

ZASTOSOWANIE TEORII GIER PRZY ROZWIĄZYWANIU KONFLIKTÓW W ANALIZACH TRANSPORTOWYCH

Jacek Thiem

mgr inż., Biuro Inżynierii Transportu, ul. Wrocławska 10, 61-838 Poznań, tel. +48 61 835 1973, e-mail: thiem@bit-poznan.com.pl

Streszczenie. Teoria gier pomimo wielu przykładów zastosowania w modelowaniu ruchu i analizach transportowych jest narzędziem, po które w Polsce sięga się rzadko. Jest to błędem, zwłaszcza w przypadkach, gdy analizy transportowe dotyczą sytuacji konfliktowych. W artykule zaprezentowano przykład zastosowania teorii gier dla zaprojektowania sieci transportu autobusowego w Poznaniu i sąsiednich gminach w ramach koncepcji integracji transportu publicznego.

Słowa kluczowe: analizy transportowe, teoria gier, integracja transportu, sieć transportu autobusowego

Projektowanie jako rozwiązywanie konfliktów

Przed projektantami stale stawia się za zadanie rozwiązywanie konfliktów, jakie powstają wokół ich prac. Projektowanie to w większym stopniu godzenie różnych interesów niż twórcza praca nad nowymi rozwiązaniami. Zresztą trudno jest rozdzielić te zadania, przykładowo trasowanie nowej drogi wykonywane jest na zasadzie minimalizowania konfliktów, jest więc pewną formą ich rozwiązywania. Występowanie konfliktów nie jest jedynie cechą projektów technicznych. Konflikty towarzyszą pracom projektowym na każdym etapie. Spotkamy je zarówno w studiach komunikacyjnych, programach transportowych, koncepcjach, jak i projektach wykonawczych. Stronami konfliktu mogą być pojedyncze osoby, grupy społeczne, urzędy, firmy, instytucje, a konflikt może być na tyle głęboki, że trudne lub wręcz niemożliwe okaże się znalezienie rozwiązania zadowalającego wszystkie strony. W takim przypadku veto jednej ze stron może zablokować cały projekt.

We wczesnych fazach projektowania na etapie studiów komunikacyjnych, planów transportowych, programów inwestycyjnych – gdy częściej mówimy o planowaniu niż o projektowaniu – konflikty nie są tak wyraźne i głębokie jak w etapach późniejszych. Częściej są to naciski grup interesów pragnących umieścić w projektach korzystne dla siebie rozwiązania. Nie mniej projektant stoi przed dylematem – jakie rozwiązanie przyjąć aby nie budziło sprzeciwu którejkolwiek ze stron?

Na szczęście projektant ma do swojej dyspozycji nie tylko wiedzę, ale również zaawansowane narzędzia matematyczne wspomagające wybór najkorzystniejszych rozwiązań.

W wielu przypadkach studiów, analiz, planów komunikacyjnych, dobrze postawione cele projektu wraz z opisującymi ich spełnienie parametrami, wystarczają dla znalezienia rozwiązania, które będzie zaakceptowane przez wszystkie strony. Komputerowe modele ruchu pozwalają na dostarczenie unikalnych parametrów, jednak doskonale odwzorowujących wpływ projektu na interes poszczególnych grup. Przykładowo interes właścicieli centrum handlowego może być wyrażony poprzez skrócenie czasu dojazdu klientów do tego centrum. Taką informację można otrzymać z modelu ruchu i będzie ona wiarygodna.

Gorzej, gdy interesy poszczególnych grup są wzajemnie sprzeczne.

Teoria gier - teorią konfliktów

Teoria gier to nauka stosunkowo młoda, za datę jej powstania uznaje się wydanie w 1944 roku monografii *Theory of Games and Economic Behavior* (Teoria gier i postępowanie ekonomiczne) przez Johna von Neumanna i Oskara Morgensterna. Początkowo traktowana była jedynie jako zbiór ciekawych rozważań bez praktycznego zastosowania. Dopiero otrzymanie nagrody Nobla przez Johna Nash'a, Johna Harsányi'ego i Reinharda Selten'a za określenie równowagi w grach niekooperacyjnych, skierowało tę naukę na nowe tory. Teoria gier znalazła szerokie zastosowanie [1] w naukach:

- ekonomicznych,
- biologicznych,
- politycznych,
- społecznych czy filozoficznych.

Idee i metody teorii gier stały się narzędziem przy badaniu procesów ewolucyjnych w biologii [2]. W artykule Yarona Hollander'a i Josepha N. Prashker'a [3] znajdziemy wiele przykładów zastosowania teorii gier w analizach transportowych. Autorzy podzielili te przykłady w zależności od charakteru analizowanego konfliktu:

- konflikt między podróżującymi – przykłady zastosowania teorii gier dotyczą modelowania wyboru trasy, wyboru środka transportu czy podjęcia decyzji bądź rezygnacji z podróży,
- konflikt między decydentami (organizatorami transportu) – przykład zastosowania teorii gier do rozwiązania konfliktu o zakres obsługi portów lotniczych przez lotnicze firmy transportowe,
- konflikt między decydentami a podróżującymi – przedstawiono przykłady zastosowania teorii gier do rozwiązania konfliktów związanych m.in. z poborem opłat, wprowadzeniem zmian w organizacji ruchu czy wyboru wariantów rozwiązań drogowych.

W teorii gier za grę uważa się sformalizowany model sytuacji konfliktowej w którym:

- Graczami są strony konfliktu, nieistotne czy są to pojedyncze osoby, grupy osób czy instytucje. Z uwagi na skomplikowanie obliczeń istotne jest aby liczba graczy nie była wysoka, najczęściej przedstawiane przykłady dotyczą gier o dwóch graczach nie mniej teoria gier opisuje również gry z dowolną liczbą graczy.
- Strategie gry to uporządkowane zbiory decyzji podejmowanych przez poszczególnych graczy, których przyjęcie przez gracza ma wpływ na osiągnięty przez niego i przez pozostałych graczy wynik. Każdy gracz musi mieć możliwość wyboru strategii (czyli posiadać minimum dwie strategie).
- Tabela wypłat to zbiór elementów n -wymiarowych (gdzie n jest liczbą graczy) będących uzyskanymi przez graczy wynikami gry, obliczonymi zgodnie z jej zasadami i zależnymi od strategii przyjętych przez poszczególnych graczy. Wielkość zbioru zależy od liczby graczy i liczby strategii z których mogą skorzystać. Tabelę wypłat najczęściej zapisuje się w formie macierzy n -wymiarowych.

Dla praktycznego zastosowania teorii gier kluczową rolę ma twierdzenie o równowadze Nasha. Równowaga Nasha jest podstawowym pojęciem w teorii gier. Opisuje ona racjonalne zachowania graczy, których strategia gry (każdego z nich) jest optymalna uwzględniając określone ustalone wybory jego oponentów. Innymi słowy określa taki plan postępowania uzależniony od wszystkich możliwych sytuacji, gdy żaden gracz działając samodzielnie, nie może – niezależnie od innych – polepszyć swojej sytuacji. W takim przypadku osiągnięta dla graczy równowaga staje się stabilna i żaden z nich nie ma powodów od niej odstępować. Każda niekooperacyjna gra skończona ma przynajmniej jeden stan równowagi Nasha. Za rozwiązanie gry można uznać znalezienie takiego stanu lub stanów.

Odzwierciedleniem równowagi Nasha jest tak zwany punkt siodłowy. W najprostszych grach z dwoma graczami, znajduje się go poprzez znalezienie największej spośród najmniejszych wartości w wierszach tabeli wypłat (tzw. minimaks) oraz najmniejszej spośród największych wartości w kolumnach tabeli wypłat (tzw. maksmin). W bardziej skomplikowanych grach poszukujemy tzw. strategii dominującej, to jest strategii, która daje graczowi najlepszy wynik nie zależnie od tego, jakie strategie zastosują pozostali gracze. Znalezienie strategii dominującej pozwala uprościć grę gdyż zmniejsza liczbę wymiarów tabeli wypłat a to z reguły pozwala na znalezienie punktu siodłowego.

Przykład zastosowania teorii gier w koncepcji integracji transportu

Przykładem zastosowania teorii gier do analiz transportowych jest projekt sieci komunikacji autobusowej wykonany w Biurze Inżynierii Transportu w ramach Koncepcji zintegrowanego systemu publicznego transportu zbiorowego w osi ko-

munikacyjnej Poznań – Murowana Goślina – Wągrowiec – Gołańcz [4]. W wyniku modernizacji linii kolejowej nr 356 na odcinku Poznań Wschód – Wągrowiec, władze położonych przy tej linii jednostek samorządowych (por. rys 1) zauważyły pilną potrzebę integracji systemów transportowych w celu lepszej partycypacji w korzyściach z modernizacji. Zlecono więc wykonanie koncepcji integracji transportu z uwzględnieniem bardzo szerokiego wachlarza działań. Duża liczba podmiotów projektu oraz dziedzin nim objętych, gwarantowała wystąpienie szeregu konfliktów. Autorzy koncepcji szczególną uwagę zwrócili na konflikt powstały między potencjalnymi inwestorami.



Rys.1. Obszar objęty Koncepcją integracji {4}

Zarówno gminy leżące w osi komunikacyjnej Poznań – Wągrowiec – Gołańcz, jak i marszałek województwa partycypują w różnym wymiarze w kosztach wprowadzenia i utrzymania rozwiązań integracji transportu. Różny jest także udział poszczególnych beneficjentów w korzyściach, jakie taka integracja przynosi. Dysproporcja między udziałem w kosztach a udziałem w korzyściach powoduje konflikt. Przy zastosowaniu tradycyjnych metod, autorzy określiliby najlepsze rozwiązanie przy zastosowaniu wybranych kryteriów, a następnie strony przystąpiłyby do negocjacji co do partycypacji w kosztach i korzyściach. Każda gmina, jak i marszałek próbowaliby zapewnić sobie największe korzyści przy minimalizacji kosztów. Takie działanie mogłoby oznaczać fiasko projektu integracji transportu. Można również wyobrazić sobie sytuację, w której każda strona przyjmuje najlepsze dla siebie rozwiązanie, nie przejmując się tym, co zrobią inni. W takim przypadku może okazać się, że korzyści z integracji będą zaniżone lub nie wystąpią wcale. Dlatego autorzy zdecydowali się na inną metodę – znalezienie za pomocą teorii gier, takiego rozwiązania, w którym każda ze stron uzyska dla siebie najlepsze korzyści z uwzględnieniem jednak interesów pozostałych stron konfliktu.

Nakreślenie zasad gry i podstawowych założeń

Koncepcja integracji [4] obejmuje różne zagadnienia związane z organizacją i zarządzaniem transportem. Teorię gier zastosowano do konfliktu związanego z kształtowaniem sieci transportu autobusowego.

Korytarz transportowy Poznań – Wągrowiec – Gołańcz obejmuje:

- linię kolejową której dysponentem jest marszałek województwa,
- sieć linii autobusowych nie organizowanych przez samorządy (w tym PKS),
- sieć linii autobusowych, których dysponentem jest miasto Wągrowiec,
- sieć linii autobusowych, których dysponentem jest gmina Murowana Goślina,
- sieć linii autobusowych, których dysponentem jest gmina Czerwonak,
- sieć linii autobusowych i tramwajowych, których dysponentem jest miasto Poznań.

W uproszczeniu każdy z dysponentów ponosi koszty utrzymania linii transportowych, czerpiąc jednocześnie zyski ze sprzedaży biletów. W sieci zbiorowego transportu publicznego przepływy pasażerskie nie są ograniczone, przykładowo mieszkańcy gminy Czerwonak w swoich podróżach korzystają zarówno z „własnej” komunikacji autobusowej, jak i ze środków transportu publicznego, których gmina nie jest dysponentem, takich jak kolej czy autobusy będące w dyspozycji Poznania i Murowanej Gośliny. Sytuacja taka może mieć dwojaki wpływ na dochody gminy ze sprzedaży biletów:

- niekorzystny w przypadku, gdy mieszkańcy gminy zamiast wybierać „własne” wybierają „obce” linie komunikacyjne,

- korzystny, gdy zwiększona przez innych dysponentów oferta przewozowa powoduje indukowanie dodatkowego ruchu pasażerskiego mieszkańców gminy – ruchu, który częściowo realizowany będzie własną komunikacją.

Łatwo zauważyć, że zmniejszenie wpływu ze sprzedaży biletów jednego dysponenta często oznacza zwiększenie tych wpływów u innego. Jest to więc swoista gra, w której dysponenci zagrywają kwotami przeznaczonymi na koszty utrzymania linii transportowych tak, aby uzyskać jak najlepszy bilans w wyniku sprzedaży biletów i przy uwzględnieniu działań innych dysponentów.

Aby móc przeprowadzić analizę konfliktu za pomocą teorii gier należy ustalić podstawowe parametry gry, czyli liczbę graczy, strategii i sposób generacji tabeli wypłat.

Pierwsze spojrzenie na opisany powyżej konflikt może sugerować, że graczami są wszyscy dysponenci. Jednak po uwzględnieniu poniższych zależności liczbę graczy można zredukować do trzech.

Rozkład jazdy przewozów kolejowych będzie miał zasadniczy wpływ na zmiany w potokach pasażerskich. W tym Koncepcji [4] jest on jednak ustalony a priori – jest więc jedynie daną wejściową w rozpatrywanym konflikcie i eliminuje jako gracza urząd marszałkowski.

Wpływ zmian w wągrowieckiej komunikacji autobusowej na dochody z biletów innych dysponentów jest znikomy, gmina Wągrowiec nie jest więc graczem.

W projekcie sieci autobusowej rozkład jazdy autobusów PKS jest daną wejściową, co podobnie jak w przypadku kolei eliminuje tego przewoźnika jako gracza.

Pozostają więc: gmina Czerwonak, gmina Murowana Goślina, miasto Poznań (gminy Skoki i Gołańcz nie dysponują transportem publicznym).

Kolejną informacją potrzebną z punktu widzenia teorii gier jest - jakie i ile strategii może zastosować każdy z graczy? Słowo „strategia” ma w teorii gier znaczenie nieco odmienne od potocznego. W codziennym życiu słowo to oznacza specjalnie chytry i pomysłowy plan, podczas gdy w teorii gier oznacza dowolny pełny plan. Strategia jest planem na tyle pełnym, że nie może go zmienić działanie przeciwnika lub natury...”. [5] Z uwagi na zakres i charakter podejmowanych zmian w sieciach publicznego transportu zbiorowego strategię, jakie będą rozważali gracze można pogrupować następująco:

- Strategie degresywne – w których po przyspieszeniu kolei gminy zmniejszą zamówienia na przewozy autobusowe (zmniejszą pracę transportową poj. km) do poziomu, który zapewni, że czas podróży publicznym transportem zbiorowym nie wzrośnie. Stosowanie takiej strategii oznacza zmniejszenie nakładów na utrzymanie publicznego transportu zbiorowego w gminie lecz może również oznaczać zmniejszenie przychodów ze sprzedaży biletów.
- Strategie constans – w których gminy pozostawiają zamówienia na przewozy na dzisiejszym poziomie zmieniając jednak rozkład jazdy i marszruty tak, aby bardziej zintegrować własną komunikację autobusową (i/lub tramwajową) z transportem kolejowym. Przy przyjęciu takiej strategii nakłady na utrzymanie publicznego transportu zbiorowego pozostaną takie same, wzrosną natomiast wpływy ze sprzedaży biletów.

- Strategie progresywne – w których gminy zwiększają przewozy, w szczególności wprowadzając nowe połączenia zintegrowane z transportem kolejowym. Stosowanie tej strategii oznacza wzrost nakładów na utrzymanie publicznego transportu zbiorowego.

Ostatnią potrzebną informacją jest tak zwana tabela wypłat. Jest to tabelaryczne zestawienie wyników gry uzyskanych dla każdego w zależności od kombinacji zastosowanych strategii. Możemy rozważyć dwie rozgrywki:

- rozgrywka oparta na bilansie finansowym, w której wynikiem jest bilans kosztów utrzymania komunikacji autobusowej i wpływy z biletów,
- rozgrywka oparta na kosztach społecznych, w której do powyższego bilansu dodaje się koszty czasu użytkowników transportu zbiorowego.

Rozwiązanie konfliktu

Istotą znalezienia właściwych rozwiązań jest nie tyle odszukanie punktu siodłowego, co właściwe wypełnienie tabeli wypłat. W prezentowanym przykładzie mamy zdefiniowane dwie rozgrywki a więc tworzymy dwie tabele wypłat. Każda z tabel jest trzywymiarowa, co odpowiada trzem graczom. Jako, że każdy gracz ma do dyspozycji 3 strategie, ostatecznie więc tabela ma wielkość $3 \times 3 \times 3$. Przy czym komórka tabeli zawiera trzy wartości uzyskiwane przez każdego z graczy.

Wynikiem gry w prezentowanym przykładzie jest wartość pieniężna wynikająca z bilansu finansowego w grze pierwszej i ekonomicznego w drugiej. W celu uzyskania tej wartości konieczne było przeprowadzenie szeregu obliczeń modelowych:

- Pierwszym działaniem było przypisanie poszczególnym strategiom graczy konkretnego kształtu sieci transportu autobusowego. W tym celu dla każdego gracza i każdej strategii zaplanowano kilka wariantów sieci transportu autobusowego a następnie wybrano najlepszy. Kryterium wyboru najlepszego wariantu było dopasowanie do założeń strategii np. w strategii degresywnej wybierano wariant charakteryzujący się najmniejszą pracą transportową nie zwiększający jednak czasu podróży w publicznym transporcie zbiorowym. Obliczenia wykonano z wykorzystaniem modelu podróży w publicznym transporcie zbiorowym za pomocą programu PTV Visum z uwzględnieniem modernizacji linii kolejowej i czynników integrujących transport.
- Następnie zbudowano 27 wariantów sieci publicznego transportu zbiorowego będących kombinacją wariantów sieci odpowiadających strategiom przyjmowanym poprzez poszczególnych graczy. Dla każdego wariantu wykonano zarówno rozkład podróży jak i badanie podziału zadań przewozowych. Podział zadań przewozowych wykonano za pomocą modułu Modal Split programu PTV Visum.
- Ostatnim krokiem było wyodrębnienie informacji o pracy transportowej, liczbie przejazdów realizowanych w autobusach będących w dyspozycji po-

szczególnych gmin oraz czasie podróży w publicznym transporcie zbiorowym mieszkańców poszczególnych gmin. Na podstawie tych informacji obliczono bilans finansowy i ekonomiczny z uwzględnieniem specyfiki transportu w poszczególnych gminach. Wyniki zapisano w tabelach wypłat.

Wybór wariantów w oparciu o teorię gier nie był działaniem skomplikowanym, tabele wyników pozwoliły na wyodrębnienie strategii dominujących. Na przykład w badaniu bilansu finansowego – pierwsza rozgrywka – okazało się, że każdy z graczy najlepszy wynik uzyska, gdy zastosuje strategię degresywną, niezależnie od tego jaką strategię wybrali pozostali gracze. W przypadku badania kosztów społecznych – druga rozgrywka – zauważono, że gmina Murowana Goślina zawsze wybierze strategię degresywną, bo niezależnie od wyborów pozostałych graczy uzyska najlepszy wynik. Wtedy łatwo było znaleźć punkt siodłowy dla Poznania i Czerwonaka. W obu przypadkach wybrano stan odpowiadający stanowi równowagi Nasha.

Wybrano jeszcze trzeci wariant, jednak wybór nie został dokonany w oparciu o teorię gier. Założono, że Poznań będzie musiał zastosować strategię progresywną wymuszoną przez realizację zamierzonych inwestycji. W takim przypadku dobrano najlepiej pasujące strategie Czerwonaka i Murowanej Gośliny.

Ostatecznie wybrano warianty:

- ekonomiczny w którym gminy przyjmują następujące strategie: Poznań – degresywną, Czerwonak – degresywną, Murowana Goślina – degresywną,
- społeczny w którym gminy przyjmują następujące strategie: Poznań – constans, Czerwonak – constans, Murowana Goślina – degresywną,
- docelowy w którym gminy przyjmują następujące strategie: Poznań – progresywny, Czerwonak – constans, Murowana Goślina – constans.

Wariantom przyjętych strategii odpowiadały warianty kształtu sieci transportu autobusowego.

Wnioski

1. Teoria gier znajduje szerokie zastosowanie w modelowaniu i analizach transportowych. Można za jej pomocą zarówno opisywać zależności w ruchu drogowym jak i rozwiązywać konflikty powstałe wokół zagadnień związanych z transportem. W Polsce projektanci i specjaliści od transportu zbyt rzadko sięgają po teorię gier jako narzędzie w analizach i projektach transportowych.
2. Zastosowanie teorii gier szczególnie przydatne jest przy analizach transportowych w których można spodziewać się wystąpienia sytuacji konfliktowych, a co gorsza konflikt może zdeterminować działania poszczególnych stron uniemożliwiając znalezienie wspólnego rozwiązania.
3. Wybór rozwiązań za pomocą teorii gier jest diametralnie różny od metod tradycyjnych np. analizy wielokryterialnej. W teorii gier nie szuka się najlepsze-

- go rozwiązania z punktu widzenia postawionych kryteriów, tylko szuka się rozwiązania które zadowolili wszystkie strony ewentualnego konfliktu.
4. Zaprezentowany przykład udowadnia, że za pomocą teorii gier w nieskomplikowany sposób można znaleźć rozwiązania konfliktu interesu między jednostkami samorządowymi. Przedstawiona Koncepcja [4] znalazła poparcie wśród skonfliktowanych gmin i jest aktualnie wprowadzana w życie. Ten drobny sukces jest szczególnie ważny w świetle konieczności uchwalenia przez jednostki samorządowe planów transportowych. Należy spodziewać się, że na etapie sporządzania i uchwalania planów narodzi się cały szereg konfliktów, których nie będzie można rozwiązać tradycyjnymi metodami.

Literatura

- [1] Teoria gier – gaur, T. Rostański, M. Drozd – publikacja internetowa – www.giaur.qs.pl
- [2] Wstęp do teorii gier – Tadeusz Patkowski – Uniwersytet Warszawski 2012.
- [3] The applicability of non-cooperative game theory in transport analysis – Yaron Hollander – Joseph N. Prashker – Springer Science + Business Media B. V. 2006r.
- [4] Koncepcja zintegrowanego systemu publicznego transportu zbiorowego w osi komunikacyjnej Poznań – Murowana Goślina – Wągrowiec – Gołańcz. BIT sp.j. Poznań – Stowarzyszenie Jednostek Samorządu Terytorialnego „Komunikacja” Wągrowiec 2011r.
- [5] Williams J.D., Strateg doskonały – Wprowadzenie do teorii gier. Państwowe Wydawnictwo Naukowe; Warszawa 1965.

