytm genetyczny

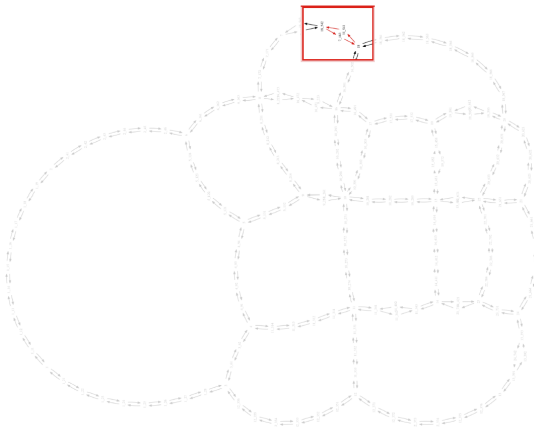
1	1	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

Rysunek 9 : Fragment sieci w postaci tablicy binarnej



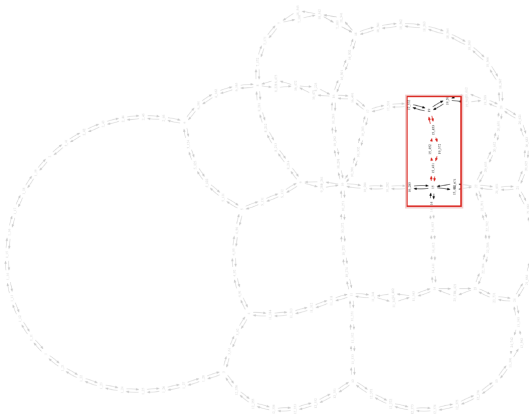
Rysunek 10 : Fragment sieci w postaci grafu

# Zamykane obszary



**Rysunek 11 :** Graf z zaznaczonym zamkniętym obszarem wspólnie dla wszystkich wyników.

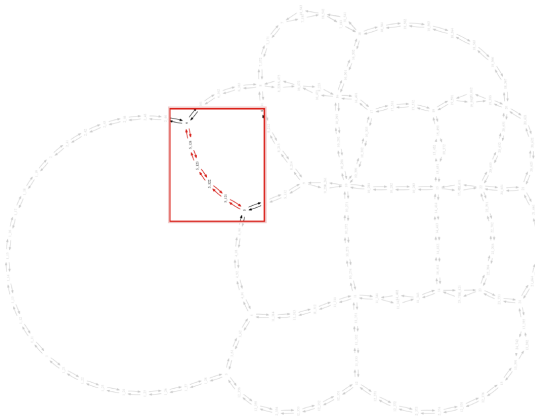
## Zamykane obszary



**Rysunek 12 :** Graf z zaznaczonym zamkniętym obszarem wspólnie dla wyników o ID: 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16.

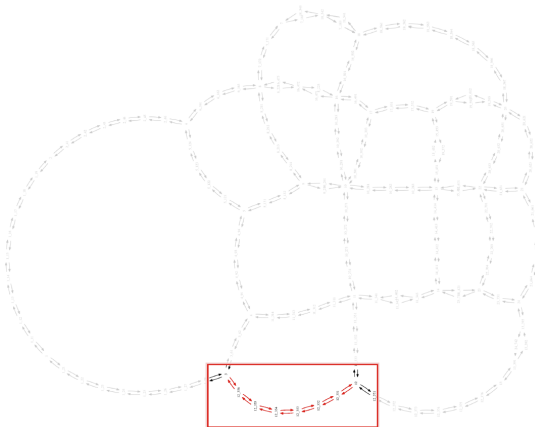


## Zamykane obszary



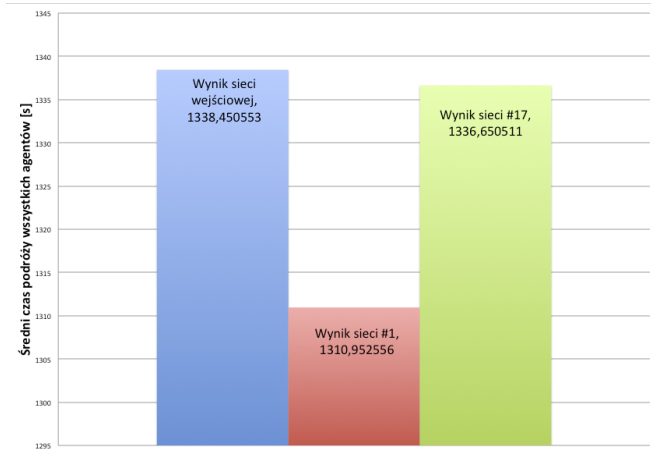
**Rysunek 13 :** Graf z zaznaczonym zamkniętym obszarem wspólnie dla wyników o ID: 2, 4, 6, 8, 12.

# Zamykane obszary



Rysunek 14 : Graf z zaznaczonym zamkniętym obszarem wspólnie dla wyników o ID: 3, 8, 15.

# Wyniki optymalizacji sieci



Rysunek 15 : Wykres porównujący wyniki optymalizacji.