

Kontr-intuicyjne metody ograniczania korków w miastach

Marek Karabon



Plac Dominikański we Wrocławiu, 21.11.2008 - Dzień Życzliwości

1. Wprowadzenie

W swoim referacie postanowiłem zająć się nietypowymi i kontr-intuicyjnymi metodami rozwiązywania problemu korków.

Jako mieszkaniec Wrocławia uważam, iż korki są jednym z największych problemów tego miasta. Władze Wrocławia zdają sobie z tego sprawę, dlatego też w budżecie miejskim na rok 2008 przewidziano aż 305 816 719 złotych na inwestycje drogowe¹, przy jedynie 118 340 100 złotych w roku 2005². Oznacza to wzrost o aż 158% w ciągu trzech lat.

Korki są jednym z najważniejszych problemów współczesnej gospodarki. Zgodnie z danymi Texas Transportation Institute amerykańska gospodarka co roku traci, jedynie poprzez czas spędzony w korkach, ponad 78 miliardów dolarów³.

Niestety, częstokroć prowadzone inwestycje w nowe i rozbudowę starych dróg, wbrew założeniom, nie poprawią sytuacji transportowej w mieście, a wręcz czasami ją pogorszą. Postaram się to udowodnić oraz pokazać kilka alternatywnych rozwiązań.

1 Budżet Wrocławia na 2008 rok, www.wroclaw.pl

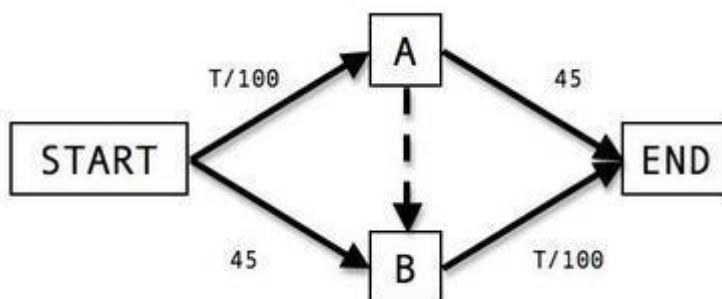
2 Budżet Wrocławia na 2005 rok, www.wroclaw.pl

3 Wywiad dla telewizji NBC, <http://video.msn.com/?mkt=en-us&fg=rss&vid=63a1d247-5e79-4af4-9df1-3c5d936f3a4b&from=34>

2. Paradoks Braessa

Najbardziej klasycznym przykładem paradoksu w sieciach transportowych jest tzw. Paradoks Braessa. Po raz pierwszy został opublikowany w 1969 roku przez niemieckiego matematyka Dietricha Braessa w czasopiśmie *Unternehmensforschung*. Twierdzi on, że istnieją sytuacje w których dodanie przepustowości do sieci spowoduje zwiększenie przeciętnego czasu przepływu i zmniejszenie jej ogólnej efektywności. Przykładem, który podał Braess w swoim artykule jest bardzo prosty model sieci drogowej, który postaram się przedstawić⁴.

Załóżmy, że mamy sieć z czterema wierzchołkami i czterema krawędziami. Każda z krawędzi reprezentuje drogę, a kosztem jej przejechania jest czas na to poświęcony. Oczywiście jest, że czas przejazdu na drodze zależy od jej jakości (głównie ilości skrzyżowań). Załóżmy, że połączenia START-B i A-END to połączenia bezkolizyjne i bardzo przepustowe i przeciętny czas podróży nimi jest niezależny od ilości samochodów i wynosi 45 minut. Połączenia START-B i B-END natomiast to drogi wewnętrzne, o mniejszej przepustowości, na których czas przejazdu zależy liniowo od ilości aut i wynosi (w minutach) $T/100$, gdzie T to liczba samochodów w sieci. Dla obliczeń przyjmijmy $T=4000$ aut.



Rys.1; Źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/Braess_paradox

Obliczmy przeciętny czas przejazdu pomiędzy START a END. Ponieważ oba połączenia (przez A i przez B) są identyczne pod względem kosztu oraz długości, zgodnie z tzw. Równowagą Nasha, w której każdy kierowca dąży do minimalizacji własnego kosztu, połowa kierowców wybierze drogę przez A a połowa przez B. Obliczmy zatem przeciętny czas przejazdu.

Koszt dla połączenia START-A-END wynosi $\frac{T}{100} + 45 = \frac{2000}{100} + 45 = 65min$

Koszt dla połączenia START-B-END wynosi $45 + \frac{T}{100} = 45 + \frac{2000}{100} = 65min$

Załóżmy, że zbudowana została nowa, bardzo przepustowa droga pomiędzy punktami A i B. Dla uproszczenia i wyraźniejszego pokazania rezultatu przyjmijmy, że czas przejazdu nią wynosi 0 i jest niezależny od ilości aut. Powtórzmy obliczenia dla nowej sieci.

Podróżując ze START do END każdy kierowca będzie mógł teraz wybrać trasę START-A lub START-B. Ponieważ liczba samochodów w sieci wynosi 4000 najgorszy możliwy czas przejazdu na

4 Dietrich Braess (1969), *Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung*, „Unternehmensforschung” 12, str. 258-268.

połączeniu START-A wyniesie 40min przy czasie START-B równym stale 45 minut. W związku z tym wszyscy kierowcy wybiorą pierwszy wariant. Następnie staną przed podobnym wyborem i znów z dwóch wariantów A-END i B-END wybiorą B-END, bowiem zminimalizuje on ich osobisty czas podróży.

Sumaryczny przeciętny koszt podróży ze START do END trasą START-A-B-END wyniesie teraz

$$\frac{T}{100} + 0 + \frac{T}{100} = \frac{4000}{100} + 0 + \frac{4000}{100} = 80 \text{ min.}$$

Łatwo zauważyć, że po zbudowaniu nowej trasy przeciętny czas przejazdu pogorszył się o 15 minut. Żaden z kierowców nie zmieni swojej trasy, ponieważ pierwotne połączenie START-A-END lub START-B-END zajmuje teraz 85 minut, czyli o 5 minut więcej.

Jak często w rzeczywistości zdarzają się takie przypadki? Okazuje się, że można podać kilka przykładów. W Seulu zaobserwowano przyspieszenie ruchu po wyłączeniu autostrady w ramach projektu renowacji dzielnicy Cheonggyecheon⁵. W Stuttgarcie po wielu inwestycjach drogowych w 1969 roku sytuacja nie poprawiła się aż do momentu, w których świeżo zbudowanej drogi nie zamknięto⁶. W Nowym Jorku w 1990 roku zamknięcie 42 ulicy znacznie zmniejszyło korki w całym obszarze⁷.

Przykłady możliwości praktycznego zastosowania wiedzy o Paradoksie Braessa oraz definicję Price of Anarchy dla sieci drogowych prezentuje również artykuł z sierpnia 2008 autorstwa Hyejin Youna, Hawoong Jeonga oraz Micheala T. Gastnera⁸.

Główną tezą artykułu jest fakt iż nieskoordynowane jednostki dążące do osiągnięcia swojego osobistego optimum nie zawsze osiągają w ten sposób optimum dla całej społeczności.

Równowaga, którą osiągają to właśnie równowaga Nasha, najczęściej niższa niż optimum społeczne. Dlatego też społeczeństwo musi płacić Cenę Anarchii (Price of Anarchy) w związku z brakiem skoordynowania pomiędzy poszczególnymi jednostkami.

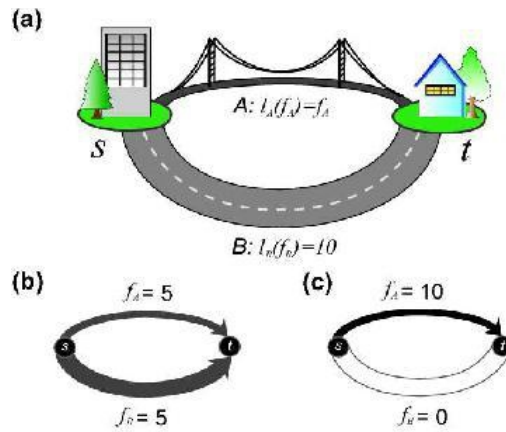
Na wstępie przytoczę kolejny przykład teoretyczny, dzięki któremu łatwiej będzie zrozumieć Price of Anarchy. Załóżmy, że mamy sieć złożoną z dwóch punktów połączonych dwoma krawędziami. Jedna z nich to wąski most o małej przepustowości, a drugi to szeroka, ale długa, obwodnica autostradowa. Czas przejazdu mostem jest liniowo uzależniony od liczby użytkowników, czas przejazdu autostradą jest od niej niezależny i stale wynosi 10 (Rys. 2a)

5 D. Easley and J. Kleinberg (2008), *Networks*, page 71. Cornell Store Press.

6 Knödel W (1969), *Graphentheoretische Methoden und ihre Anwendungen*, Springer-Verlag.

7 Kolata G (1990-12-25), What if They Closed 42d Street and Nobody Noticed?, „New York Times”.

8 Youn H, Gastner MT, Jeong H (2008), *Price of anarchy in transportation networks: efficiency and optimality control*, „Phys. Rev. Lett” 101



Rys. 2; źródło: [8]

W tej sieci znajduje się 10 użytkowników chcących dostać się z punktu S do punktu t. Całkowita funkcja kosztów społeczeństwa wynosi jest sumą czasów wszystkich pojedynczych użytkowników. Łatwo obliczyć, że optimum społeczne osiągniemy, kiedy połowa kierowców pojedzie mostem, a połowa autostradą, koszt wyniesie wtedy bowiem $Kc = 5 * 10 + 5 * 5 = 75min$. (Rys. 2b)

Jednakże każdy kierowca jadący autostradą może zmniejszyć swój osobisty czas podróży zmieniając trasę na przejazd mostem, zamiast 10 będzie jechał 6 minut. Koniec końców po raz kolejny uformuje się równowaga Nasha z całkowitym kosztem równym $Kc = 10 * 10 = 100min$ (Rys. 2c)

Price of Anarchy zostało określone jako stosunek całkowitego kosztu dla równowagi Nasha i całkowitego kosztu dla optimum społecznego. W powyższym przykładzie, co oznacza, że ludzie marnują ok. 33% swojego czasu, ponieważ nie są skoordynowani.

$$PoA = \frac{100}{75} = \frac{4}{3}$$

Autorzy artykułu dokonali obliczeń dla sieci transportowych Bostonu (Rys. 3a), Nowego Jorku (Rys. 3c) i Londynu (Rys. 3b).



Rys. 3; źródło: [8]

Wyniki są zaskakujące. W Bostonie, przy podróży z Harvard Square do Boston Common jest aż sześć takich ulic, których zamknięcie zmniejszy całkowity koszt przejazdu. PoA dla tej sieci wynosi aż 1,30.

W Londynie, na trasie ze stacji metra Borrough do stacji Farringdon, PoA wynosi 1,24 a aż siedem ulic powoduje paradoks Braessa.

W Nowym Jorku (Washington Market Park - Queens Midtown Tunnel) PoA osiąga wartość aż 1,28, a 12 ulic powinno się zamknąć.

Istnieje inna metoda ograniczania PoA niż zamykanie wyznaczonych ulic. W niektórych miastach Zachodniej Europy (czołowym przykładem jest Londyn) stosuje się również opłaty za wjazd do centrum, które powinny być tak obliczone, aby równoważyć koszty poszczególnych ścieżek, na przykład w przykładzie pierwszym opłatom powinna zostać poddana droga A-B, a w przykładzie drugim przejazd mostem. Celem jest doprowadzenie równowagi Nasha do optimum społecznego.

We Wrocławiu SISKOM (Stowarzyszenie Integracji Stołecznej Komunikacji) proponuje wprowadzenie opłat za wjazd do centrum już od trasy przyszłej Śródmiejskiej Trasy Południowej (Pułaskiego - Dyrekcyjna - Nowoszczeńska - Zaporoska - Szpitalna) i całkowity zakaz wjazdu aut wewnątrz pierwszej fosy miejskiej (dzisiejsza ulica Kazimierza Wielkiego). Według ich wyliczeń radykalnie zmniejszyłyby to korki nie tylko w centrum, ale również poza jego granicami⁹.

Rodzajem opłat tego typu jest również opłata za parkowanie. Dobrym tego przykładem jest duńska Kopenhaga. „W Kopenhadze ceny parkingów są ustalane tak, aby zachować ok. 10% wolnych miejsc. Kiedy rezerwa się kurczy, ceny za parkowanie są podnoszone. Szczególnie warto zapamiętać także odpowiedź Larsa Gemz'e na pytanie, jak Kopenhaga rekompensuje mieszkańcom centrum brak miejsc parkingowych dla nich. Otóż, nie jest to zadaniem miasta! Sam fakt posiadania samochodu nie oznacza, że mamy prawo do miejsca parkingowego. Nawet pod własnym domem”¹⁰.

3. Poszerzanie dróg

Wbrew pozorom poszerzanie dróg nie prowadzi do zwiększenia przepustowości. Zgodnie z prawem Lewisa-Mogridge'a ruch powiększa się tak, aby maksymalnie wypełnić nową zwiększoną przepustowość. W związku z tym poprawa trwa najdłużej kilka miesięcy, a czasami nawet tylko kilka tygodni. Potem korki powracają, kierowcy stoją jednakże na większej niż wcześniej ilości pasów¹¹.

Amerykańskie Bureau of Public Roads w swoim wzorze na teoretyczne opóźnienia na drogach przyjmuje, że ilość samochodów na godzinę przejeżdżających daną ulicą jest równa ilości pasów ruchu pomnożonej przez 2000. Łatwo zauważyć więc, że dodatkowy pas ruchu przyciągnie dodatkowe samochody¹².

Dlatego też trzeba patrzeć na system ulic jako na całość, a nie zbiór odcinków.

Moim zdaniem najgroźniejsze jest to, że nadmiar inwestycji drogowych w centrum zabija i dusi miasto. Piesi, stanowiący o witalności przestrzeni, tracą swoje miejsce i należne im przywileje.

9 Wywiady autora z członkami SISKOMu

10 Karolina Krajewska, Marcin Jackowski, [Przejdziem jezdnię, przejdziem parking, będziemy Duńczykami](#), „Zielone Mazowsze”, 2008.11.08

11 Martin Mogridge (1990), *Travel in towns: jam yesterday, jam today and jam tomorrow?* Macmillan Press, London

12 R. F. Roess and W. R. McShane (1987), *ITE Journal* 57, 27

Muszą stale czekać na światłach, chodzić po wąskich chodnikach i wdychać spaliny. Samochody i przestrzeń publiczna nie mogą iść w parze. Jako dowód tej tezy zdjęcie centrum amerykańskiego Houston - miasta, które postawiło na transport indywidualny.



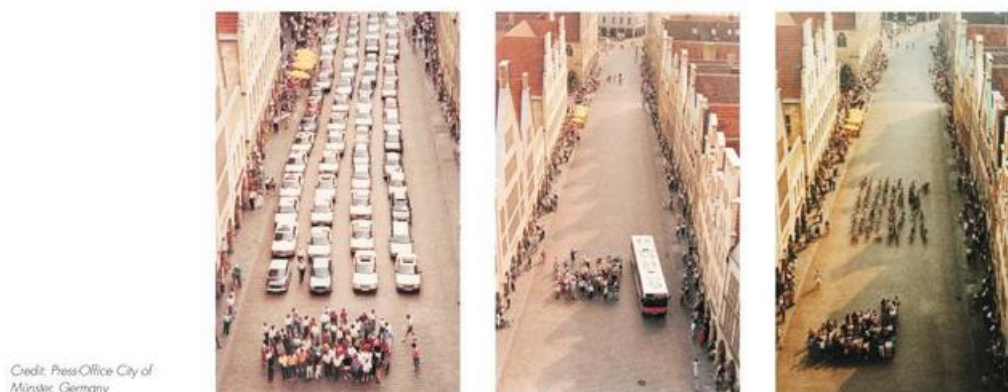
Rys. 4 - Centrum Houston; źródło: www.skyscrapercity.com

4. Paradoks Downsa-Thomsona

Duże praktyczne zastosowanie ma również mniej znany paradoks Downsa-Thomsona, zwany również paradoksem Pigou-Knight-Downsa. Mówi on, że przeciętna prędkość osoby poruszającej się samochodem po mieście zależy od przeciętnej prędkości (od drzwi-do drzwi) osoby poruszającej się komunikacją zbiorową¹³. Innymi słowy im lepsza będzie komunikacja zbiorowa, tym więcej osób będzie jej używać, a więc w sieci będzie mniej samochodów, z czego wynikną mniejsze korki. Dlatego też częstokroć odebranie jednego z pasów ruchu dla samochodu i przekazanie go w formie wydzielonego torowiska bądź bus-pasu w rzeczywistości zmniejsza, zamiast zwiększać korki samochodowe.

Wynika to z przepustowości poszczególnych pasów ruchu. Poniżej prezentuję zdjęcie obrazujące ile miejsca zajmuje ta sama grupa ludzi, w zależności od typu transportu, którym się porusza.

Figure 2.6 Amount of space required to transport the same number of passengers by car, bus or bicycle. (Poster in city of Muenster Planning Office, August 2001)



Rys. 5; źródło: www.skyscrapercity.com

13 http://en.wikipedia.org/wiki/Downs-Thomson_paradox

Łatwo zauważyć, że sporych rozmiarów korek łatwo byłoby przewieźć kilkoma tramwajami. Zgodnie z wyliczeniami Towarzystwa Upiększania Miasta Wrocławia w jednym tramwaju jeździ średnio 200 osób, a w 6 samochodach przeciętnie 9 osób (1,4 osoby na samochód). Obie wersje zajmują tyle samo miejsca¹⁴.

5. Podsumowanie

Niniejszym referatem chciałem udowodnić, iż problem korków można rozwiązać inaczej niż tylko budując warte kilkaset milionów złotych estakady, tunele i bezkolizyjne skrzyżowania oraz poszerzając w nieskończoność już istniejące drogi.

Często wystarczy dobry plan, poznanie potoków pasażerskich i odpowiednie sterowanie sygnalizacją świetlną. We Wrocławiu sytuacja poprawiłaby się również poprzez wydzielenie torowisk dla tramwajów na przykład na ulicy Podwale, Jedności Narodowej czy Marii Curie-Skłodowskiej. Koszt takie rozwiązania jest minimalny i ogranicza się do kilku roboczogodzin i puszki z białą farbą.

Te problemy zrozumiała już Warszawa, w nowym planie zagospodarowania przestrzennego dla okolic placu Defilad projektanci szykują prawdziwą rewolucję. Na wszystkich ważniejszych ulicach w pobliżu bezwzględny priorytet ma dostać komunikacja miejska. Największe ograniczenia dla kierowców prywatnych aut szykują na Świętokrzyskiej i w Al. Jerozolimskich. Tu zostanie im tylko jeden pas ruchu w każdą stronę. Obok powstanie wydzielony pas dla autobusów, ścieżka rowerowa i szerszy chodnik. Na Marszałkowskiej kierowców czekają mniejsze ograniczenia - pozostaną po dwa pasy ruchu. Autobusy mają jeździć po torowisku razem z tramwajami. Wzdłuż ulic będzie znacznie więcej zieleni. Na Marszałkowskiej planiści proponują nie tylko po dwa rzędy drzew po obu stronach ulicy i kolejny pośrodku. Niemal w całości wykluczone będzie parkowanie wzdłuż krawężników. Po dwa pasy ruchu zostaną też na ul. Emilii Plater. Na środku znajdzie się tam pas autobusowy i przystanki.

- Jeśli wokół Pałacu Kultury powstaną wieżowce, to dwie linie metra nie wystarczą, żeby obsłużyć ten rejon miasta. Trzeba też postawić na tramwaje i sprawnie poruszające się autobusy.

Uzupełnieniem powinny być ścieżki rowerowe i lepsze niż dziś ciągi dla pieszych. Trzeba zniechęcić kierowców do wjeżdżania do centrum, a równocześnie dać im alternatywę w postaci dobrej komunikacji - wylicza Brzeziński¹⁵.

Wierzę, że ten referat pokazał słuchaczom inne, często tańsze i lepsze, możliwości rozwiązywania tak ważnego dla nas wszystkich problemu.

14 www.tumw.pl

15 Krzysztof Śmietana, *Plan dla ratusza: Centrum bez samochodów*, „Gazeta Stołeczna” 2008.11.21