

Mariusz RYCHLICKI<sup>1</sup>  
Marek SUMIŁA<sup>2</sup>

### PROBLEM OPTYMALIZACJI LICZBY STANOWISK MANUALNEGO SYSTEMU POBORU OPŁAT W RUCHU AUTOSTRADOWYM

*W artykule zwrócono uwagę, że rozwój sieci dróg ekspresowych i autostrad prowadzi nieuchronnie do wzrostu znaczenia kwestii, które dotychczas miały znaczenie marginalne. Należą do nich m.in. zagadnienia związane z systemem poboru opłat. Wprowadzenie systemu elektronicznego oraz konieczność przystosowania już istniejących odcinków autostrad do standardów dróg płatnych wymusza na właścicielach i zarządcach autostrad podjęcie szeregu działań. Głównym ich celem jest uszczelnienie i usprawnienie samego procesu. Szczególnego znaczenia nabierają tu zagadnienia optymalizacji liczby stanowisk poboru opłat, które bezpośrednio przekładają się na standard jakości obsługi i koszty eksploatacyjne. W pracy zaprezentowano typowy schemat postępowania w omawianym przypadku, przedstawiono podstawowe jego ograniczenia i wykazano potrzebę posiadania określonych danych wejściowych dla dokonania właściwej optymalizacji liczby stanowisk.*

### OPTIMIZATION OF THE NUMBER OF POSITIONS IN THE HIGHWAY MANUAL TOLL COLLECTION SYSTEM

*The article underlines the fact that the development of a network of expressways and highways inevitably leads to an increase in the importance of issues that previously were of marginal importance. These include issues related to toll collection system. The introduction the system of electronic toll collection and the need to adapt sections of existing highways to toll roads enforces standards for owners and managers of highways to take action. Their main objective is to seal and improve the process of charging. It is particularly important to optimize the number of positions that because it directly influences the standard quality of service and operating costs. The paper presents a typical pattern of conduct in this case, as well as its basic limitations and show the need for a set of input data in order to optimize the number of posts.*

---

<sup>1</sup> Rychlicki Mariusz, Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, tel. 022 234-73-11, mry@it.pw.edu.pl

<sup>2</sup> Sumiła Marek, Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, tel. 022 234-70-37, sumiła@it.pw.edu.pl

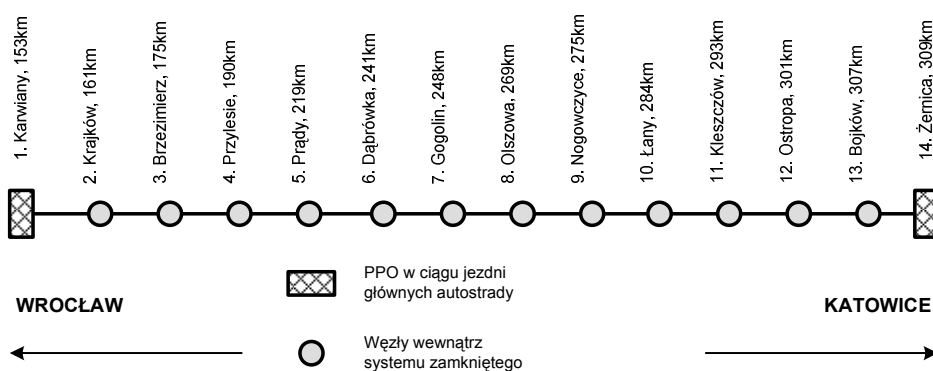
## 1. WSTĘP

Transport stanowi jedną z podstawowych dziedzin gospodarki każdego wysoko rozwiniętego kraju, w znaczącym zakresie przyczyniając się do wzrostu PKB na szacowanym poziomie udziału nawet 10%. Bez względu na jego charakter (lądowy, powietrzny, morski) poszczególne rodzaje transportu mają ze sobą wiele cech wspólnych, do których należą przede wszystkim stawiane na pierwszym miejscu kwestie bezpieczeństwa oraz ekonomicznej i sprawnej organizacji przewozu osób i ładunków. W przypadku transportu drogowego kluczowe znaczenie w spełnieniu tych warunków ma infrastruktura drogowa, a w szczególności istniejący spójny i logiczny układ sieci dróg o odpowiedniej jakości technicznej i eksploatacyjnej, zapewniający szybki, bezpieczny i wygodny przejazd osób oraz przewóz towarów. W kontekście tych oczekiwań na pierwsze miejsce wysuwają się drogi ekspresowe i autostrady, które to z definicji spełniają stawiane wymagania jakościowe. Zgodnie jednak z zasadami wolnego rynku drogi te są lub będą drogami płatnymi. Ma to na celu rekompensatę szczególnie wysokich kosztów ich wytworzenia i eksploatacji, co jest bezpośrednim następstwem wymagań jakościowych.

## 2. ISTOTA PROBLEMU MANUALNYCH SYSTEMÓW POBORU OPŁAT

### 2.1 Konflikt interesów

Wraz z budową oraz rozwojem w Polsce sieci dróg ekspresowych i autostrad coraz większego znaczenia nabierają kwestie poboru opłat za ich użytkowanie. Zgodnie z obowiązującymi standardami proces ten także musi przebiegać w sposób sprawny i w minimalnym zakresie wpływać na użytkownika drogi. Jak wynika z szeregu przeprowadzanych ankiet użytkownicy dróg dość łatwo akceptują fakt pobieranej opłaty za przejazd daną drogą, pod warunkiem jednak, że wiąże się to z wyraźną poprawą jej jakości, czyli ze wzrostem komfortu przejazdu lub przewozu. Tymczasem manualny pobór opłat jest procesem, który z punktu widzenia użytkownika drogi zakłóca jego proces transportowy i wymiennie przyczynia się do wydłużenia czasu jego realizacji. Natomiast z punktu widzenia zarządcy pożądanym jest maksymalne uszczelnienie systemu, tak aby korzystanie z każdego odcinka drogi związane było z poborem opłat.



Rys. 1 Schemat lokalizacji miejsc poboru opłat na autostradzie A4[1]

Rozwiązaniem tego problemu jest system zamknięty poboru opłat (rys. 1) oraz system winiet i system elektronicznego poboru opłat ETC, ale w polskich realiach ETC dotyczy lub w najbliższych latach będzie dotyczył niemal wyłącznie pojazdów ciężarowych. Wprawdzie przewiduje się jego rozszerzenie na pojazdy osobowe, ale jest to na tyle odległa przyszłość, że na dzień dzisiejszy i w perspektywie najbliższych lat system poboru opłat na polskich drogach będzie systemem mieszanym, czyli zarówno manualnym, jak i automatycznym (elektronicznym) [1].

W praktyce oznacza, to że zarządca danej autostrady (lub jej fragmentu) musi zagwarantować realizację funkcji manualnego poboru opłaty za przejazd. Jak każdy proces transportowy także i ten okupiony jest pewnym kosztem, na który składają się koszty utrzymania infrastruktury oraz koszty obsługi. W dość oczywisty sposób zależność one będą od liczby stanowisk manualnego poboru opłat, co automatycznie skłania zarządcę do ich minimalizacji. Tymczasem jedną z elementarnych zależności w systemach masowej obsługi dla kolejki typu FIFO (pierwszy zgłaszający się do obsługi jest pierwszym obsługiwany) jest związek między czasem pobytu w systemie (czasem oczekiwania na obsługę i czasem obsługi) a właśnie liczbą stanowisk obsługi [2] [3]. W najprostszym ujęciu – im liczba stanowisk większa tym czas oczekiwania na obsługę mniejszy. Dochodzi tutaj do konfliktu interesów między zarządcą drogi, który dąży do minimalizacji kosztów, a jej użytkownikiem, którego interesuje jedynie jakość obsługi (głównie czas) a nie jej koszty.

## 2.2 Potrzeba optymalizacji

Całość zagadnienia dodatkowo komplikuje fakt, że już sama przerwa w podróży w celu uiszczenia opłaty jest z punktu widzenia użytkownika drogi zakłóceniem, które powinno występować możliwie rzadko, a najlepiej wcale. W systemach autostradowych zamkniętych problem ten jest marginalny, gdyż rozwiązuje go sama idea systemu zamkniętego. Jednak większość dróg płatnych w Polsce funkcjonuje i w najbliższych latach funkcjonować będzie w systemie otwartym. Tym samym ponownie rośnie znaczenie sprawnej organizacji manualnego poboru opłat. Wspomniany jednak wcześniej konflikt interesów biorących w tym procesie dwóch stron wymusza poszukiwania optymalnego rozwiązania, które zagwarantuje realizację usługi poboru opłat na zadanym poziomie jakości przy minimalnych kosztach wykonania i utrzymania niezbędnej infrastruktury. Jest to klasyczne zadanie optymalizacji, którego kluczowym parametrem będzie liczba stanowisk manualnego poboru opłat. Aby jednak możliwe było rozwiązanie tego zagadnienia najpierw należy jednak zidentyfikować czynniki wpływające na jakość tej usługi.

## 3. PODSTAWOWE PARAMETRY RUCHU

### 3.1 Natężenia ruchu i jego pomiary

Natężenie ruchu jest podstawowym parametrem [4] określającym wielkość potoku lub pojedynczego strumienia ruchu pojazdów (ewentualnie i/lub pieszych) w danym przekroju drogi pomiędzy dwoma punktami pomiarowymi. Wyrażany jest liczbą pojazdów przejeżdżających analizowany przekrój drogi w jednostce czasu, którymi najczęściej są: doba, godzina i okresy piętnastominutowe. Znajomość wielkości natężenia ruchu jest

podstawą do określenia tendencji rozkładu ruchu w sieci drogowej, wahań natężeń ruchu w poszczególnych porach (dnia, tygodnia, miesiąca i roku), jego struktury rodzajowej i kierunkowej. Jest także podstawą do sporządzania prognoz na lata następne, co pozwala na planowanie rozbudowy i modernizacji sieci dróg.

Danych o największym znaczeniu, ze względu na zakres pomiaru oraz spójność danych, dostarcza Generalny Pomiar Ruchu GPR, który w Polsce przeprowadzany jest co 5 lat od 1980 r. [4] Ostatni miał miejsce w 2010 r., a zebrane dane są nadal opracowywane. Ideowo nie odbiegał on jednak w sposób znaczący od GPR wykonanego w 2005 r. na istniejącej sieci dróg krajowych, za wyjątkiem odcinków zarządzanych przez prezydentów miast na prawach powiatu [5]. Analiza zebranych danych pozwoliła na wyciągnięcie szeregu wniosków, z których do najważniejszych należą:

- od 1995 r. ruch na sieci dróg międzynarodowych (za wyjątkiem okresu 2000-2001) systematycznie wzrasta,
- największy wzrost ruchu dotyczy pojazdów ciężarowych,
- średni dobowy ruch SDR w 2005 r. wynosił 8224 pojazdów/dobę i był większy o około 18% w porównaniu z rokiem 2000r,
- obciążenie ruchem nie jest równomierne dla całej sieci i wzrasta ze wzrostem znaczenia dróg w sieci,
- wyższa klasa techniczna drogi (tab. 1) wpływa na jej większe obciążenie ruchem.

Tab. 1 Średni dobowy ruch 2005 r. w zależności od klasy technicznej drogi [5]

Klasy techniczne dróg	SDR (poj./dobę)
A – autostrada	17530
S – ekspresowa	18568
GP – główna ruchu przyspieszonego	9596
G - główna	4099

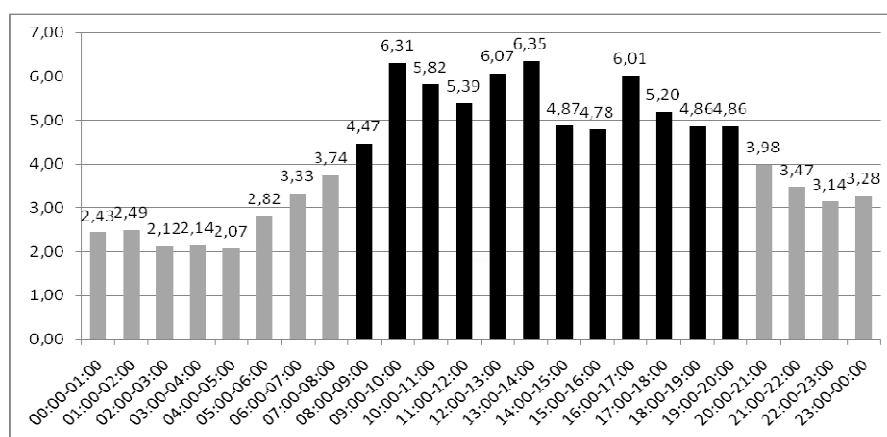
W 2005 r. największe wartości SDR zarejestrowano na drogach ekspresowych i autostradach. Niewielką przewagę tych pierwszych można wytłumaczyć w dalszym ciągu faktycznym brakiem sieci dróg autostradowych w Polsce. Należy jednak spodziewać się, że wraz z jej rozwojem będzie także wzrastać ich obciążenie, zgodnie z obserwowanym trendem (tab. 1). Podobnie, największe obciążenie ruchem występowało na sieci dróg międzynarodowych, gdzie ok. 92% było obciążone ruchem powyżej 6000 poj./dobę, z czego ponad 32% ruchem powyżej 15000 poj./dobę. Największe wielkości SDR zarejestrowano także na drogach o najwyższej klasie, drogach dwujezdniowych, głównie: A4, 7, 8, S86 i 79 [5].

### 3.2 Charakter, wahania i nierównomierności ruchu

Wartości SDR mają jedną podstawową wadę – są to wartości średnie, które nie ukazują rozkładu ruchu w poszczególnych porach doby lub roku. Tym samym nie pozwalają na poznanie wahań i nierównomierności ruchu, którym jest zmienność jego natężenia w czasie. Same zaś wahania, które dotyczą głównie właśnie zmian poziomu natężenia ruchu w określonych przedziałach czasu także pozostają niewidoczne. Zebrane podczas GPR dane pozwalają jednak na określenie dla każdego odcinka sieci dróg krajowych charakteru

obserwowanego ruchu, który jest podstawą do obliczenia miarodajnego ruchu godzinowego. Na ich podstawie wyznaczono wartości SDR w miesiącach letnich (SDRL) oraz zimowych (SDRZ), co pozwoliło na zaobserwowanie podstawowej zależności – ruch w miesiącach letnich był o ok. 14% większy, a w zimowych o ok. 15% mniejszy od SDR w ujęciu rocznym bez względu na charakter drogi.

Jednak dla zarządcy drogi bądź udziałowca nowej inwestycji w jej infrastrukturze najważniejsze będą bezpośrednie pomiary, przeprowadzane dla danego odcinka. Tego typu badania ekranowe charakteryzują się największą wiarygodnością i aktualnością, a tym samym przydatnością dla danej inwestycji. Polegają one na określeniu natężeń ruchu w wybranych, ważnych punktach sieci drogowej. Przykładem mogą być wykonane w maju 2010 r. badania na odcinku Wrocław-Krzywa i Krzywa-Golnice, których podstawowym celem była weryfikacja i kalibracja symulacyjnych modeli ruchu [6]. Oprócz pomiarów natężeń ruchu obejmowały one również kategoryzację pojazdów, strukturę rodzajową oraz kierunkową ruchu i przeprowadzone zostały metodą klasyczną (ręczną). Dodatkowe pomiary w trzech punktach pomiarowych, prowadzone przez 24 godziny, pozwoliły na szczegółową analizę nierównomierności ruchu w ujęciu dobowym (rys. 2).



Rys. 2. Godzinowy rozkład natężenia ruchu na odcinku A4 Wrocław-Krzywa [6]

Wynika z niej, że w odcinkach pomiarowych występują duże wahania natężenia ruchu, uzależnione od pory doby:

- aż 65% ruchu przypada na godziny dzienne, od godziny 8 do godziny 20,
- wahania ruchu mają większą dynamikę w godzinach dziennych,
- w poszczególnych porach doby występują 2-2,5 krotne różnice w natężeniu ruchu.

Wyniki te w sposób jednoznaczny potwierdzają potrzebę prowadzenia tego typu badań, niezależnie od GPR, oraz nakazują traktowanie danych SDR w sposób ostrożny, szczególnie w kontekście inwestycji związanych z systemami masowej obsługi, gdzie chwilowe wahania natężenia ruchu mogą doprowadzić do powstawania zatorów i spadku jakości obsługi, wyrażanej czasem oczekiwania.

## **4. PROGNOZOWANIE I MODELOWANIE RUCHU W ANALIZIE KOSZTÓW I KORZYŚCI INWESTYCJI TRANSPORTOWYCH**

### **4.1 Analiza kosztów i korzyści**

Każda inwestycja w zakresie transportu związana jest nierozzerwalnie z wysokimi nakładami finansowymi, szczególnie jeśli ma ona miejsce w obszarze modernizacji lub rozbudowy sieci dróg. Skrajnym tego przykładem są inwestycje związane z budową nowych dróg ekspresowych i autostrad. Są one na tyle znaczącym obciążeniem dla budżetu państwa, że dokument opisujący plany ich budowy zyskał miano „narodowego planu budowy”, co jednoznacznie podkreśla zakres i ciężar inwestycji. Z jego realizacją borykają się kolejne rządy, a sam plan podlega ciągłym modyfikacjom i weryfikacjom. Niezależnie jednak od jego wykonania w obszarze budowy autostrad występuje jeszcze jeden aspekt, odróżniający je od innych rodzajów dróg. Jest nią właśnie potrzeba przystosowania autostrady do standardów drogi płatnej i związana z tym konieczność kolejnych inwestycji i modernizacji. Ze względu na fakt, że poszczególne autostrady budowane są w odcinkach, często przez różnych wykonawców, w różnym czasie i często w oderwaniu od innych fragmentów sieci drogowej, nie jest możliwe wykonanie tych prac wraz z budową autostrady. Etapowość inwestycji wymusza także i etapowe dostosowywanie autostrady do standardów drogi płatnej, najpierw w systemie otwartym, później w systemie zamkniętym. Razem z tymi etapami pojawiają się także i nowe strefy oraz miejsca poboru opłat, których powstanie jest także związane z kolejnymi nakładami finansowymi. Mimo iż są one tylko specyficznym fragmentem infrastruktury drogowej warto i podczas ich projektowania wspierać się unijnymi zaleceniami oraz dokumentami z zakresu analizy kosztów i korzyści AKK dla planowanych projektów inwestycyjnych w sektorze transportu w Polsce [7], szczególnie jeśli mają być one wsparte funduszami UE. Oczywiście nie jest możliwe znalezienie tam gotowego schematu postępowania dla wszystkich rodzajów inwestycji, jednak ich wiele cech wspólnych pomaga znaleźć wspólne zasady przygotowania i realizacji planu z punktu widzenia ekonomicznego.

### **4.2 Prognozowanie ruchu**

Jednymi z takich fundamentalnych etapów procesu AKK są pomiary i prognozowanie natężenia ruchu. To ich wynik w sposób bezpośredni wpływa na ostateczny kształt projektu inwestycyjnego. Dlatego ich prawidłowe przeprowadzenie i opracowanie ma zasadnicze znaczenie dla AKK. Szczególnie prognozy muszą uwzględniać zmiany na analizowanym odcinku oraz skutki planowanej inwestycji dla pozostałej sieci drogowej. W przypadku inwestycji, które zwiększają przepustowość danego odcinka sieci dróg całkowicie niedopuszczalne jest wykonywanie prognoz ruchu metodami uproszczonymi [7]. W takich przypadkach prognozy te powinny bazować na krajowym modelu ruchu, który został opracowany na zlecenie GDDKiA i zawiera model sieci oraz macierze ruchu w podziale na kategorie użytkowników dla roku bazowego 2005, założenia do rozwoju sieci drogowej i wskaźniki wzrostu ruchu dla poszczególnych regionów kraju do 2037 r. Budowa nowych punktów poborów opłat na istniejących odcinkach autostrady, czy też jej przeobrażenie z systemu otwartego do systemu zamkniętego także wpływa na natężenie ruchu. Czyni to jednak w znacznie mniejszym stopniu niż budowa nowych węzłów czy nowych odcinków drogi i zazwyczaj zawsze w kierunku zmniejszenia natężenia ruchu – rozbudowa czy

uszczelnienie systemu poboru opłat zachęca kierowców do poszukiwania dróg alternatywnych. Tym samym mogłoby się wydawać, że kwestie prognozowania ruchu nie są zbyt istotne przy tego typu inwestycji, ponieważ nie prowadzą do wzrostu jego natężenia. Jest to jednak tylko sytuacja pozorna, a prognozowanie ruchu utrzymuje swoje istotne znaczenie zarówno dla właściciela, jak i zarządcy autostrady. Właściciel musi bowiem wiedzieć, czy rozbudowa systemu poboru opłat nie przyniesie odwrotnych od zamierzonych korzyści. Teoretycznie wzrost kosztów przejazdu autostradą może przyczynić się do wzrostu popularności dróg alternatywnych i tym samym obniżyć całkowite wpływy z tytułu opłat za przejazd. W Polskich warunkach, przy praktycznym braku sieci dróg, ten problem ma znaczenie marginalne. Jednak przykład niewielkiego odcinka nowej drogi w okolicy Jaworzna i autostrady A4 pokazuje, że i on nie może być lekceważony.

W przypadku zarządcy autostrady sytuacja jest już oczywista. Musi on wiedzieć z jakim poziomem natężenia ruchu spotka się w punkcie poboru opłat, ponieważ musi być przygotowany na jego obsługę na wymaganym umową koncesyjną poziomie jakości, czyli z określonym czasem obsługi. To natomiast bezpośrednio związane jest z liczbą stanowisk manualnego poboru opłat, a zatem także i z kosztami eksploatacyjnymi, ponoszonymi przez zarządcę. I tutaj typowa dla polskich realiów wieloetapowość inwestycji jest zjawiskiem pozytywnym. Mając bowiem już eksploatowany odcinek drogi można oprzeć prognozy na rzeczywistych pomiarach natężenia ruchu, co w sposób oczywisty wpływa na ich dokładność oraz wiarygodność i tym samym spełnić zalecenia formalne [7].

### 4.3 Modelowanie ruchu

Rzeczywiste pomiary natężenia ruchu stanowią najlepsze źródło informacji na temat jego natury oraz stanowią najmocniejszą bazę do jego oceny i analizy. Ich wykonanie jest jednak dość kosztowne, szczególnie w dłuższych okresach pomiarowych. Jest to o tyle istotne, iż natężenie ruchu podlega dość dużym wahaniom, a powstałe w ten sposób nierównomierności są uzależnione od wielu czynników, w tym głównie od pory doby, tygodnia, miesiąca i roku. Tym samym, z powodu wysokich kosztów i czasu trwania, niemożliwe jest wykonanie rzeczywistych pomiarów w najbardziej miarodajnym okresie, jakim jest cały rok. Oczywiście, wykonywane są w określonych punktach pomiarowych pomiary automatyczne, lecz stanowią one głównie uzupełnienie lub podstawę weryfikacji wcześniej wykonanych prognoz. Oprócz kosztów wykonania kluczowym czynnikiem jest bowiem czas samego pomiaru, który w przypadku całego roku jest okresem zbyt długim dla większości planowanych inwestycji. Z tego powodu kluczowego znaczenia dla nowych inwestycji w infrastrukturze drogowej nabierają zagadnienia prognozowania i modelowania ruchu, które pozwalają one na bazie ograniczonych informacji na wiarygodne oszacowanie podstawowych parametrów ruchu na danym odcinku drogi lub sieci drogowej [4].

## 5. OPTIMALIZACJA LICZBY STANOWISK MANULNEGO SYSTEMU POBORU OPŁAT W RUCHU AUTOSTRADOWYM

### 5.1 Analiza na bazie podstawowych danych

Szczególnie interesujące wydaje się połączenie zagadnień modelowania ruchu pojazdów i procesu ich obsługi w punkcie poboru opłat za przejazd autostradą – w Polsce

obecnie tylko autostradą, ale w przyszłości dowolną drogą płatną. Jest to bowiem proces, który idealnie wpisuje się w klasyczne zagadnienia tzw. teorii masowej obsługi, czyli systemy kolejkowe. Ich podstawowym celem jest teoretyczne poznanie własności danego systemu, praw i ograniczeń jakim on podlega oraz jego możliwości, np. wydajności [6] [10]. Szczególnie to ostatnie jest istotne z punktu widzenia zarządcy systemu, który zazwyczaj poszukuje tu odpowiedzi na pytania, służące usprawnieniu systemu, zarówno w zakresie zwiększenia jego wydajności, jak i minimalizacji kosztów eksploatacyjnych. Pierwszym jednak krokiem na drodze wykorzystania opisu matematycznego w analizie systemu masowej obsługi jest stworzenie racjonalnego kompletu podstawowych danych, które posłużą do opracowania jego modelu matematycznego. W przypadku projektu i wykonania nowopowstającego punktu poboru opłat w ruchu autostradowym od razu jednak natrafiamy na podstawowe pytanie, czy dane którymi dysponujemy są dostateczne dla przeprowadzenia analizy? Zwykle inwestor, projektant i wykonawca dysponują w tym miejscu jedynie dwoma parametrami:

- średnim dobowym ruchem SDR na danym odcinku drogi,
- przepustowością pasów wjazdowych i wyjazdowych.

Wartość SDR może być zarówno wynikiem bezpośrednich pomiarów, jak i prognoz natężenia ruchu. Nie jest to istotne dla dalszych rozważań, ponieważ zarówno rzeczywiste pomiary jak i prognozy ruchu powinny być wykonywane z należytą starannością i wiarygodnością. Przepustowości pasów wynikają natomiast bezpośrednio z projektów inwestycyjnych. Nie jest to wiele i w takiej sytuacji dla oszacowania wymaganej liczby stanowisk manualnego systemu poboru opłat można jedynie podzielić wartość SDR przez mniejszą z wartości przepustowości wlotowej i wylotowej (1).

$$L_{st} = \frac{SDR / 24}{\min(P_{wj}, P_{wy})} \quad (1)$$

gdzie:

- $L_{st}$  – liczba stanowisk,
- SDR – średni dobowy ruch,
- $P_{wj}$  – przepustowość pasa wjazdowego,
- $P_{wy}$  – przepustowość pasa wyjazdowego.

Przyjmując zatem na podstawie GPR 2005 [5] wartość SDR dla odcinka Krzywa-Budziwojów równą 12820 (odcinek pomiarowy 30501, droga A4, punkt początkowy 59,1km, punkt końcowy 70,0km, długość odcinka 10,9km), przepustowość pasa wjazdowego na poziomie 627 i przepustowość pasa wyjazdowego na poziomie 255 otrzymujemy odpowiednio (2):

$$L_{st} = \frac{12820 / 24}{\min(255, 627)} = 2,09 \approx 3 \quad (2)$$

Oszacowana w ten sposób liczba stanowisk na poziomie dwóch- trzech wcale lub niewiele się różni od liczby pasów na autostradzie. W sposób czysto intuicyjny można



stwierdzić, że jest ona z całą pewnością nieodpowiednia i zbyt mała dla zapewnienia obsługi na wymaganym poziomie i musi doprowadzić do powstawania zatorów. Oczywistym błędem jest tutaj przyjęcie średniej godzinowej wartości natężenia ruchu, jako 1/24 wartości SDR. Jest to naturalną konsekwencją ograniczonej liczby danych początkowych i tym samym braku innej metody postępowania. Skutkuje ona nieuwzględnieniem w obliczeniach okresowych zmian i wahań wartości natężenia ruchu, które (co pokazano w p. 3.1 rys. 2) w ujęciu dobowym mają dość szeroki zakres. Wymagane będzie więc tutaj uwzględnienie wahań natężenia ruchu i wyrażenie ich np. poprzez współczynnik godzinowy szczytu  $c_{sz}$ . Tym samym ostatecznie otrzymujemy (3):

$$L_{st} = \frac{SDR * c_{sz}}{\min(P_{wj}, P_{wy})} \quad (3)$$

Przyjmując wartość  $c_{sz} = 0,065$  otrzymujemy oszacowaną liczbę stanowisk na poziomie 3,27, a więc po zaokrągleniu w górę do liczby całkowitej  $L_{st} = 4$ . Różnica jest zauważalna, jednak wydaje się być zbyt mała, aby można było uznać ten wynik za pewny i zadowalający. Należy pamiętać, że stawką jest zapewnienie wymaganego poziomu obsługi, definiowanego na podstawie poniższych trzech kategorii [8]:

- poziom A: czas oczekiwania pomiędzy 0 a 90 sekund (kolejka 5 pojazdów lub mniej na pasach ręcznego poboru),
- poziom B: czas oczekiwania pomiędzy 90 a 180 sekund (kolejka od 6 do 10 pojazdów),
- poziom C: czas oczekiwania powyżej 180 sekund.

Zapewniona osiągnięcia poziomu A wymaga nie tylko zagwarantowania obsady stanowisk manualnego systemu poboru opłat ale przede wszystkim ich dostatecznej liczby dla obsługi określonego natężenia ruchu. Dodatkowo wymaga się:

- poziom B nie będzie trwał przez okres dłuższy niż 45 minut jednorazowo lub też przez więcej niż 60 minut w okresie 24 godzinnym (od północy do północy).
- poziom C nie będzie trwał przez okres dłuższy niż 30 minut

Zauważmy, że zarówno przepustowość stanowisk manualnego poboru opłat, jak i wymagane czasy obsługi są przynajmniej o rząd wielkości mniejsze niż rozpatrywany wcześniej okres, służący do określenia wartości SDR. Nawet po uwzględnieniu nierównomierności godzinowej, wyrażonej poprzez wprowadzony współczynnik godzinowy szczytu  $c_{sz}$ , nadal te dysproporcje zostają zachowane. Nie można zatem wykluczyć, że wystąpią tu chwilowe wahania natężenia ruchu, których wpływ na wynik ostateczny będzie równie istotny w ujęciu godzinowym, co wartości szczytowej godzinowej odnoszonej do wartości SDR w ujęciu dobowym. Dalsze zawężanie okresu pomiarowego i wprowadzenie do obliczeń np. wartości natężenia ruchu w szczytowym kwadransie  $Q_{15max}$  [9] wydaje się bezcelowe, ponieważ prowadzi bezpośrednio do sytuacji, w której dokonamy analizy po prostu dla wartości maksymalnych. To natomiast zagwarantuje nam wprawdzie z całą pewnością osiągnięcie poziomu A jakości obsługi, ale doprowadzi do niedostatecznego wykorzystania stanowisk i tym samym zwiększy koszty eksploatacyjne systemu, co przeczy idei optymalizacji.

## 6. WNIOSKI

Wraz z rozbudową sieci dróg ekspresowych i autostrad w Polsce będzie rosło znaczenie kwestii związanych ze sprawną i efektywną organizacją procesu manualnego poboru opłat. Ponieważ w sposób oczywisty dochodzi tutaj do konfliktu interesów między użytkownikami drogi, którzy chcą przejechać przez punkt poboru opłat w jak najkrótszym czasie a zarządcą odcinka drogi na którym znajduje się dany punkt, zainteresowanym minimalizacją kosztów jego eksploatacji, to należy poświęcić temu zagadnieniu szczególną uwagę. Ewentualne błędy i nieprawidłowe oszacowania liczby stanowisk manualnego systemu poboru opłat prowadziłyby do niemożliwości spełnienia standardów obsługi na zadanym poziomie jakości i ewentualnej konieczności rozbudowy miejsca poboru opłat o nowe stanowiska, co doprowadzi do powstania utrudnień w ruchu i nowych kosztów. Z tego powodu problem optymalizacji liczby stanowisk powinien zostać poddany szczegółowej ocenie analitycznej i symulacyjnej, jako klasyczny system masowej obsługi. Niedopuszczalne jest tutaj przyjęcie jako danych bazowych wartości SDR w ujęciu dobowym. Wydaje się także, że nawet uwzględnienie nierównomierności ruchu w ujęciu godzinowym jest niewystarczające dla prawidłowego określenia liczby stanowisk, ponieważ nie uwzględnia ono w sposób dostateczny chwilowych wahań natężenia ruchu. Z tego powodu konieczne wydaje się opracowanie modelu manualnego systemu poboru opłat i przeprowadzenie symulacji dla rzeczywistych danych o ruchu pojazdów na danym odcinku drogi, dla którego planowane jest powstanie miejsca lub strefy poboru opłat. Kluczowe znaczenie dla oszacowania liczby stanowisk będą miały zatem nie wartości SDR, ale analiza probabilistyczna i identyfikacja rozkładów prawdopodobieństw rzeczywistych czasów zgłoszeń pojazdów w systemie manualnego poboru opłat.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] *Zaprojektowanie i wykonanie dostosowania autostrady A4 Wrocław – Katowice (153+227 – km 340+200), na odcinku Wrocław-Sośnica do standardów autostrady płatnej i do poboru opłat*, SIWZ, GDDKiA, Warszawa 2008 r.
- [2] Filipowicz B., *Modele stochastyczne w badaniach operacyjnych - analiza i synteza systemów obsługi i sieci kolejkowych*, WNT, Warszawa 1996 r.
- [3] Woch J., *Teoria potoków ruchu*, WPŚI, Katowice 2001 r.
- [4] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria ruchu drogowego Teoria i praktyka*, Warszawa, WKŁ 2009.
- [5] Opoczyński K., *Generalny pomiar ruchu 2005 Synteza wyników*, Warszawa, Transprojekt 2006.
- [6] *Pomiary natężeń, struktury rodzajowej i kierunkowej ruchu w wybranych pomocniczych punktach badan ekranowych*, GDDKiA, Warszawa 2010.
- [7] *Niebieska księga, Infrastruktura drogowa*, Warszawa, Jaspers 30 września 2008 r.
- [8] *Podstawowe Wymagania Techniczne do Projektowania, Budowy, Eksploatacji i Zwrotu Autostrady A2 Stryków I – Konotopa*, GDDKiA, Warszawa 2008 r.
- [9] *Instrukcja obliczania przepustowości dróg I i II klasy technicznej (autostrady i drogi ekspresowe)*, GDDP, Warszawa 1995 r.