

ANALIZA WYMUSZEŃ PIERWSZEŃSTWA PRZEJAZDU NA SKRZYŻOWANIACH Z PUNKTU WIDZENIA TEORII GIER

Założenie, że każdy uczestnik ruchu drogowego przestrzega przepisów, idealnie dostosowuje swoje zachowanie do warunków panujących na drodze, jest nierealistyczne, a jako podstawa podejmowania działań może doprowadzić do kolizji i wypadku. W artykule przedstawiono modele teoriogrowe pozwalające zrozumieć zachowania kierowców, którzy umyślnie wymuszają pierwszeństwo przejazdu, a ich jedyną motywacją jest jak najkrótszy czas przejazdu przez skrzyżowanie. Rozważane są dwa rodzaje sytuacji na skrzyżowaniach: z ruchem kierowanym i niekierowanym ze znakiem STOP. Przedstawione modele matematyczne zilustrowano dostępnymi w Internecie nagraniami rzeczywistych zachowań kierowców.

WSTĘP

Przyczyny zdarzeń drogowych są wieloaspektowe – często trudno wskazać jedną, decydującą ich przyczynę – zwykle mówi się o (niekorzystnym) splocie okoliczności. Jednym z powodów zdarzeń drogowych jest wymuszenie pierwszeństwa przejazdu. Obserwacje rzeczywistych zachowań kierowców [12, 13, 14, 15] pokazują, że wymuszenie pierwszeństwa na skrzyżowaniu dróg nierównorzędnych mogą, ale nie muszą powodować kolizji lub wypadku. Celem pracy jest dokonanie analizy teoretycznej takich zachowań kierowców na skrzyżowaniach.

Pełna analiza zachowań kierowców na skrzyżowaniu powinna uwzględnić zachowania innych uczestników ruchu drogowego, a nie tylko przepisy ruchu drogowego, oznakowania i sygnalizację świetlną. Nie wszyscy przestrzegają przepisów ruchu drogowego – jedni czynią tak z przyczyn nieumyślnych (np. niezauważenie znaku), inni z przyczyn umyślnych (zachowania ignorujące znaki, sygnalizację świetlną). Można by twierdzić, że gdyby wszyscy kierujący przestrzegali przepisów ruchu drogowego, to nie dochodziłoby do wypadków spowodowanych umyślnie. W istocie jest to stwierdzenie tautologiczne. Problem, którego dotyczy ten artykuł, obejmuje sytuacje, w których kierowcy nie ustępują pierwszeństwa przejazdu.

Przepisy prawa o ruchu drogowym, znaki drogowe i sygnalizacja świetlna nie dają żadnej gwarancji bezkolizyjnego przejazdu samochodem.

W artykule rozważane będą jedynie umyślne zachowania kierowców, którzy zamierzają przejechać przez skrzyżowanie w jak najkrótszym czasie (pominięte więc zostaną zachowania kierowców nastawionych na wypadek lub kolizję drogową z innymi uczestnikami ruchu drogowego). Dla takich kierowców zderzenie się samochodów jest mniej korzystne niż przejazd bezkolizyjny, ponieważ zdarzenie drogowe wydłuża czas przejazdu (a niekiedy go wręcz uniemożliwia). Skutki zderzenia pojazdów mogą dotyczyć również innych uczestników ruchu drogowego, jak na przykład pieszych oczekujących na przejście przez skrzyżowanie. Okoliczności te również mogą odgrywać rolę w rzeczywistych zachowaniach kierowców, jednakże w niniejszych rozważaniach zostały pominięte.

W analizie przyjęto, że kierowcy nie tylko dopuszczają to, że sami mogą nie przestrzegać prawa drogowego, ale również to, że inni kierowcy również mogą nie przestrzegać przepisów. Na rozdźwięk między prawem drogowym a zwyczajem zwrócono uwagę

w pracy [2]. W pracy tej badano zachowania rowerzystów, którzy przemierzali się przez przejście dla pieszych. Pomimo, że przejeżdżanie rowerem na przejściu dla pieszych jest zabronione w Norwegii, na osiedlach, gdzie mieszka dużo ludzi młodych, kierowcy samochodów zwyczajowo ustępują im pierwszeństwa, a na osiedlach, gdzie mieszka więcej ludzi starszych kierowcy zwyczajowo nie ustępują tak często pierwszeństwa rowerzystom.

W analizie pominięte zostały kwestie mandatów oraz problemy moralne i psychologiczne związane z zachowaniami niezgodnymi z przepisami ruchu drogowego, gdyż wykracza to poza ramy artykułu. Z tego samego powodu pominięte zostały kwestie psychologiczne. Być może niektórzy kierowcy w sytuacjach rzeczywistych zamierzają wymusić pierwszeństwo przejazdu, by dokonać próby samobójczej, okaleczyć się, „poczuć adrenalinę”, wyłudzić ubezpieczenie itd. Niewątpliwie jednak pełny obraz wymuszeń pierwszeństwa przejazdu z całą pewnością powinien zawierać również te kwestie.

Do modelowania sytuacji wymuszeń przez kierowców z zastrzeżeniami poczynionymi powyżej została użyta teoria gier z tego powodu, że – jako teoria decyzji – uwzględniła to, że wypadkowy stan rzeczy nie jest efektem wyłącznie jednostronnej decyzji i działania jednego decydenta, lecz wypadkową działań wszystkich osób uczestniczących w danej sytuacji oraz czynników losowych zwanych w teorii gier Naturą. Rozważając wpływ czynnika ludzkiego na przebieg zdarzeń wyróżnia się trzy grupy: strategiczne, taktyczne i operacyjne. [3, 5] Podjęta analiza dotyczy zachowań strategicznych, pominięte zostaną kwestie taktycznego manewrowania pojazdem czy umiejętności kierowców do kierowania pojazdem mechanicznym – zakłada się, że nie mają one żadnego wpływu na przebieg sytuacji.

1 KRÓTKO O GRACH

Rozważane w artykule gry są stosunkowo proste i ich podstawy są szeroko omawiane w literaturze [1, 9, 11]. Dla porządku przytoczone zostaną podstawowe informacje.

W grach będzie dwóch graczy – kierowców. W szczególności graczem nie jest Natura, co oznacza, że stan Natury jest znany przez kierowców i można przyjąć, że się nie zmienia w czasie. Jako ustalone przyjmować się będzie kierunek jazdy, zaś strategiczne decyzje kierowców będą dotyczyć ich szybkości. Każdy z graczy będzie miał do wyboru jedną spośród najwyżej 4 strategii. Powodem takiego ograniczenia jest częściowe odzwierciedlenie procesu decyzyjnego kierowcy w czasie rzeczywistym.

Profil gry jest wybór konkretnych strategii przez graczy. Dla każdego profilu gry wyznaczone są wypłaty, które są znane dla obu graczy i mogą je uwzględniać przy podejmowaniu swoich decyzji.

Wypłatami graczy w rozważanych grach są liczby porządkowe. W skali porządkowej wypłaty są wyznaczone zgodnie z zasadą preferencji (względnej korzyści) i są porównywane jedynie w odniesieniu do jednego gracza [9]. Porównywanie liczb porządkowych między graczami może nie mieć sensu. Dla przykładu, zderzenie samochodów z dużymi szybkościami jest gorsze niż zderzenie, gdy jeden z nich ma nieco mniejszą szybkość. Jeśli wypłaty graczy w pierwszej sytuacji wynoszą (1,1), to w drugiej będą (2,2). Jeśli pierwszy gracz jest kierowcą samochodu osobowego, a drugi kierowcą samochodu ciężarowego, to „1” dla pierwszego kierowcy może oznaczać ciężkie obrażenia ciała i doszczętnie zniszczony samochód, a „2” – liczne obrażenia ciała i również zniszczony samochód, podczas gdy dla drugiego kierowcy „1” może oznaczać drobne okaleczenia kierowcy oraz poważnie uszkodzony samochód, zaś „2” – wyłącznie uszkodzony samochód. Widać, że „2” u pierwszego gracza jest gorsza niż „1” dla drugiego – tym nie mniej obaj uznają, że wypłata 1 jest gorsza niż wypłata 2 i dlatego korzystniejsze jest zderzyć się z mniejszymi szybkościami (gdyby wypłatami graczy były liczby kardynalne, wówczas należałoby każdej sytuacji przyporządkować wartości bezwzględne, uwzględniające czas przejazdu i ewentualnie poniesione straty materialne, uszczerbek na zdrowiu czy utratę życia).

Rozwiązaniem gry jest równowaga Nasha. Profil strategii jest równowagą Nasha, gdy strategia każdego gracza jest najlepszą odpowiedzią na strategię drugiego gracza. Czasami wymaga się, by rozwiązanie gry było paretooptymalne. Wynik gry jest nieoptymalny w sensie Pareto, jeśli gra ma inny wynik, dający obu graczom wyższe wypłaty lub jednemu z nich taką samą, a drugiemu wyższą. Wynik jest optymalny w sensie Pareto, jeśli takiego innego wyniku nie ma.

Ze względu na to, że wypłaty w grach są liczbami porządkowymi, więc nie ma sensu rozpatrywać tak zwanych mieszanych strategii. W strategiach czystych gra może nie mieć równowagi Nasha, może mieć jedną równowagę Nasha lub może mieć więcej niż jedną równowagę Nasha.

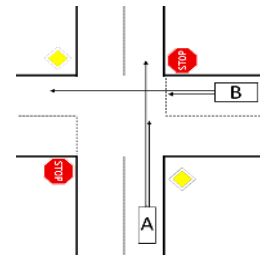
Wiele sytuacji drogowych zmienia się szybko w czasie, zaangażowanych jest dużo podmiotów podejmujących decyzje i działania, stąd pozyskanie wszystkich informacji o rzeczywistości nawet w okrojonym zakresie (np. skrzyżowaniu i jego najbliższej okolicy) jest zwykle nieosiągalne. Osoby podejmujące decyzje mogą nie dysponować w pełni wiarygodnymi informacjami, które są podstawą dalszego ich (racjonalnego) przetwarzania. Istotnym składnikiem w podejmowaniu własnych decyzji jest przewidywanie decyzji i działań podejmowanych przez innych. Niewielka liczba możliwych decyzji ma odwzorowywać rzeczywisty proces decyzyjny użytkownika drogi [2]. Dyskretne wartości szybkości są z pewnością daleko idącym uproszczeniem, jednak nawet takie uproszczenie pozwala na wyciągnięcie pewnych wartościowych wniosków.

W rozważanych grach nie uwzględniono wpływu Natury na efekty działań kierowców. Uwzględnienie jej w racjonalnym podejmowaniu decyzji całą kwestię by skomplikowało. Ponieważ w artykule nastawiono się na prostotę i możliwość odwzorowania pewnego prostego modelu decyzyjnego kierujących, dodanie czynnika stochastycznego (z rozkładami probabilistycznymi) uczyniłoby cały wywód mniej czytelnym. Tego rodzaju modele z powodzeniem można stosować w symulacjach opartych na teorii gier, np. w pracy [10] badano problem zmiany pasa ruchu, gdzie też mogą występować wymuszenia pierwszeństwa.

2 PRZYKŁADOWE GRY

2.1 Gra 1

Przed skrzyżowaniem (Rys. 1) w równych odległościach znajdują się kierowcy A i B, których ich pojazdy mają te same długości (np. 4,2m). Równocześnie i niezależnie od siebie wybierają jeden ze sposobów (strategii) przejazdu przez skrzyżowanie: S1 – S4, gdzie S1 oznacza zatrzymać się przed skrzyżowaniem, S2 – jechać z szybkością u_1 (np. 9 m/s = 32,4 km/h), S3 – jechać z szybkością u_2 (13 m/s = 46,8 km/h), S4 – jechać z szybkością u_3 (17 m/s = 61,2 km/h), przy czym $u_1 < u_2 < u_3$. Z racji długości pojazdów, ich równej odległości od skrzyżowania do zderzenia dojdzie, gdy obaj mają taką samą szybkość lub gdy jeden z nich jedzie z szybkością u_1 , a drugi z u_2 , lub gdy jeden jedzie z szybkością u_2 , a drugi z szybkością u_3 .



Rys. 1. Skrzyżowanie w grze 1 (oprac. własne).

Skutki ich zachowań zależą od szybkości pojazdów. Jeśli się zderzą, to im większe szybkości, tym mniej korzystny skutek: najmniej korzystny dla obu graczy jest profil (S4, S4), profile (S3, S4) i (S4, S3) są korzystniejsze niż (S4, S4), a od nich (S3, S3), a te z kolei od (S2, S2). Przyjęto, że wypłaty w profilach (S3, S4) i (S4, S3) oraz (S2, S3) i (S3, S2) są takie same. Profil (S1, S1) jest korzystniejszy niż (S2, S2), gdyż nie dochodzi do kolizji. Jeśli B się zatrzymał, to im szybciej przez skrzyżowanie przejedzie A, tym krócej będzie czekał – stąd taka kolejność wypłat gracza B w profilach (S1, S1), (S2, S1), (S3, S1), (S4, S1) – i analogicznie w profilach (S1, S2), (S1, S3), (S1, S4). Najkorzystniejszymi dla A są profile (S4, S1) i (S4, S2), gdyż przejazd przez skrzyżowanie zajmuje mu najmniej czasu, a to czy B się zatrzyma czy będzie jechał powoli, jest mu obojętne. Podobne preferencje będą dla B w przypadku profili (S1, S4) i (S2, S4). Uwzględniając powyższe, otrzymuje się tabelę wypłat dla gry.

Tab. 1. Tabela wypłat w grze 1 (oprac. własne).

		Kierowca B jako B'			
		S1	S2	S3	S4
Kierowca A	S1	(6, 6) +	(7, 10)	(8, 13)	(9, 13)
	S2	(10, 7) +	(5, 5)*	(4, 4)*	(11, 13)
	S3	(12, 8) +	(4, 4)*	(3, 3)*	(2, 2)*
	S4	(13, 9) +	(13, 11)	(2, 2)*	(1, 1)*

W tabeli gwiazdkami oznaczono zdarzenia drogowe, a znakami plus sytuacje zgodne z przepisami ruchu drogowego.

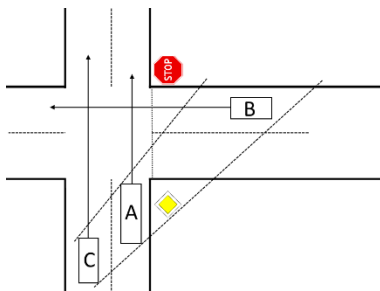
Gra ta ma dwie równowagi Nasha: (S4, S2) oraz (S2, S4). Są to również rozwiązania paretooptymalne. Teoria zaleca, aby jeden z kierowców przejechał przez skrzyżowanie wolno (S2), a drugi szybko (S4) – wówczas przejazd przez skrzyżowanie będzie optymalne ze względu na czas. Rozwiązania te są niezgodne z przepisami ruchu drogowego. W przypadku (S2, S4) kierowca B narusza prawo, nie zatrzymując się przed znakiem B20 „Stop” i wymuszając pierwszeństwo przejazdu, a w przypadku (S4, S2) B narusza prawo, nie zatrzymując się przed znakiem B20 „Stop”. Najkorzystniejszy profil dla A, zgodny z przepisami, jest (S4, S1), tj. taki, w którym B się zatrzymuje.

Dążąc do uzyskania jednej z równowag Nasha kierowcy A i B mają do wyboru strategię S2 i S4. W przypadkach (S2, S2) i (S4, S4)

dochodzi do zderzenia pojazdów. Na nagraniu [12] ze skrzyżowania DK 38 i DK 46 w Reńskiej Wsi widać takie zderzenie.

Można by zadać pytanie, jak by się zachowywali jadący główną drogą, gdyby jadący drogą podporządkowaną wymuszali pierwszeństwo. Jedną z sugerowanych odpowiedzi jest to, że mogłaby się ustalić właśnie równowaga (S2, S4), zamiast (S4, S2). Uzasadnienie jest następujące. Kierowca A powinien przy podejmowaniu swojej decyzji wziąć pod uwagę to, że B może wybrać S3 lub S4. Jeśli A też wybierze S3 lub S4, to dojdzie do kolizji. Zatem dla A korzystniejsze jest wybrać S2 lub S1, gdyż wtedy nie dojdzie do kolizji.

Generalnie zakłada się, że gracze grają z innymi graczami w gry świadomie. Jednakże prezentowany model można użyć do sytuacji opisanej w pracy [7] – poglądowo pokazanej na Rys. 2. Pojazd C wyprzedza pojazd A, ale B go nie widzi.



Rys. 2. Skrzyżowanie w grze 1 (oprac. własne).

Kierowca B gra w grę 1 z A – ponieważ A jedzie wolno (S2), B zdecydował się na (S4) – kierowcy uzyskują równowagę Nasha (S2, S4). Jednocześnie B rozgrywa tę grę z C, który wybrał szybką jazdę (S4) – dochodzi do zderzenia pojazdów B i C: (S4, S4).

2.2 Gra 2

W tej odmianie Gry 1 kierowca A ma do wyboru działania S1 – S4, a kierowca B jedynie S3 i S4. Ta gra odpowiada sytuacji, w której B jedzie szybko (z szybkością u_3 i A widzi, że B jedzie szybko i że może zwolnić, ale nieznacznie (do u_2). Pojazdem B może być rozjeżdżona ciężarówka, natomiast kierowca A prowadzi samochód osobowy, który jest w stanie się zatrzymać przed skrzyżowaniem.

Tab. 2. Tabela wypłat w grze 2 (oprac. własne).

		Kierowca B	
		S3	S4
Kierowca A	S1	(6, 5)	(7, 6)
	S2	(4, 4)*	(8, 6)
	S3	(3, 3)*	(2, 2)*
	S4	(2, 2)*	(1, 1)*

Równowagą Nasha w tej grze jest profil (S2, S4), jest on pareto-optimalny. W takiej sytuacji to kierowca A powinien albo zwolnić (S2) albo zatrzymać się przed skrzyżowaniem (S1), pomimo że ma pierwszeństwo przejazdu.

2.3 Gra 3

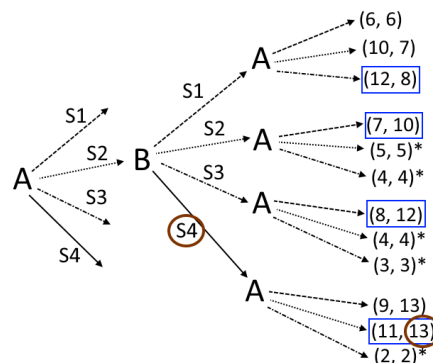
Kierowcy swoją jazdą pokazują swoje decyzje. Te decyzje mogą nieznacznie modyfikować w czasie dojeżdżania do skrzyżowania.

Gra 3 jest grą, która te modyfikacje działań kierowców modeluje. Jest to gra trzyetapowa, bazująca na grze 1. Najpierw A wybiera jedną ze strategii S1 – S4, następnie B znając tę strategię, wybiera jedną ze strategii S1 – S4, a na koniec A, znając wybór B, dokonuje ostatecznej decyzji zgodnie z regułą przedstawioną w Tab. 3.

Tab. 3. Możliwe zmiany pierwszego wyboru przez A w grze 3 (oprac. własne).

Pierwszy wybór A	Możliwy drugi wybór A
S1	S1, S2
S2	S1, S2, S3
S3	S2, S3, S4
S4	S3, S4

Równowagi Nasha w tej grze ustala się za pomocą indukcji wstecznej. Jeśli A wybierze na początku strategię S2, to B może wybrać jedną spośród S1 – S4. Na te strategie A ma najlepsze odpowiedzi, pokazane na rysunku 4. Kierowca B, wiedząc, jak zagra A, może wybrać takie działanie, które da mu największą korzyść – spośród profili zaznaczonych ramką. Najlepszą odpowiedzią B na S2 zagrane przez A jest zatem S4. Otrzymany profil (S2-S1, S4) jest równowagą Nasha w tej grze.



Rys. 3. Fragment postaci ekstensywnej gry 3, gdy A wybierze na początku S2 (oprac. własne).

Podobnie rozumiemy w przypadku pozostałych strategii pierwszego wyboru. Tabela 4 pokazuje wyniki rozumowania. Wypłaty uwzględniają tylko preferencje w czasie przejazdu przez skrzyżowanie – pierwszy wybór A można potraktować jako wybór dotyczący czasu dojazdu do skrzyżowania lub zasygnalizowanie kierowcy B swojego zamiaru przejazdu przez skrzyżowanie.

Tab. 4. Wybrane profile strategii w grze 3 (oprac. własne).

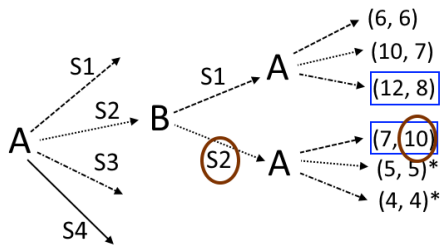
Pierwszy wybór A	Wybór B	Ostateczna decyzja A	Profil	Wypłaty
S1	S4	S2	(S1-S2, S4)	(11, 13)
S2	S4	S2	(S2-S2, S4)	(11, 13)
S3	S4	S2	(S3-S2, S4)	(11, 13)
S4	S4	S2	(S4-S2, S4)	(11, 13)

W tej grze są 4 równowagi Nasha: (S1-S2, S4), (S2-S2, S4), (S3-S2, S4) i (S4-S2, S4). W każdym przypadku B wybiera S4. Jeśli zatem A jest „elastyczny” w swoich działaniach i B o tym wie, zaś B jest „niezmienny” w swoich działaniach i A o tym wie, to rozwiązaniami gry będą takie profile, w których B wybiera S4, czyli wymusza pierwszeństwo przejazdu, zaś A ostatecznie wybiera S2.

Jeśli odwrócić role A i B, to „niezmiennność” zachowania A (jadącego główną drogą) przy jednoczesnej „elastyczności” zachowania B, będzie powodować, że B będzie ustępował pierwszeństwa przejazdu, choć nie będzie się zatrzymywał.

2.4 Gra 4

Rozważmy wariant gry 3, w którym B na pierwsze zachowanie A może odpowiedzieć jedynie S1 albo S2.



Rys. 4. Fragment postaci ekstensywnej gry 4, gdy A wybierze na początku S2 (oprac. własne).

Tabele wypłat w tej grze wyznacza się podobnie, jak w grze 3.

Tab. 5. Wybrane profile strategii w grze 4 (oprac. własne).

Pierwszy wybór A	Wybór B	Ostateczna decyzja A	Profil	Wypłaty
S1	S2	S1	(S1-S1, S2)	(7, 10)
S2	S1	S3	(S2-S3, S1)	(12, 8)
S3	S2	S4	(S3-S4, S2)	(13, 11)
S4	S2	S4	(S4-S4, S2)	(13, 11)

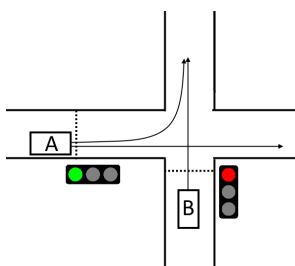
W tej grze są dwie równowagi Nasha (S3-S4, S2) oraz (S4-S4, S2). B w żadnej z tych równowag nie wymusza pierwszeństwa przejazdu. W tych stanach równowagowych B – wybierając S2 – „zachęca” A do jazdy szybkiej (S4), gdyż jakkolwiek inny wybór dokonany przez A skończyłby się zderzeniem.

Gra 4 w zestawieniu z grą 3 sugeruje, że aby kierowcę B zmusić do ustąpienia pierwszeństwa (choć niekoniecznie zatrzymania się), należy uniemożliwić mu szybką jazdę, przy czym to ograniczenie musi być wiadome dla A.

Warto przyjrzeć się jednemu nieoptymalnemu profilowi: (S1-S2, S2). Gdyby A wybrał na początku S1, to B wybrałby S2. Gdyby teraz A zdecydował się na S2, to doszłoby do zderzenia.

2.5 Gra 5

Gdy na skrzyżowaniu obowiązuje sygnalizacja świetlna, sytuacja na skrzyżowaniu zmienia się dynamicznie w czasie. Na drodze kierowcy B zmienia się światło z żółtego na czerwony, natomiast kierowcy A zapala się światło zielone. Na początku sytuacji A stoi w dużym oddaleniu od drogi, którą jedzie B, natomiast B jest w trakcie ruchu.



Rys. 5. Skrzyżowanie do gry 5 (oprac. własne).

W tej grze kierowca A ma do wyboru dwa działania: S5 – przyspieszyć nieznacznie i S6 – przyspieszyć znacząco. Kierowca B ma 4 możliwe działania takie, jak w grze 1. W szczególności B może się zatrzymać przed skrzyżowaniem. Wartości przyspieszeń, szybkości, odległości i czasów są tak dobrane, że do kolizji samochodów dojdzie, gdy A wybierze S6, zaś B – S2. Dla kierowcy B profil (S5, S1) jest mniej korzystny niż profil (S1, S6), gdyż dłużej czeka na przejazd A oraz dlatego, że B ignoruje sygnalizację świetlną. Profile (S5, S3) i (S6, S3) są dla B równie korzystne, gdyż przejeżdża przed A, podobnie profile (S5, S4) i (S6, S4), z tym, że z większą szybkością.

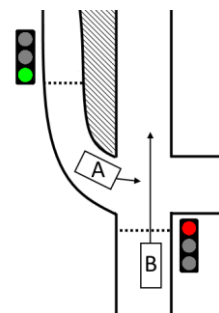
Tab. 6. Tabela wypłat w grze 5 (oprac. własne).

		Kierowca B			
		S1	S2	S3	S4
Kierowca A	S5	(2, 2) +	(2, 4)	(2, 5)	(2, 6)
	S6	(3, 3) +	(1, 1)*	(3, 5)	(3, 6)

Jedyną równowagą Nasha w tej grze to (S6, S4), jest ona paretooptimalna. Kierowca B narusza prawo, gdyż wjeżdża na skrzyżowanie na czerwonym świetle. B chce zdążyć przed A. Kierowca A się rozpędza, dzięki czemu szybciej przejeżdża przez skrzyżowanie. Takie sytuacje nagrano w lutym 2014 r. w Wejherowie na skrzyżowaniu ulic Orzeszkowej i Gdańskiej [13].

2.6 Gra 6

W tej grze A i B jadą powoli i widzą się nawzajem (Rys. 6). Każdy z nich może się zatrzymać (S1) lub jechać (S2). Gdy obaj będą jechać, to się zderzą (nastąpi kolizja). Ze względu na łuk drogi A nie może przyspieszyć znacząco.



Rys. 6. Skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną (oprac. własne).

W tej grze kierowca B bierze pod uwagę przejazd na czerwonym świetle, dlatego profil (S1, S1) jest dla niego mniej korzystny niż (S2, S1), dlatego, że będzie krócej czekał na przejazd A. Gdyby B nie zamierzał przejeżdżać na czerwonym świetle, to te dwie sytuacje byłyby dla niego równie korzystne.

Tab. 7. Tabela wypłat w grze 6 (oprac. własne).

		Kierowca B	
		S1	S2
Kierowca A	S1	(2, 2) +	(3, 4)
	S2	(4, 3) +	(1, 1)*

Ta gra ma dwie paretooptimalne równowagi Nasha: (S1, S2) oraz (S2, S1), obie są. W drugiej z nich B narusza prawo, gdyż wjeżdża na skrzyżowanie na czerwonym świetle. Takie sytuacje zaobserwowano w roku 2015 na skrzyżowaniu ulic J. Sobieskiego i Jana Pawła II w Jeleniej Górze [14].

PODSUMOWANIE

Każdy model ma swoje ograniczenia, więc przedstawione w pracy modele również zawierają uproszczenia, które nie pozwalają na pełne zrozumienie problemu wymuszania pierwszeństwa na skrzyżowaniach. Nie mniej jednak, z przeprowadzonych analiz teoretycznych można wyciągnąć kilka wniosków.

Rozpatrywane gry miały przynajmniej jedną równowagę Nasha. Każda z równowag Nasha była paretooptimalna. Przy dążeniu do osiągnięcia równowagi Nasha gracze mogą osiągnąć wynik dla siebie niekorzystny: mogą spowodować kolizję lub wypadek. Gra 1 pokazuje sytuację, w której z powodu istnienia dwóch równowag Nasha, występuje ryzyko zdarzenia drogowego, jeśli kierowca nie ustąpi pierwszeństwa przejazdu.

Gry 3 i 4 pokazują, jak narzucone ograniczenia na szybkość jazdy może wpłynąć na jednoznaczność rozwiązania gry i przejazd bezkolizyjny.

Gry 5 i 6 pokazują, jak może dojść do sytuacji wymuszenia pierwszeństwa przejazdu na skrzyżowaniu z sygnalizacją świetlną. Można tu wskazać na dwa czynniki: pojazd mający zielone światło znajduje się w chwili zmiany światła w większej odległości od środka skrzyżowania niż pojazd mający czerwone światło albo nie jest w stanie rozpedzić się wystarczająco szybko.

Jeśli potraktować równowagi Nasha jako rozwiązania optymalne przedstawionych gier, to okazuje się, że w niektórych przypadkach wymuszenia pierwszeństwa są optymalne z punktu widzenia czasu przejazdu, choć te rozwiązania są niezgodne z przepisami ruchu drogowego.

Wymuszenie pierwszeństwa przejazdu może mieć charakter systematyczny: ze względu na wielkość i masę pojazdów oraz ich szybkości, ze względu na „topologię” skrzyżowania (umiejscowienia miejsc zatrzymania pojazdów, fizyczny układ dróg), ze względu na zwyczaje kierowców na danym skrzyżowaniu. Niektóre wymuszenia pierwszeństwa przejazdów mogą być „prowokowane” przez kierowców jadących główną drogą.

Teorię gier można wykorzystać do analizy zachowań kierowców na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną – zrozumienie ich motywacji i zachowań może się przyczynić do zmniejszenia liczby wypadków i kolizji.

Nawet proste sytuacje na drodze, jak te analizowane w artykule, wymagają od wszystkich użytkowników drogi wyobraźni i pewnego rodzaju kultury bezpieczeństwa [8]. Decyzje i działania nie mogą opierać się wyłącznie na prostej racjonalności (minimalizacji czasu przejazdu), muszą uwzględniać społeczny wymiar interakcji między użytkownikami dróg.

BIBLIOGRAFIA

1. Binmore, K., *Teoria gier*, WUŁ, Łódź 2017
2. Bjørnskau T., *The Zebra Crossing Game – Using game theory to explain a discrepancy between road user behaviour and traffic rules*, „Safety Science” 2017 (92).
3. Brożyna E., *Czynnik ludzki a bezpieczeństwo w ruchu drogowym*, „Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe” 2017, nr 7-8.
4. Cialdini R. B., *Pre-swazja. Jak w pełni wykorzystać techniki wpływu społecznego*. Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Sopot 2017
5. Cybulski M., *Bezpieczeństwo ruchu drogowego (BRD) a psychologiczne podstawy zachowań ryzykownych na drogach*, [w:] Bartkowiak G., *Czynniki kształtujące zachowania zdrowotne człowieka na przestrzeni życia*, Wydawnictwo UM w Poznaniu, Poznań 2008.
6. Elvik R., *A review of game-theoretic models of road user behaviour*. w: *Accident; analysis and prevention*, 2014, nr 62.
7. Kądziołka T., Kowalski, S., *Analiza przyczyn i skutków wypadków oraz kolizji drogowych na wybranych skrzyżowaniach w Nowym Sączu*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej”, Seria: „Transport” 2014, nr 1903.
8. Krystek R., *Katastrofy w transporcie – problem zdrowia publicznego*, „Transport Samochodowy” 2009, nr 4.
9. Straffin Ph. D., *Teoria gier*, Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa 2001.
10. Yu, Hongtao; Tseng, H. Eric; Langari, Reza, *A human-like game theory-based controller for automatic lane changing*, „Transportation Research Part C: Emerging Technologies” 2018, nr 88.
11. Watson J., *Strategia. Wprowadzenie do teorii gier*. Wolters Kluwer Polska, Warszawa 2011
12. <https://www.youtube.com/watch?v=rAxR0-vZg6Y>;
<https://www.youtube.com/watch?v=gDAo-J8aj58> dostęp 2018-04-04
13. <https://www.tvn24.pl/najbardziej-dochodowe-skrzyzowanie-w-wejherowie-3-tys-mandatow-za-jazde-na-czerwonym-403137,s.html> dostęp 04.04.2018 r.
14. <https://www.youtube.com/watch?v=knA5-efj1gY>, dostęp 2018-04-04
15. <https://www.youtube.com/watch?v=4qRzqN0Rp4A>, dostęp 2018-04-04

The analysis of exigencies of priority of crossing at intersections from the game theory's point of view

The assumption that each road participant adheres to the rules, ideally adapts his behavior to the prevailing road conditions, is unrealistic, and as the basis for taking action can lead to collisions and accidents. The article presents the theoretical models allowing to understand the behavior of drivers who deliberately enforce the priority of passing, and their only motivation is the shortest travel time through the intersection. Two types of situations at crossroads are considered: with guided and non-guided traffic with the STOP sign. The presented mathematical models are illustrated by the real-life recordings of drivers available on the Internet.

Autor:

dr **Jarosław Jabłonka** – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, starszy wykładowca,
adres email:
jjablonka@ath.bielsko.pl
jaroslawjablonka@gmail.com

JEL: R41 DOI: 10.24136/atest.2018.047

Data zgłoszenia: 2018.05.21 Data akceptacji: 2018.06.15