

Joanna Archutowska
Szkoła Główna Handlowa w Warszawie

Teoretyczne ekonomiczne i pozaekonomiczne cele *congestion pricing*¹

Congestion pricing to narzędzie, które służyć ma rozładowaniu kongestii. Trudno jest jednak w tym przypadku mówić o optymalizacji ruchu drogowego, po pierwsze dlatego, że pobór opłat w czasie rzeczywistym (*ang. real time congestion pricing*), choć technicznie już możliwy, nie pozwala uczestnikom ruchu w sposób racjonalny podejmować decyzji o podróżach; po drugie, ze względu na ułomność rozwiązań typu *second best*; po trzecie dlatego, że cele *congestion pricing* mogą być rozbieżne. W artykule przedstawiono trzy główne podejścia teoretyczne do celów *congestion pricing*, pojawiające się w literaturze ekonomicznej.

Relacje pomiędzy przepustowością, natężeniem ruchu i potokiem ruchu

PRZEPUSTOWOŚĆ INFRASTRUKTURY DROGOWEJ, to jest maksymalna liczba pojazdów, jaka może przejechać przez przekrój poprzeczny drogi w danym odcinku czasu, jest miarą podaży infrastruktury drogowej (Q). Po stronie popytowej odpowiada ona natężeniu ruchu. Faktyczna przepustowość – ze względu na różne ograniczenia ruchu, w tym przepisy ruchu drogowego – nie zawsze odpowiada przepustowości projektowej.

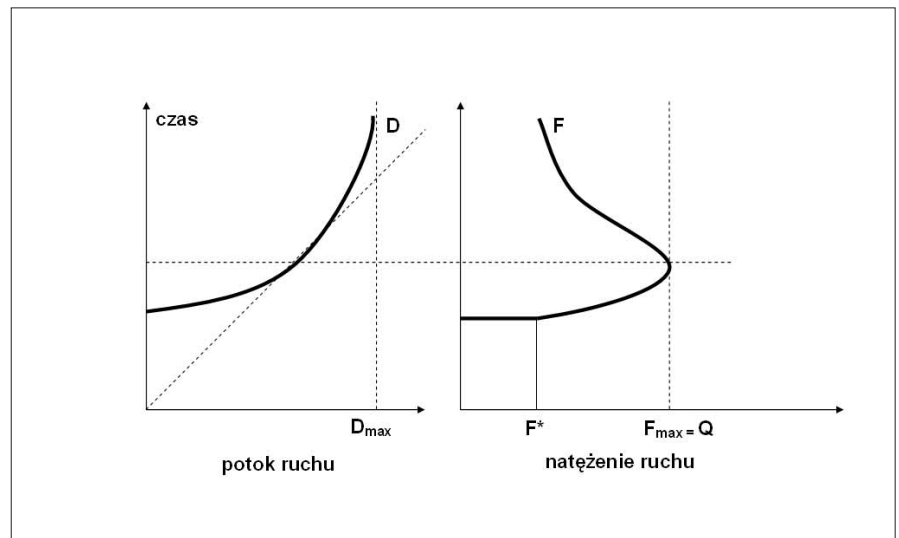
RUCH DROGOWY jest generowany przez popyt na usługi transportowe, jednak faktyczny ruch drogowy na danym odcinku drogi nie odpowiada w pełni popytowi na przejazd w danej relacji. W sytuacji zatłoczenia dróg, część popytu oczekuje na wjazd na trasę, jest zatem więcej chętnych do skorzystania z odcinka drogi, niż wynosi jego przepustowość. W literaturze ekonomicznej taką sytuację, za W. S. Vickreyem, określa się jako „*queuing behind the bottleneck*”.

Dwa podstawowe parametry ruchu, niezbędne w analizie zagadnienia kongestii na drogach, to natężenie ruchu oraz potok ruchu.

NATĘŻENIE RUCHU (*ang. traffic flow*, F) to liczba pojazdów, jaka przejeżdża przez przekrój poprzeczny drogi lub wyjeżdża z drogi w danym odcinku czasu. Najpopularniejszą miarą natężenia ruchu jest średnioroczny dobowy ruch (SDR), czyli średnia na dobę liczba pojazdów, które pokonują przekrój poprzeczny drogi. Średniodobowy ruch podlega wahaniom w zależności od pory roku; na większo-

sobie z problemem zwiększonego ruchu w godzinach szczytowych.

POTOK RUCHU (*ang. traffic density*, D) to liczba pojazdów znajdujących się na danym odcinku drogi, na przykład na 1 km. Istotność parametru „potok ruchu” jako miary wielkości ruchu w analizie kongestii sprowadza się do tego, że natężenie ruchu – również w ujęciu matematycznym – jest pochodną potoku ruchu. Wzrost potoku ruchu oznacza również wzrost natężenia ruchu. Ma to jednak miejsce tylko do pewnej wielkości potoku ruchu, przy której natężenie ruchu jako pochod-



Rys. 1. Zależność pomiędzy potokiem ruchu a natężeniem ruchu.
Źródło: opracowanie własne.

ści dróg jest większy w sezonie letnim niż zimowym. Wyróżnia się ponadto (1) ruch w godzinach szczytu, czyli zwiększone zapotrzebowanie na przepustowość infrastruktury w godzinach dojazdu do pracy oraz z pracy do domu (*ang. commuter traffic*) (2) ruch w godzinach pozaszczytowych oraz pomocniczo (3) ruch w godzinach nocnych. *Congestion pricing* jest traktowane jako narzędzie radzenia

na potoku ruchu osiąga swoje maksimum (F_{max}). Po przekroczeniu tego punktu, przyrost potoku ruchu oznacza spadek natężenia ruchu. Więcej pojazdów wjeżdża na trasę, niż z niej zjeżdża (rysunek 1).

Pomocniczym parametrem ruchu jest prędkość przejazdu oraz czas przejazdu po danej trasie / odcinku drogi. Na pustej drodze prędkość zależy od parametrów technicznych drogi lub regulacji odnoszą-

¹ Dr Joanna Archutowska jest adiunktem w Zakładzie Transportu Międzynarodowego i Logistyki, w Szkole Głównej Handlowej w Warszawie (*przyp. red.*).
² Artykuł recenzowany (*przyp. red.*).

cych się do ruchu na tej drodze. Taki ruch określa się mianem ruchu swobodnego (*ang. free flow traffic*). Jednak od pewnego momentu (na wykresie odpowiadające mu natężenie ruchu oznaczono jako F^*), użytkownicy drogi zaczynają sobie wzajemnie przeszkadzać i prędkość zmniejsza się. Po przekroczeniu przez natężenie ruchu poziomu maksymalnego (F_{max}) prędkość zmniejsza się radykalnie, a samochody poruszają się co chwila zatrzymując się (*ang. stop and go traffic*).

Zależność ta powoduje, że po przekroczeniu przez ruch drogowy natężenia F_{max} po stronie podażowej (przepustowość) mamy do czynienia z cofającą się podażą (*ang. inverse supply*) infrastruktury drogowej³. Im więcej pojazdów na danym odcinku drogi, tym mniejsze możliwe natężenie ruchu.

Kongestia typu I i typu II

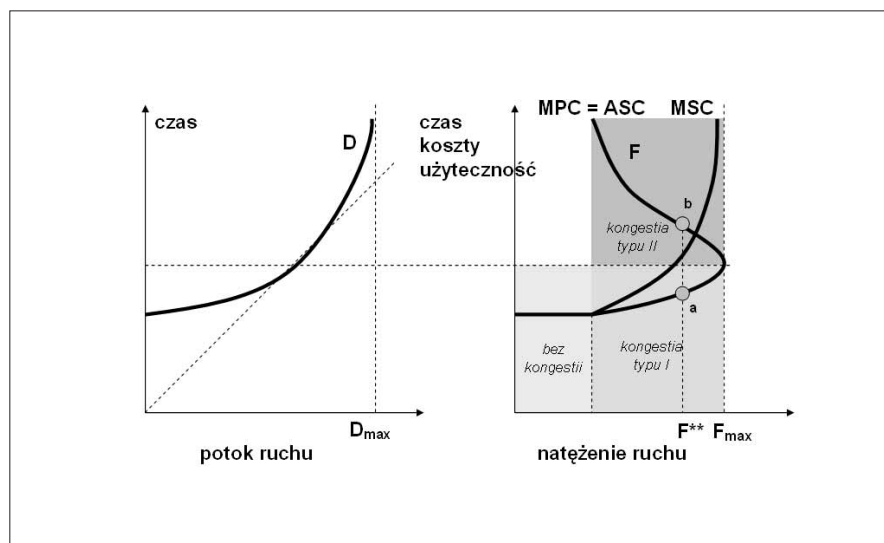
Zależność pomiędzy potokiem ruchu oraz jego natężeniem pozwala na dość precyzyjne zdefiniowanie poziomów

swobodny, nie ma kongestii. W momencie, gdy użytkownicy dróg zaczynają sobie przeszkadzać i spadają rozwijane przez nich prędkości, mamy do czynienia z kongestią typu I. W literaturze z zakresu ekonomiki transportu lub infrastruktury drogowej punkt przejścia ze stanu „bez kongestii” do kongestii typu I nie jest precyzyjnie określony. Sam autor koncepcji granicę tę określa jako liczbę pojazdów na trasie, przy której natężenie ruchu jest bliskie optymalnemu. Tego typu określenie może być mylące ponieważ w zależności od celu optymalizacji ruchu, ruch optymalny może przyjmować różne wartości F (por. poniżej). Ponieważ mowa jest o sytuacji, w której użytkownicy dróg wzajemnie sobie przeszkadzają, można w tym miejscu zaproponować uściślenie zgodne z teorią dóbr publicznych. (Infrastruktura drogowa jest niedoskonałym dobrem publicznym podatnym na kongestię). Mianowicie: o kongestii typu I można mówić wtedy, gdy pojawiają się krańcowe koszty użyteczności w percepcji

nek 2). Ten typ kongestii określane jest w literaturze ekonomicznej jako hiperkongestia (*ang. hypercongestion*).

Ponieważ wraz ze wzrastającym potokiem ruchu spada natężenie ruchu, dochodzi do sytuacji, gdzie to samo natężenie ruchu (F^{**}) może mieć miejsce zarówno w stanie kongestii typu I, jak i kongestii typu II (punkty a i b). W przypadku punktu b ma to jednak miejsce po większych kosztach, niż przy natężeniu ruchu w punkcie a. Można przyjąć wniosek, że zarówno z punktu widzenia racjonalizacji ruchu drogowego, jak i ekonomiki transportu, należałoby co najmniej zapobiegać kongestii typu II.

Standardowa interpretacja tych zależności zakłada również, że krzywa opisująca natężenie ruchu jest jednocześnie krzywą średnich społecznych kosztów podróży (ASC) równym krańcowym kosztem prywatnym podróży (MPC). Krzywa ta opisuje skutki, jakie ma zwiększenie wielkości ruchu na indywidualne koszty podróży, bez uwzględnienia kosztów. Nietypowy kształt tej krzywej po przekroczeniu progu kongestii typu I jest determinowany przede wszystkim przez rosnące koszty czasu. W literaturze teoretycznej natomiast, pomijanie w tym miejscu kosztów paliwa uzasadnia się tym, że koszt paliwa jest wysoki, gdy rozwijane są wysokie prędkości i maleje, gdy zmniejsza się prędkość. Jeśli jednak obniżona prędkość jest skutkiem ruchu z zatrzymaniami (*ang. stop and go*), zużycie paliwa rośnie. Dlatego przyjmuje się, że koszty paliwa nie zależą od parametrów ruchu. Każdy kolejny uczestnik ruchu wjeżdżając na trasę powoduje natomiast powstanie kosztów zewnętrznych u wszystkich innych uczestników ruchu. W analizie ograniczającej się do skutków kongestii przyjmuje się, że chodzi tu o koszty czasu oraz ewentualnie dyskomfort uczestników ruchu, natomiast pomija się koszty wewnętrzne, charakterystyczne dla eksploatacji samochodów, w tym przede wszystkim koszty środowiskowe. Koszty zewnętrzne sumują się i dlatego krzywa społecznych kosztów krańcowych (MSC) ma bardziej stromy przebieg niż krzywe prywatnych kosztów krańcowych. Im bardziej natężenie ruchu zbliża się do swojego maksimum, tym krzywa MSC



Rys. 2. Kongestia typu I i II a parametry ruchu.
Źródło: opracowanie własne.

kongestii. Literatura teoretyczna różni pojęcia „kongestii typu I” i „kongestii typu II” (zaproponowane oryginalnie przez M. B. Johnsona na łamach *Econometrica* w latach 60. ubiegłego stulecia⁴). Podział ten jest rzadko cytowany we współczesnej literaturze, choć zależności, które on przedstawia, są powszechnie opisywane. Gdy ruch jest

użytkowników dróg. Przy założeniu, że użyteczność jest funkcją czasu przejazdu lub rozwijanej prędkości, dodatkowe koszty dla użytkownika pojawią się wtedy, gdy prędkość zacznie się w sposób odczuwalny zmniejszać, a czas przejazdu wydłuży się. Kongestia typu II rozpoczyna się natomiast w momencie, gdy zmniejsza się natężenie ruchu (rys-

³ T. D. Hau, *Economic Fundamentals of Road Pricing: A Diagrammatic Analysis*, Policy research Working Papers, Transport Division Infrastructure and Urban Development Department, The World Bank, 1992, s. 10.

⁴ M. B. Johnson, *On the Economics of Road Congestion*, *Econometrica*, Vol. 32, No. 1/2, (Jan. – Apr., 1964), s. 139.

staje się bardziej pionowa i dąży w nieskończoność, ponieważ przyrost natężenia ruchu jest już technicznie niemożliwy.

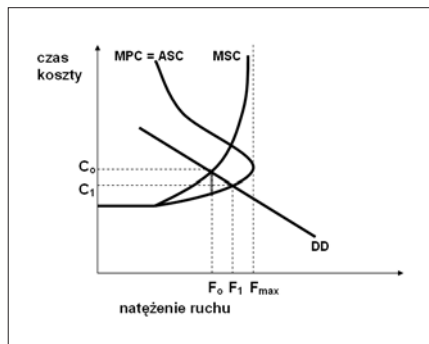
Optymalizacja ruchu drogowego wg rachunku kosztów krańcowych

Za główny cel *congestion pricing* uważa się powszechnie optymalizację ruchu drogowego. Powstaje jednak pytanie: co to jest optymalny ruch drogowy. Dla ekonomisty – w klasycznym ujęciu – optymalny ruch drogowy będzie miał miejsce wtedy, gdy uczestnicy ruchu drogowego będą pokrywali nie tylko swoje koszty, ale również koszty społeczne, które generują dla innych. Dlatego, w sytuacji kongestii (typu I i II), gdzie koszty te „rozchożą się”, wskazane byłoby pobieranie myta (*ang. congestion toll*) w wysokości różnicy pomiędzy kosztami MSC a MPC. Myto ustalone na takim poziomie skorygowałoby ruch drogowy do poziomu optymalnego (rysunek 3).

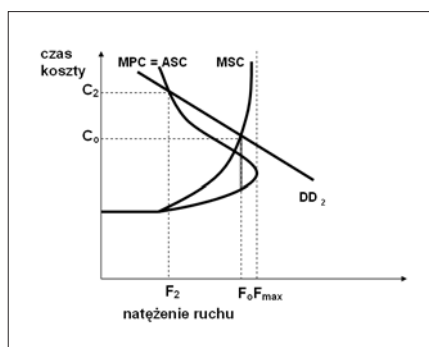
Bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych ruch drogowy osiągnie natężenie F_1 . Po nałożeniu myta w wysokości różnicy pomiędzy prywatnym i społecznym kosztem krańcowym, uczestnicy ruchu drogowego ponosząc będą pełne koszty, które indukują. Dla popytu DD optymalne natężenie ruchu osiągnie poziom F_0 przy kosztach C_0 . Takie podejście do optymalizacji ruchu drogowego ma jednak co najmniej trzy słabe punkty. Po pierwsze, opiera się na założeniu, że wszyscy uczestnicy ruchu jednakowo wartościują koszty czasu. Więcej zyskają jednak ci, których wartość czasu jest wyższa niż przyjęta; stracą ci, których wartość czasu jest niższa i również ci potencjalni uczestnicy ruchu, którzy zrezygnują z podróży o danej porze (*ang. tolled off*). Po drugie, będzie miała miejsce strata dobrobytu dla płacących myto, bo co prawda strata czasu zostanie im „zamieniona” na opłatę, jednak stracą nadwyżkę konsumenta, którą osiągnęli nie płacąc myta. Po trzecie wreszcie, jeśli ruch drogowy bez korekty o myto będzie mieścił się w zakresie definiowanym przez kongestię typu I, wystąpi inny rodzaj straty dobrobytu: z punktu widzenia inżynierii ruchu natężenie ruchu wciąż mogło rosnąć – dobro publiczne, jakim jest infrastruktura drogowa, nie będzie wykorzystane na maksymalnym poziomie.

Analiza komplikuje się bardziej, gdy popyt oraz faktyczny ruch drogowy na danym odcinku znajdują się w sferze kongestii typu II (rysunek 4).

Myto, ustalone na poziomie zaprezentowanym na rysunku 4, pozwala na sprowadzenie natężenia ruchu do sfery kongestii typu I. Jednak, im krzywa popytu będzie miała „wyższy” przebieg, tym



Rys. 3. Optymalne natężenie ruchu po korekcie przy zastosowaniu myta w sytuacji kongestii typu I. Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4. Optymalne natężenie ruchu po korekcie przy zastosowaniu myta w sytuacji kongestii typu II.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Hau T. D., *Economic Fundamentals of Road Pricing: A Diagrammatic Analysis*, Policy Research Working Papers, Transport Division Infrastructure and Urban Development Department, The World Bank, 1992, s. 77.

metodą kosztów krańcowych natężenie ruchu (F_0) będzie korygowane jedynie do poziomu coraz bliższego F_{max} . Co więcej, popyt znacznie przekracza potok ruchu, co oznacza, że duża liczba chętnych „stoi w korku” za analizowanym odcinkiem drogi (*queuing behind the bottleneck*). Pojawia się kolejny problem ustalenia stawki myta dla analizowanego odcinka trasy – popyt ponad liczbę użytkowników, zdefiniowaną jako maksymalny potok ruchu, „wymyka się” z zakre-

su analizy kosztowej tego odcinka. Posługując się nomenklaturą ekonomiki infrastruktury drogowej mamy do czynienia nie z sytuacją typu „*bottleneck congestion*”, ale „*trigerneck congestion*”, czyli zatłoczeniem na drogach dojazdowych do właściwego „wąskiego gardła”. Wskazane byłoby objęcie analizą kosztową oraz systemem opłat „za kongestię” innych odcinków dróg przed analizowanym odcinkiem.

Racjonalizacja ruchu drogowego

Jeden z prekursorów teorii *congestion pricing*, A. A. Walters, wyraził kiedyś opinię, że w przypadku zatłoczonych dróg szybkiego ruchu (*ang. highways*), opłata „za kongestię” ustalana metodą kosztów krańcowych będzie zbyt niska⁵. Będzie to miało miejsce zawsze w przypadku sytuacji zilustrowanej na rysunku 4, a także w przypadku sytuacji z rysunku 3, im bardziej F_0 zbliżać się będzie do F_{max} . Dla przykładu, również i według oryginalnej koncepcji Johnso- na wspomnianej powyżej, ruch optymalny osiąga natężenia bliskie progowej wartości kongestii typu I (F^* na rysunku 1) i jest wynikiem porównania potoku ruchu z natężeniem ruchu, a więc parametrów inżynierii ruchu drogowego. Może więc optymalizacja ruchu poprzez rachunek kosztów nie jest jedynym możliwym celem *congestion pricing*?

Z punktu widzenia parametrów ruchu drogowego, zagadnienie optymalizacji lub racjonalizacji ruchu drogowego można również sprowadzić do odpowiedzi na pytanie, czy ruch optymalny to ruch:

- maksymalnej dopuszczalnej prędkości lub prędkości jej bliskiej. Oznaczałoby to, że poziom ruchu powinien mieć natężenie odpowiadające dolnej granicy kongestii typu I (F^*)
- maksymalnie wykorzystujący przepustowość. Oznaczałoby to, że poziom ruchu powinien zbliżać się do natężenia odpowiadającego górnej granicy kongestii typu I (F_{max})
- optymalizujący jednocześnie prędkość, jak i wykorzystanie przepustowości danego odcinka drogi. Takie podejście oznaczałoby również w przybliżeniu wypośrodkowanie pomiędzy stratami z tytułu dłuższego czasu podróży (niż w sytuacji płynnego ruchu), a stratami

⁵ Walters A. A., *The Theory and Measurement of Private and Social Cost of Highway Congestion*, *Econometrica*, Vol. 29, No. 4, (Oct., 1961), s. 676.

dobrobytu w związku z niewykorzystaniem zdolności przepustowej drogi (jako dobra publicznego).

W zależności od przyjętego kryterium i celu optymalizacyjnego, opłata za kongestię mogłaby być ustalana tak, aby korygować ruch do określonego poziomu. Miałyby więc raczej charakter ceny rynkowej (*ang. market price*), a nie ceny po kosztach (tu: krańcowych, *ang. cost price*).

Dochody operatora infrastruktury oraz *Road Value Pricing*

W literaturze ekonomiki transportu drogowego spotkać jeszcze można trzecie – oprócz internalizacji kosztów oraz racjonalizacji ruchu drogowego – alternatywne podejście do ustalania opłat „za kongestię”. Mimo, że są one opisane przez różnych autorów i w różnych kontekstach, można je sprowadzić do koncepcji *Road Value Pricing* zaproponowanej przez M. Wachsa. Opłaty drogowe powinny przynosić dochody i jednocześnie stymulować zrównoważone i efektywne wykorzystanie infrastruktury drogowej. W tradycyjnej literaturze na temat *congestion pricing* dochody właściciela / operatora infrastruktury są swego rodzaju efektem ubocznym różnych działań optymalizacyjnych.

Skrajnym przypadkiem tego podejścia byłoby wprowadzenie zasad gry rynkowej, gdzie operator infrastruktury byłby zainteresowany maksymalizacją przychodów lub zysków, natomiast użytkownicy dróg – maksymalizacją użyteczności z korzystania z dróg. Wtedy jednak, celem byłaby optymalna alokacja infrastruktury wśród użytkowników dróg (w ekonomice infrastruktury nazywana czasami alokacją typu II, dla odróżnienia od alokacji zasobów w infrastrukturze drogowej zwanej alokacją typu I). Zakładając, że użytkownik drogi oceniając użyteczność podróży patrzy na natężenie ruchu, w tym przede wszystkim czas podróży (również komfort), oraz porę, w której wykonywana jest podróż, a także, że wartość czasu jest różna dla różnych użytkowników o różnych porach na infrastrukturze, można by wprowadzić opłaty będące ceną rynkową infrastruktury o danej porze. Oferowanym i nabywanym „dobrem” byłaby nie tyle przepustowość

infrastruktury drogowej, co możliwość płynnego przejazdu w danym „okienku czasowym”.

Podsumowanie

Opłaty za kongestię mogą być pobierane w różnych celach i różne mogą być też cele optymalizacyjne. Abstrahując od motywów czysto fiskalnych, mogą one być pobierane jako:

- narzędzie racjonalizujące ruch, którego podstawowym celem jest niedopuszczenie do przekroczenia potoku ruchu, który powoduje obniżenie natężenia ruchu. Myto może być nastawione na cel maksymalizacji prędkości podróży lub w drugim skrajnym przypadku – na maksymalizację wykorzystania przepustowości (w tym minimalizację straty dobrobytu) lub na maksymalizację obydwu tych parametrów jednocześnie
- narzędzie internalizujące koszty zewnętrzne dla innych użytkowników drogi w związku z dużym potokiem ruchu lub alternatywnie narzędzie sprowadzające natężenie ruchu do poziomu w którym użytkownicy ponosiliby pełne społeczne koszty kongestii. Z ekonomicznego punktu widzenia internalizacja miałaby miejsce wtedy, gdy użytkownicy kompensowaliby się nawzajem, co nie ma miejsca, bo dochody otrzymuje operator infrastruktury – dlatego drugie określenie wydaje się trafniejsze
- narzędzie gry rynkowej, której przedmiotem byłaby nie tyle „przepustowość”, co „przepustowość w okienku czasowym”.

Streszczenie

Congestion pricing jest metodą radzenia sobie z problemem rzadkości podaży infrastruktury drogowej przede wszystkim w okresach szczytowego ruchu drogowego. Z teoretycznego punktu widzenia opłaty tego typu mogą być ukierunkowane albo na internalizację efektów zewnętrznych, albo na racjonalizację ruchu drogowego, albo na wprowadzenie *quasi* mechanizmu rynkowego, który dostosowywałby popyt na ruch drogowy do istniejącej przepustowości. Co więcej, na sam problem kongestii spojrzeć można z punktu widzenia samej infrastruktury drogowej, która jest rodzajem niedoskonałego dobra pu-

blicznego podatnego na kongestię lub z punktu widzenia całego systemu transportowego, który powinien funkcjonować w sposób zrównoważony. W artykule, w ujęciu teoretycznym, wskazane zostały różne potencjalne ekonomiczne lub pozaekonomiczne cele, którym służyć może *congestion pricing*.

THEORETICAL ECONOMIC AND NON-ECONOMIC REASONS FOR CONGESTION PRICING

Congestion pricing is one of tools aimed at coping with road congestion. An economist would propose here marginal pricing to include social congestion cost. It might be however insufficient from the traffic engineering point of view. For a traffic engineer the question would be whether the optimal traffic is the free flow traffic at higher speeds or opposite the highest traffic volume by lower speeds or an in-between solution. Finally, some economists say that congestion charge should be a market price that serves allocation of road capacity in time slots with road operator's revenue as a side effect. The article explains the theoretical reasoning behind congestion pricing.

LITERATURA

1. Archutowska, J., *Congestion pricing na infrastrukturze drogowej a logistyka miejska*, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 2009, nr 1.
2. Arnott, R., Rave, T., Schöb, R., *Alleviating Urban Traffic Congestion*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 2005.
3. Hau T. D., *Economic Fundamentals of Road Pricing: A Diagrammatic Analysis*, Policy research Working Papers, The World Bank, 1992.
4. Johnson, M. B., *On the Economics of Road Congestion*, *Econometrica*, Vol. 2, No. 1/2, (Jan. – Apr., 1964).
5. McCay, Ch., *Möglichkeiten der privatwirtschaftlichen Finanzierung von Verkehrsinfrastruktur-investitionen in der EG*, Vandhoeck & Ruprecht in Goettingen, 1989.
6. *Road Pricing: Theory and evidence*, red. G. Santos, Elsevier, 2004.
7. Richards, M. G., *Congestion charging in London. The policy and the politics*, Palgrave MacMillan, 2006.
8. Stiglitz, J. E., *Economics of the Public Sector*, II edition, W. W. Norton&Company, 1988.
9. Vickrey, W. S., *Congestion Theory and Transport Investment*, *The American Economic Review*, Vol. 59, No. 2, (May, 1969).
10. Walters, A. A., *The Theory and Measurement of Private and Social Cost of Highway Congestion*, *Econometrica*, Vol. 29, No. 4, (Oct., 1961).