

Jolanta Żak

E-mail: j.zak@wt.pw.edu.pl

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Inżynierii Systemów Transportowych i Logistyki

Piotr Gołębiowski

E-mail: pgolebiowski@wt.pw.edu.pl

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Inżynierii Systemów Transportowych i Logistyki

Roland Jachimowski

E-mail: rjach@wt.pw.edu.pl

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Inżynierii Systemów Transportowych i Logistyki

Wybrane aspekty modelowania rozwoju systemu transportowego z uwzględnieniem aspektu środowiskowego

Selected aspects of the transport system development modeling with regard to the environmental aspect

Dynamiczny rozwój transportu jest istotnym czynnikiem rozwoju gospodarczego i znaczącym źródłem uciążliwości dotyczących głównie negatywnego wpływu na środowisko. Jedną z metod pozwalających na poprawę sytuacji w tym obszarze jest racjonalne planowanie rozwoju systemu transportowego. W artykule omówiono problematykę modelowania rozwoju systemu transportowego. Scharakteryzowano problemy środowiskowe, które są brane pod uwagę przy modelowaniu rozwoju systemu transportowego. Ponadto omówiono koncepcję modelu rozwoju proekologicznego systemu transportowego, będącego rozwinięciem modelu proekologicznego systemu stanowiącego efekt prac nad projektem EMITRANSYS. Wskazano jego elementy oraz zastosowanie.

Słowa kluczowe:

modelowanie systemów transportowych, proekologiczny system transportowy, EMITRANSYS

Dynamic development of transport is important factor of economic development and significant source of nuisance regarding mainly negative impact on environment. One of methods to improve situation is rational planning of transport system development. Article discusses problem of transport system development modelling. Environmental problems, which are taken into account were characterized. Concept of model for pro-ecological transport system development, which is an extension of model constituting effect of work on EMITRANSYS project, was discussed. Its elements and application were indicated.

Key words:

modelling of transport systems, pro-ecological transport system, EMITRANSYS

Wstęp

Transport drogowy odgrywa bardzo istotną rolę w społecznym i gospodarczym funkcjonowaniu poszczególnych państw. Należy zauważyć jednak, że ma on szkodliwy wpływ na zdrowie i życie ludzkie oraz na środowisko naturalne. Analizując dane z poszczególnych krajów członkowskich Unii Europejskiej należy stwierdzić, że transport odpowiada za wytworze-

nie ok. 28% całkowitej wielkości emisji CO₂ do atmosfery, przy czym za wytworzenie około 84% wielkości emisji tego sektora odpowiada transport drogowy. W związku z tym podejmowane są intensywne działania zmierzające do ograniczenia szkodliwego wpływu transportu poprzez działania legislacyjne, a w szczególności poprzez integrację polityki transportowej z polityką ekologiczną. Wynikiem tych prac jest przede wszystkim zaostrożenie norm dotyczących

emisji spalin przez pojazdy samochodowe oraz promocja alternatywnych źródeł energii do napędzania pojazdów (Merkisz, Pielecha i Radzimirski, 2012). Regulacje prawne Unii Europejskiej wprowadzają uwarunkowania prawne dotyczące obciążenia zanieczyszczającego środowisko opłatami. Wysokość opłat uzależniona jest od norm emisyjności spalin dla pojazdów (Merkisz, Pielecha i Fuć, 2013).

Największe i najbardziej uciążliwe negatywne skutki dla środowiska powoduje silnik spalinowy. Podczas jego pracy do atmosfery emitowane są szkodliwe substancje, będące pochodnymi spalania paliwa. Wydzielane substancje można podzielić na toksyczne oraz nietoksyczne. Do grupy substancji toksycznych należą:

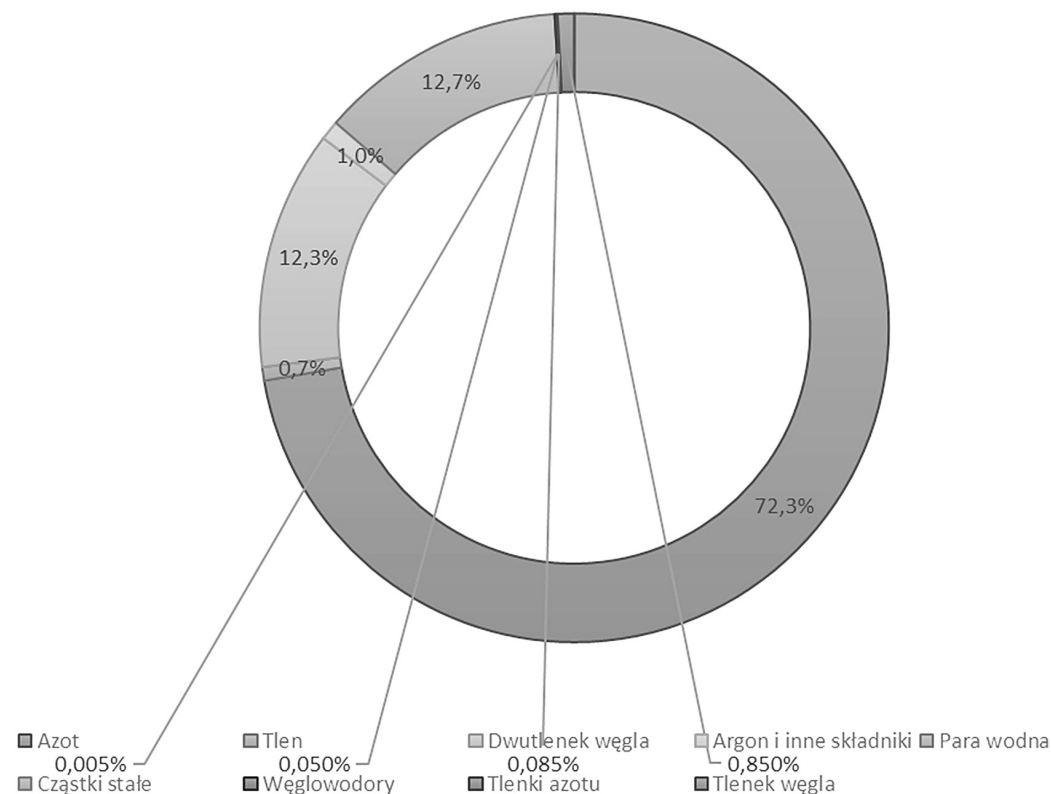
- tlenek węgla CO,
- węglowodory HC,
- tlenki azotu NO_x,
- cząstki stałe PM,
- pyły,
- dioksyny,
- metale ciężkie wytwarzane są przez katalizatory samochodowe,
- ozon.

Do związków nietoksycznych należą:

- dwutlenek węgla CO₂,
- azot N₂,
- tlen O₂,
- para wodna.

Rysunek 1

Skład chemiczny spalin



Źródło: opracowanie własne.

Skład chemiczny spalin przedstawiono na rysunku 1.

Spalanie paliw jest procesem bardzo szkodliwym zarówno dla życia i zdrowia człowieka jak i dla środowiska naturalnego. W związku z tym, dążąc do ograniczenia negatywnego wpływu transportu na środowisko, Unia Europejska opracowała ograniczenia legislacyjne związane z limitowaniem emisji spalin w sprzedawanych nowych pojazdach.

Wyżej wymienione zagadnienia należy szczególnie uwzględnić przy analizie problemu rozwoju systemu transportowego. Poprzez rozwój systemu transportowego można rozumieć wybór najkorzystniejszego wariantu w dwóch obszarach: modernizacji lub budowy infrastruktury (zarówno liniowej jak i punktowej) oraz zakupu nowych środków transportu, które mogą przyczynić się do ograniczenia negatywnego wpływu transportu na środowisko — w tym głównie na życie i zdrowie człowieka. Należy zauważyć, że planowanie rozwoju systemu transportowego stanowi istotny element polityki każdego kraju, który ma bezpośredni wpływ na jego sytuację gospodarczą oraz społeczno-ekonomiczną. Mając na względzie istotność oraz złożoność tego zagadnienia, należy dążyć do tego, aby było ono rozpatrywane z wykorzystaniem metod ilościowych i modeli matematycznych, które są implementowane z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi informatycznych.

W artykule omówiono problematykę modelowania rozwoju systemu transportowego z wykorzystaniem narzędzi informatycznych. Wskazano obszary, których dotyczy problematyka rozwoju. Scharakteryzowano problemy środowiskowe, które są brane pod uwagę przy modelowaniu rozwoju systemu transportowego. Ponadto omówiono koncepcję modelu rozwoju systemu transportowego z uwzględnieniem aspektu środowiskowego, będącego rozwinięciem modelu proekologicznego systemu transportowego *MEST*, będącego efektem prac nad projektem *EMITRANSYS* — Kształtowanie proekologicznego systemu transportowego realizowanego przez Politechnikę Warszawską i Politechnikę Poznańską. Wskazano jego elementy oraz zastosowanie.

Modelowanie rozwoju system transportowego

Transport należy rozpatrywać jako jeden wielki system. Zatem do jego analizy należy wykorzystać teorię systemów. Zasadniczym elementem tej teorii jest określenie celu działania systemu. W przypadku działania systemu transportowego jest to przemieszczanie pasażerów i ładunków określonych typów w czasie i w przestrzeni. Ze względu na złożoność systemu transportowego, aby móc prowadzić badania, należy budować modele stanowiące uproszczony obraz rzeczywistości. Uproszczenie powinno być zależne od celu badawczego, który model ma pomóc badaczowi osiągnąć.

Przemieszczanie osób i ładunków powoduje konieczność wykorzystania wielu elementów systemu transportowego. Istotnym jest, aby odróżnić te elementy systemu, które są zaangażowane w obsługę pasażerów i (lub) ładunków. Zatem system transportowy tworzą takie elementy, jak: drogi, linie kolejowe, drogi lotnicze i inne (infrastruktura liniowa) oraz środki transportowe (samochody, autobusy, pociągi, samoloty i inne). Istotną rolę ogrywają także stacje i przystanki, a także urządzenia zabezpieczenia ruchu (znaki drogowe, sygnalizacja świetlna) (infrastruktura punktowa) wraz z przepisami bezpieczeństwa ruchu. Dodatkowo (oprócz środków technicznych i organizacyjnych) należy wziąć pod uwagę środki ludzkie — personel wykonujący zadania w systemie transportowym.

Jak już wspomniano powyżej, ze względu na trudność badania rzeczywistych systemów transportowych, badania przeprowadzane są na odpowiednich modelach. Modele te powinny odzwierciedlać złożoność i współzależność zjawisk zachodzących w systemie transportowym oraz między nim a otoczeniem. Należy podkreślić, że w analizach należy

uwzględnić wpływ działalności systemu transportowego na środowisko naturalne. Zakres (czyli dokładność) odwzorowania elementów systemu transportowego zawsze wynika z celu i zakresu prowadzonych badań.

Jednym z zastosowań modeli w zakresie systemu transportowego jest badanie różnych wariantów rozwoju systemu. Opracowując koncepcję rozwoju systemu transportowego, należy brać pod uwagę zależność między przewidywaną wielkością zadań, potencjałem systemu transportowego, a kosztem realizacji tych zadań (Cupryjak i Wasiak, 2013), (Lewczuk i in., 2014). Uwzględniana w planach rozwoju transportu modernizacja i rozbudowa sieci transportowej oraz dostosowanie środków przewozowych do określonych wymagań nie to nie tylko zbudowanie zintegrowanej sieci transportowej i zwiększenie zdolności przewozowych systemu ale także i poprawa bezpieczeństwa i ochrona środowiska (Jacyna i Merkisz, 2014), (Jacyna, Wasiak i in., 2014).

Badanie rozwoju systemu transportowego polega na sprawdzeniu wpływu danych rozwiązań opracowanych w ujęciu wariantowym odpowiadającym kolejnym etapom realizacji inwestycji, która powoduje zmianę struktury i charakterystyk sieci transportowej. Analiza problemu pozwoli na odpowiedź np. na pytanie ile środków należy przeznaczyć na modernizację konkretnego połączenia lub zakup konkretnego środka transportu. Należy jednak zauważyć, że rozłożenie środków finansowych wiąże się ściśle z rozłożeniem potoku ruchu w sieci transportowej (Jacyna, Kłodawski i in., 2014), (Jacyna-Gołda, Żak i Gołębiowski, 2014), (Merkisz-Guranowska i Pielecha, 2014).

Ocena jakości doboru wyposażenia systemu transportowego (stanu infrastruktury oraz suprastruktury) do zadań przewozowych z centralnego punktu widzenia (z punktu widzenia planisty chcącego wybrać konkretne rozwiązanie dla danej inwestycji), wymaga odwzorowania w modelu wszystkich jego charakterystyk, które są istotne z punktu widzenia prowadzonych badań. Badanie wpływu różnych strategii rządowych np. polityki transportowej na zachowanie nabywców oraz dostawców usług transportowych uwarunkowane stanem wyposażenia (Gołębiowski, Jachimowski i in., 2013). Analiza ta jest możliwa jedynie w przypadku, gdy dany organ dysponuje odpowiednimi narzędziami badawczymi — np. komputerowym modelem ruchu opracowanym dla danego obszaru. Aby go przygotować należy odwzorować rozłożenie potoku ruchu w systemie transportowym z wykorzystaniem aparatu matematycznego. Należy to zrobić w sposób dostatecznie dokładny, aby możliwa i wystarczająca była ocena stopnia dostosowania charakterystyk elementów infrastruktury do realizowanych zadań

(Jacyna, Kłodawski i in., 2014), (Jacyna-Gołda, Lewczuk i in., 2014).

Planowanie rozwoju systemu transportowego z uwzględnieniem aspektów środowiskowych jest wieloaspektowym problemem. Należy wziąć tu pod uwagę (Jacyna, Kłodawski i in., 2014):

- obecne i przyszłe potrzeby nabywców usług transportowych,
- potencjał techniczny dostawców usług transportowych i ich zdolność do wprowadzania zmian,
- infrastrukturę transportową,
- wykorzystywane pojazdy,
- systemy zarządzania ruchem w poszczególnych obszarach i regionach sieci transportowej,
- politykę transportową państwa lub regionu,
- ekologiczne warunki funkcjonowania i rozwoju transportu.

Koncepcja modelu rozwoju systemu transportowego z uwzględnieniem aspektu środowiskowego

Wszystkie działania dotyczące rozwoju systemu transportowego powinny dążyć do tego, aby wdrażać koncepcję proekologicznego systemu transportowego. Bazując na definicji systemu, proekologiczny system transportowy można zdefiniować jako zbiór elementów powiązanych organizacyjnie, w sposób zapewniający skuteczne przemieszczanie pasażerów i ładunków w sieci transportowej w odniesieniu do minimalizacji zewnętrznych kosztów transportu (Ambroziak, Gołębiowski i in., 2014), (Jacyna, Kłodawski i in., 2014), Jacyna, Lewczuk i in., 2015).

Aby móc prowadzić badania nad wdrażaniem proekologicznego systemu transportowego należy zbudować jego model. W ramach realizacji projektu „EMITRANSYS” — Kształtowanie proekologicznego systemu transportowego przez Politechnikę Warszawską i Politechnikę Poznańską opracowany został matematyczny model krajowego systemu transportowego, który cały czas jest doskonałony. Model ten umożliwia badania polskiego systemu transportowego w aspekcie proekologiczności. W modelu tym odwzorowano rzeczywistą sieć transportową oraz zadania przewozowe (Jacyna i Merkisz, 2014), (Jacyna, Wasiak i in., 2014), (Jacyna, Żak i in., 2013), (Jacyna, Kłodawski i in., 2014), (Jacyna-Gołda, Lewczuk i in., 2014), (Wasiak, Kłodawski i in., 2014), a także ilościowe i jakościowe cechy badanego systemu, w tym cechy istotne dla oceny poziomu szkodliwych związków emitowanych przez pojazdy.

W modelu kształtowania rozwoju krajowego systemu transportowego uwzględniono różne rodzaje transportu i interakcje występujące między nimi (Jacyna i Merkisz, 2014), (Jacyna, Wasiak i in., 2014), (Jacyna, Żak i in., 2013), (Jacyna, Kłodawski i in., 2014), (Jacyna-Gołda, Lewczuk i in., 2014), (Wasiak, Kłodawski i in., 2014). Ze względu na przyjęty cel badań ważną cechą opracowanego modelu jest uwzględnienie relacji między transportem drogowym a innymi rodzajami transportu (zwłaszcza kolejowego) (Żak, Gołębiowski, 2015), (Żak, Gołębiowski, Popiela, 2018).

Biorąc pod uwagę charakter oraz zadania realizowane przez system transportowy, w modelu odwzorowano następujące właściwości (Jacyna, Kłodawski i in., 2014):

- środki transportowe wykorzystywane do realizacji zadań przewozowych,
- strukturę systemu transportowego przedstawiającą dostępne dla poszczególnych rodzajów środków transportowych rzeczywiste połączenia transportowe między źródłami i ujściami potoku ruchu,
- charakterystyki środków transportowych oraz elementów struktury systemu transportowego stanowiące odwzorowanie ich rzeczywistych właściwości istotnych z punktu widzenia rozłożenia potoku ruchu m. in. w aspekcie minimalizacji emisji szkodliwych związków spalin, np. charakterystyki techniczne, ekonomiczne, organizacyjne,
- zadania przewozowe realizowane przez system transportowy określające wielkość obciążenia systemu strumieniami ładunków i osób w relacjach przewozowych źródło — ujście,
- organizację potoku ruchu w systemie transportowym przedstawiającą sposób wykorzystania elementów infrastruktury wraz z wyposażeniem do realizowanych zadań (Jacyna, Żak i in., 2014)
- niezbędne dane odwzorowane w postaci zintegrowanej bazy danych proekologicznego systemu transportowego zawierającej parametry zarówno infrastruktury, jak i suprastruktury.

Formalnie, *Model Rozwoju Proekologicznego Systemu Transportowego (MRPST)* można zapisać jako uporządkowaną szóstkę postaci:

$$MRPST = \langle SP, GP, FP, QP, OP, ZBDP \rangle \quad (1)$$

gdzie:

MRPST — model rozwoju proekologicznego systemu transportowego,

SP — zbiór środków transportowych,

GP — struktura proekologicznego systemu transportowego,

FP — zbiór charakterystyk środków przewo-

- zowych oraz elementów struktury proekologicznego systemu transportowego,
- QP** — zadania przewozowe określone dla proekologicznego systemu transportowego,
- OP** — organizacja potoku ruchu, tj. sposób realizacji zadań przewozowych przez system transportowy,
- ZBDP** — zintegrowana baza danych proekologicznego systemu transportowego.

Jak już wspomniano powyżej, system transportowy tworzą podsystemy transportowe różnych gałęzi. Mając to na względzie, zdefiniowano zbiór numerów rodzajów transportu **RT** o postaci $RT = \{1, \dots, rt, \dots, RT\}$. Uwzględniane w badaniach gałęzie transportu oznaczane są symbolem *rt*, a ich liczba — symbolem **RT**. Powoduje to, że zbiór środków przewozowych **SP** można zdefiniować jako sumę podzbiorów **SP**(*rt*), przy czym podzbiór **SP**(*rt*) oznacza zbiór środków transportowych typu *rt.*, co można zapisać następująco:

$$SP = \bigcup_{rt \in RT} SP(rt) \quad (2)$$

Ze względu na cel prowadzonych badań w modelu matematycznym zdefiniowano również rejony odzorowujące obszary szczególnie istotne w aspekcie ochrony środowisk, np. Obszary Natura 2000, jak również obszary, na których wprowadzone są ograniczenia w ruchu pojazdów niektórych typów (Ambroziak, Gołębiowski i in., 2013). Zbiór numerów tych obszarów można zapisać w sposób następujący: **OB** = {1, ..., *ob*, ..., **OB**}.

Wszystkie elementy modelu, tj. środki transportowe i sieć transportowa wraz z ich charakterystykami, oraz zadania transportowe, czy też organizacja potoku ruchu wraz z upływem czasu podlegają pewnym zmianom. Kształtowanie proekologicznego systemu transportowego przejawiać się powinno takimi działaniami, których wpływ na system transportowy — ze względu na przyjęte proekologiczne kryteria oceny jego funkcjonowania — jest pozytywny. Zatem należy uwzględnić zbiór chwil, utożsamianych z okresami planistycznymi (Jacyna-Gołda, Gołębiowski i in., 2017), który można zdefiniować jako **T** = {1, ..., *t*, ..., **T**}. Uwzględniając upływ czasu model rozwoju proekologicznego systemu trans-

portowego można zapisać w postaci szóstki uporządkowanej:

$$MRPST(t) = \langle SP(t), GP(t), FP(t), QP(t), OP(t), ZBDP(t) \rangle \quad (3)$$

Wnioski

Podsumowując negatywny wpływ transportu na środowisko wynika m.in. z:

- emisji gazów cieplarnianych, które przyczyniają się do zmian klimatycznych,
- emisji zanieczyszczeń powietrza wpływających na zdrowie ludzi i środowisko naturalne (Ambroziak, Jacyna i in., 2013),
- przejścia obszarów cennych przyrodniczych i cięcia ich ciągłości (fragmentacji) przez nowe drogi, przyczyniające się do utraty różnorodności biologicznej,
- emisji hałasu zagrażającego ludzkiemu zdrowiu.

Należy dążyć do tego, by poszukiwać rozwiązań pozwalających na ograniczenie negatywnego wpływu transportu na środowisko. Jednym z narzędzi może być model rozwoju proekologicznego systemu transportowego, w postaci komputerowej na którym można przeprowadzać badania i dzięki temu wybrać rozwiązanie najmniej szkodzące środowisku. Do innych rozwiązań ograniczających negatywny wpływ transportu na środowisko naturalne można zaliczyć m.in.: polepszenie jakości infrastruktury drogowej, zmniejszenie zużycia paliw silnikowych, uszlachetnienie tradycyjnych paliw, stosowanie paliw alternatywnych (Pyza, Jacyna-Gołda i in., 2018), oczyszczenie spalin, zastosowanie jednostek z napędem hybrydowym umożliwiającym odzysk energii podczas hamowania, wprowadzenie opłat za korzystanie z infrastruktury i zużycie nieodnawialnej energii (Merkisz, Pielecha i Radzimirski, 2012).

Należy zauważyć także, że emisja spalin przyczynia się do powstania smogu, który na dzień dzisiejszy jest bardzo dużym problemem w Polsce. Z wykorzystaniem modelu MRPST można poszukiwać metod, które pozwolą na zmniejszenie jego szkodliwości w wybranych obszarach.

Praca naukowa zrealizowana częściowo w ramach projektu „Kształtowanie proekologicznego systemu transportowego” (EMITRANSYS), finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, wykonana przez konsorcjum naukowe Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej oraz Wydziału Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej oraz częściowo w ramach pracy statutowej Politechniki Warszawskiej.

Bibliografia

- Ambroziak, T., Gołębiowski, P., Pyza, D., Jacyna-Gołda, I., Merksiz-Guranowska, A., (2013). Identification and Analysis of Parameters for the Areas of the Highest Harmful Exhaust Emissions in the Model EMITRANSYS. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, vol. 20, no. 3, 9–20.
- Ambroziak, T., Gołębiowski, P., Woźnicki, K., Jacyna-Gołda, I., Jachimowski, R., Kłodawski, M., Lewczuk, K., Szczepański, E., (2014). Wariantowe rozłożenie potoku ruchu w zadanej sieci przy uwzględnieniu kosztów zewnętrznych. *Logistyka*, nr 4, 1605–1616.
- Ambroziak, T., Jacyna, M., Gołębiowski, P., Wasiak, M., Żak, J., (2013). Wpływ rozłożenia potoku ruchu w sieci transportowej na poziom emisji CO₂ przez środki transportu. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, z. 97, 9–18.
- Cupryjak, P., Wasiak, M., (2013). Uwarunkowania modelowania przewozu ładunków. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, z. 97, 63–71.
- Gołębiowski, P., Jachimowski, R., Lewczuk, K., Szczepański, E., Wasiak, M., (2013). Uwarunkowania prawne kształtowania proekologicznego systemu transportowego. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, z. 97, 135–145.
- Jacyna, M., Kłodawski, M., Wasiak, M., Żak, J., (2014). *Model symulacyjny EMITRANSYS jako narzędzie do analizy i planowania rozwoju krajowego systemu transportowego*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Jacyna, M., Lewczuk, K., Szczepański, E., Gołębiowski, P., Jachimowski, R., Kłodawski, M., Pyza, D., Sivets, O., Wasiak, M., Żak, J., Jacyna-Gołda, I., (2015). Effectiveness of national transport system according to costs of emission of pollutants. W: *Safety and Reliability: Methodology and Applications* [CD-ROM]. CRC Balkema, 559–567.
- Jacyna, M., Merksiz, J., (2014). Proecological approach to modelling traffic organization in national transport system. *Archives of Transport*, vol. 30, iss. 2, 31–41.
- Jacyna, M., Wasiak, M., Lewczuk, K., Kłodawski, M., (2014). Simulation model of transport system of Poland as a tool for developing sustainable transport. *Archives of Transport*, vol. 31, iss. 3, 23–35.
- Jacyna, M., Żak, J., Jacyna-Gołda, I., Merksiz, J., Merksiz-Guranowska, A., Pielecha, J., (2013). Selected Aspects of the Model of Proecological Transport System. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, vol. 20, no. 3, 193–202.
- Jacyna, M., Żak, J., Pyza, D., Gołębiowski, P., (2014). Technical and environmental limitations of pro-ecological transport system designing. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, vol. 21, no. 4, pp. 555–564.
- Jacyna-Gołda, I., Żak, J., Gołębiowski, P., (2014). Models of traffic flow distribution for scenarios of the development of proecological transport system. *Archives of Transport*, vol. 32, iss. 4, 17–28.
- Jacyna-Gołda, I., Gołębiowski, P., Izdebski, M., Kłodawski, M., Jachimowski, R., Szczepański, E., (2017). The evaluation of the sustainable transport system development with the scenario analyses procedure. *Journal of Vibroengineering*, vol. 19, iss. 7, 5627–5638.
- Jacyna-Gołda, I., Lewczuk, K., Szczepański, E., Gołębiowski, P., (2014). *Rozłożenie ruchu w sieci transportowej z zastosowaniem modelu EMITRANSYS w aspekcie planowania rozwoju systemu transportowego*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Kowalewicz, A., (2009). *Podstawy procesów spalania*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
- Merksiz, J., Pielecha, J., Fuć, P., (2013). *Badania i analizy zużycia energii i emisji zanieczyszczeń przez pojazdy w sieci drogowej*. Warszawa: Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN.
- Merksiz, J., Pielecha, J., Radzimirski, S., (2012). *Emisja zanieczyszczeń motoryzacyjnych w świetle nowych przepisów Unii Europejskiej*. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
- Merksiz-Guranowska, A., Pielecha, J., (2014). *Emisja zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych a parametry ruchu drogowego*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Pyza D., Jacyna-Gołda I., Gołda P., Gołębiowski P., (2018). Alternative Fuels and Their Impact on Reducing Pollution of the Natural Environment, *Rocznik Ochrona Środowiska*, t. 20, 819–836.
- Wasiak, M., Kłodawski, M., Lewczuk, K., Jachimowski, R., Szczepański, E., (2014). Chosen aspects of simulation model to designing proecological transport system. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, vol. 21, no. 4, 525–532.
- Żak J., Gołębiowski P., Popiela K., (2018). Selected Aspects of the Environmental Friendliness Assessment of Railway Transport Using the Indicator Method. *Transport Means 2018. Proceedings of 22nd International Scientific Conference. Part II*, Kaunas: Publishing House „Technologija”, 950–955.
- Żak, J., Gołębiowski, P., (2015). Comparative analysis of the rail and road transport in the CO₂ emission. *Combustion Engines*, nr 3, 944–951.

Księgarnia internetowa Polskiego Wydawnictwa Ekonomicznego
zaprasza na zakupy **z rabatem 15%**

www.pwe.com.pl

