

ZESZYTY NAUKOWE WSEI
SERIA:
TRANSPORT I INFORMATYKA

2(1/2012)

ZESZYTY NAUKOWE
WYŻSZEJ SZKOŁY EKONOMII I INNOWACJI W LUBLINIE
SERIA: TRANSPORT I INFORMATYKA

Rada naukowa:

prof. Zdzisław Chłopek, prof. Tatiana Corejova, prof. Igor Kabashkin,
prof. Wiesław Kamiński, prof. Grzegorz Koralewski, prof. Stefan Liscak, dr Yarolaw Ludchenko,
prof. Aleksander Medvedevs, prof. Andrzej Niewczas, prof. Andrzej Sobiesiak,
prof. Maciej Sobieszczański, prof. Marek Stabrowski, prof. David Vališ.

Redakcja:

dr inż. Józef Stokłosa (Redaktor Naczelny), mgr Joanna Sidor-Walczak (Sekretarz Redakcji),
mgr Marek Szczodrak (Redaktor Techniczny)

Redaktorzy tematyczni:

prof. nzw. Tadeusz Cisowski (Logistyka i systemy transportowe),
prof. nzw. Krzysztof Olejnik (Techniczne środki transportu),
prof. nzw. Jan Kukiela (Infrastruktura transportu),
prof. nzw. Przemysław Stpiczyński (Informatyka), dr Grzegorz Wójcik (Informatyka)

Recenzenci:

dr inż. Józef Stokłosa, dr hab. inż. Zofia Józwiak,
prof. dr hab. inż. Andrzej Niewczas, dr hab. inż. Andrzej Adamkiewicz,
dr hab. inż. Paweł Drożdziel, prof. dr hab. inż. Henryk Komsta, dr hab. inż. Tomasz Nowakowski

Redaktorzy prowadzący:

Marek Szczodrak, Paulina Kamińska, Anna Konieczna

© *Copyright by* Innovatio Press Wydawnictwo Naukowe

Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji w Lublinie.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Kopiowanie, przedrukowanie i rozpowszechnianie
całości lub fragmentów niniejszej pracy bez zgody wydawcy zabronione.

Printed in Poland
Innovatio Press Wydawnictwo Naukowe
Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji
20-209 Lublin, ul. Mełgiewska 7-9
tel.: + 48 81 749 17 77, fax: + 48 81 749 32 13
www.wsei.lublin.pl

ISSN: 2084-8005

Spis treści

Marcin Buczaj, Andrzej Sumorek

Wpływ składowych RGB materiału wideo na proces identyfikacji schorzeń układu pokarmowego5

Michał Gęca, Jacek Hunicz, Paweł Kordos, Andrzej Niewczas

HCCI jako alternatywny system spalania w silnikach tłokowych17

Rafał S. Jurecki, Marek Jaśkiewicz

Bezpieczeństwo na drogach województwa świętokrzyskiego w latach 2007-2011 na tle innych regionów w Polsce27

Agnieszka Malesa

Optymalizacja wielokryterialna w zastosowaniu do zagadnień transportowych41

Zbigniew Matuszak, Agnieszka Michaluk

Charakterystyka przewozu ładunków niebezpiecznych na terenie powiatu zamojskiego51

Jerzy Merkisz, Maciej Bajerlein

Zastosowanie paneli fotowoltaicznych w autobusie miejskim w aspekcie zmniejszenia emisji substancji szkodliwych65

Ľubomír Moravčík

The (life cycle) environmental operational costs when selecting a motor vehicle79

Štefan Liščák, Krzysztof Olejnik, Grzegorz Woźniak

Propozycje i ocena możliwości zwiększenia rzeczywistej pracy przewozowej środków transportu drogowego91

Założenia projektu KÖGEL97

Roman Rak

Paneuropen project eCALL – information and forensic aspects of car emergency117

Paweł Drożdziel, Henryk Komsta, Iwona Rybicka

Analiza uszkodzeń układów bezpieczeństwa w pojazdach komunikacji zbiorowej na przykładzie trolejbusów Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie127

Jan Wrona, Rafał Wrona

Straty mechaniczne tłokowych silników spalinowych139

Marcin Buczaj*, Andrzej Sumorek**

**, **Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie*

Wpływ składowych RGB materiału wideo na proces identyfikacji schorzeń układu pokarmowego

[The influence OF components of RGB image on identification process OF illnesses of alimentary system]

Streszczenie

W procesie diagnostyki układu pokarmowego wykorzystywane są urządzenia endoskopowe. Ich głównym elementem jest końcówka z kamerą. Badanie endoskopowe układu pokarmowego umożliwia lekarzowi weryfikację i potwierdzenie hipotez dotyczących podejrzeń występowania schorzeń układu pokarmowego. Obraz rejestrowany przez kamerę endoskopową jest obrazem kolorowym, dopasowanym do parametrów percepcyjnych oka ludzkiego. W artykule zamieszczono wyniki analizy związku występowania wybranych cech charakterystycznych schorzeń wrzodowych układu pokarmowego odniesionych do poszczególnych składowych RGB obrazu. Największy nacisk położono na rozpoznawalność wybranej cechy w obrazie poddanym procesowi przetwarzania. Wyniki testów umożliwiają weryfikację przydatności koncepcji algorytmu. Przedstawiona koncepcja zakłada znaczące ograniczenie objętości materiału wideo przy minimalnym wpływie na rezultat procesu cyfrowego przetwarzania obrazu.

Słowa kluczowe: cyfrowe przetwarzanie obrazu, rozpoznawanie wzorców, układ pokarmowy, diagnostyka medyczna, urządzenia endoskopowe

Abstract

The endoscopic devices are used in diagnostic process of alimentary digestive system. The main element of the endoscopic device is the tip with a camera. Diagnostic examinations of alimentary system make possible to verify and confirm a propound hypothesis regarding suspicion of digestive system illness. Video material recorded by endoscopy camera has the form of colour image. This image is fitted to perception's parameters of human eye. This paper presents the analysis results of correlation between characteristic attributes of illnesses of alimentary system and components of RGB image in recorded video material. Recognition of selected features in the digitally processed image was top priority target. The presented conception of al-

gorithm enables reduction of video material size. The reduction of analyzed video material volume has minimal influence on research results.

Keywords: digital image processing, pattern recognition, alimentary system, medical diagnostic, devices of endoscopic diagnostic

Wstęp

Systemy wizyjne wykorzystywane w diagnostyce medycznej umożliwiają obrazowanie wybranych, najczęściej trudnodostępnych obszarów ludzkiego. Głównym zadaniem stawianym tym systemom jest jak najwierniejsze odwzorowanie obserwowanych przez kamerę narządów, organów i części ciała. Najważniejszymi parametrami technicznymi systemów wizyjnych są: rozdzielczość rejestrowanego obrazu, współczynnik odwzorowania barw oraz głębia kolorów.

Procesy realizowane przez aplikacje zarządzające i nadzorujące pracę całego systemu wizyjnego można podzielić na dwie główne części:

- związaną z realizacją zadań podstawowych – rejestracja, archiwizacja i prezentacja materiału wideo;
- związaną z realizacją zadań dodatkowych – przetwarzanie, analiza oraz rozpoznawanie obrazu, a także programowe procesy umożliwiające wspomaganie podejmowania decyzji.

Z punktu widzenia użytkownika, sposób działania systemu, przebieg procesów przetwarzania, analizy oraz rozpoznawania obrazu oraz realizowane przez system procedury zaimplementowane w algorytmie przetwarzania danych nie są istotne. Ważne jest osiągnięcie efektów związanych z poprawieniem parametrów obrazu oraz dostępem do nowych funkcji umożliwiających wspomaganie procesu diagnostycznego. Dzięki dodatkowemu przetwarzaniu obrazu uzyskuje się obraz wyższej jakości, niosący ze sobą większą dawkę istotnych danych. W rezultacie diagnosta dysponuje materiałem niosącym więcej informacji dotyczących badanego obszaru. Poprawa jakości i czytelności rejestrowanego obrazu oraz wprowadzenie dodatkowych procesów towarzyszących skutkuje zwiększeniem strumienia danych rejestrowanego materiału wideo. Zwiększenie strumienia wydłuża czas przetwarzania i analizy obrazu. Jest to istotne w przypadku zastosowania funkcji automatycznego rozpoznawania patologii i automatycznego wspomagania decyzji.

W artykule zostaną przedstawione wyniki testów dotyczących rozpoznawania występowania charakterystycznych cech schorzeń układu pokarmowego (wrzodów trawiennych) w oparciu o składowe obrazu RGB. Rozpoznawanie obszarów schorzeń odbywać się będzie poprzez analizę wyodrębnionych składowych rejestrowanego obrazu RGB oraz określanie stopnia zawartości danej cechy w obszarze schorzenia w wyodrębnionym obrazie składowym. Wyniki badań umożliwią przedstawienie koncepcji algorytmu umożliwiającego ograniczenie objętości materiałowi wideo poddawanej obróbce bez istotnego wpływu na końcowy wynik

i rezultat badań diagnostycznych. Zastosowanie takiego algorytmu w procesie automatycznego wspomaganie podejmowania decyzji może umożliwić skrócenie czasu potrzebnego na analizę materiału wideo.

1. Procesy cyfrowego przetwarzania obrazów w systemach wizyjnych diagnostyki medycznej

Procesy obliczeniowe związane z przetwarzaniem strumienia danych zawartych w rejestrowanym materiale wideo określa się mianem technik i metod przetwarzania obrazu lub technikami obrazowymi. Są one równoważne z terminem obróbki obrazu cyfrowego i łączą w sobie metody detekcji, akwizycji i przetwarzania obrazu, jego wyświetlania, a także jego rozpoznania i generowania [6, 8, 11, 17].

Proces obróbki obrazu cyfrowego, którego celem jest uwypuklenie żądanych cech obrazu, można podzielić na trzy niezależne, ale powiązane ze sobą i uzupełniające się etapy: przetwarzanie, analizy i rozpoznania obrazu. Podstawowymi narzędziami stosowanymi w procesie przetwarzania obrazu są filtry. Filtry umożliwiają uwidocznienie konkretnych żądanych cech obrazu. Za ich pomocą możliwa jest eliminacja zakłóceń, zwiększenie „czytelności” obrazu, wyeksponowanie cech ważnych z punktu widzenia pozyskiwania informacji [6, 8, 16, 17].

Analizą obrazu określa się proces polegający na znalezieniu i wyodrębnieniu z całości poddawanego cyfrowej obróbce obrazu istotnych cech obrazu z punktu widzenia użytkownika lub procesu. Podstawowymi technikami obróbki stosowanymi w analizie obrazu są segmentacja i indeksacja obrazu [5, 7, 13, 16].

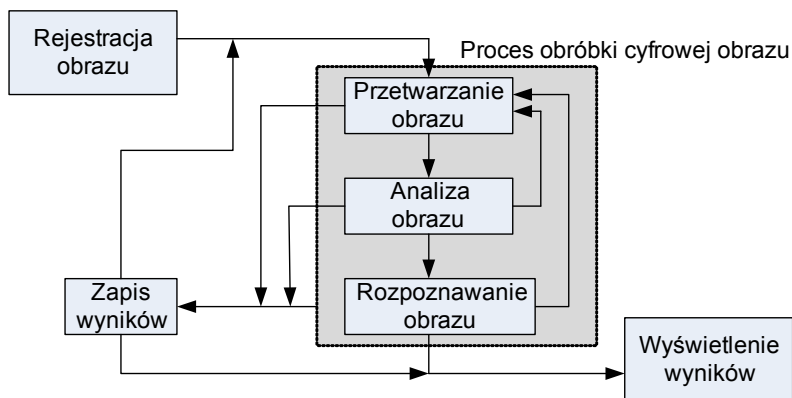
Rozpoznawanie obrazów jest procesem mającym na celu rozpoznanie przynależności rozmaitych typów obiektów do zdefiniowanych uprzednio klas. Do podstawowych metod stosowanych przy realizacji zadań związanych z rozpoznawaniem obiektów lub wzorców obrazu, stanowiących części całego poddawanego obróbce obrazu zalicza się [9, 15]:

- metody podejmowania decyzji (całościowe i strukturalne);
- funkcje przynależności (z uczeniem, z gotową funkcją i heurystyczne);
- metody recepcji (cech ilościowych, jakościowych, opisowych).

Schemat blokowy przedstawiający procesy i powiązania między poszczególnymi etapami obróbki cyfrowej obrazu od momentu zarejestrowania obrazu do momentu jego wyświetlenia realizowany za pomocą techniki cyfrowej przedstawiono na rys. 1. Całkowity proces składający się z opisywanych etapów nazywa się procesem automatycznego widzenia.

Jeżeli proces obróbki cyfrowej obrazu przebiega w sposób automatyczny lub półautomatyczny na podstawie opracowanej procedury, a jego celem jest identyfikacja treści obrazu, to taki proces określa się mianem procesu rozumienia obrazów (ang. image understanding). Obecnie w systemach wizyjnych stosowa-

nych w diagnostyce medycznej coraz powszechniej stosowane są takie układy [1, 3]. Takie systemy często nazywa się systemami wizyjnymi z wbudowaną funkcją wspomagania podejmowania decyzji lub systemami ekspertowymi.

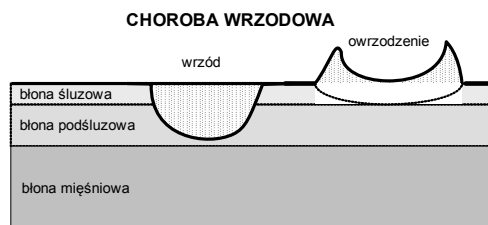


Rys. 1. Proces automatycznego widzenia

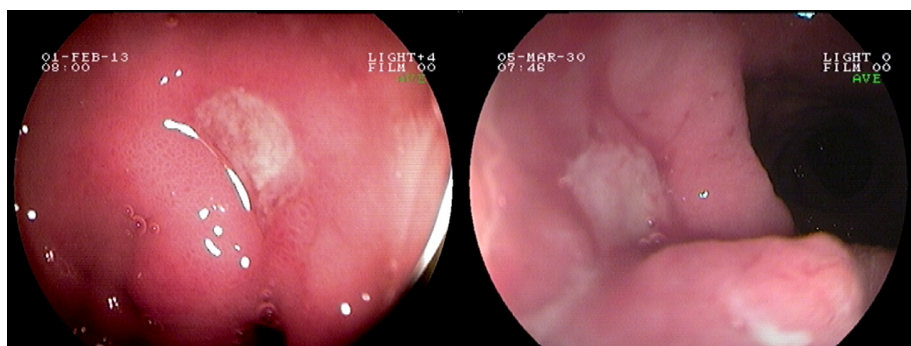
2. Obrazy schorzeń wrzodowych

Wrzody trawienne układu pokarmowego (rys. 2 i rys. 3) są okrągłymi, owalnymi bądź promieniście rozlewającymi się ubytkami w zdrowej tkance śluzowej układu pokarmowego. Są one charakterystycznymi zmianami powierzchniowymi. Mimo zdefiniowania charakteru kształtu na zdjęciach wideoendoskopowych przyjmują przeważnie nieregularne kształty. Taka sytuacja ma miejsce, ponieważ wrzody przyjmują kształt tkanki ścianek układu pokarmowego, co powoduje ich nieregularność, szczególnie przy wykonywaniu ujęć bocznych. Jak podaje literatura, zazwyczaj są to pojedyncze lub podwójnie występujące obszary patologiczne. W rozwiniętej już chorobie wrzodowej żołądka występują jako mnogie [10, 12, 14].

Cechą szczególną tych schorzeń jest silny kontrast pomiędzy obszarem zdrowej tkanki a obszarem patologicznym. W dodatku obszar patologiczny nie zachowuje struktury i tekstury zdrowej tkanki. Wewnątrz obszaru występują liczne mikrokrawędzie. Kolejną cechą charakterystyczną, występującą na granicy obszaru patologicznego i obszaru zdrowej tkanki, jest występowanie niejednolitej linii krańdziejowej, z miejscowym silnym kontrastem, a miejscami z brakiem kontrastu.



Rys. 2. Postacie chorobowe – przekrój



Rys. 3. Przykładowe obrazy endoskopowe wrzodów układu pokarmowego

3. Analiza wyboru składowych RGB na rozpoznawalność cech charakterystycznych schorzeń wrzodowych

Podstawowym założeniem algorytmu umożliwiającego zaimplementowanie w aplikacji zarządzającej pracą systemu wizyjnego kamery endoskopowej nowych procedur było takie wykorzystanie istniejących i nowych metod obróbki materiału wideo, aby liczba wykonywanych operacji obliczeniowych umożliwiała niezakłóconą i stabilną pracę całego stanowiska w trybie czasu rzeczywistego przy jednoczesnym utrzymaniu kryterium rozpoznawalności danego schorzenia.

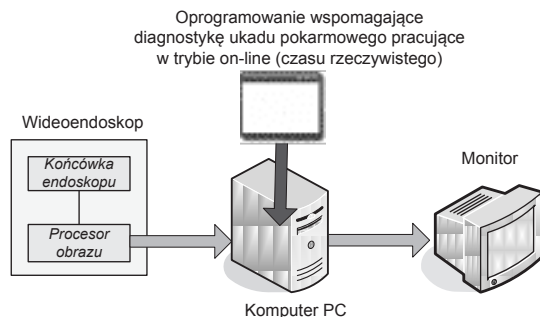
Należy pogodzić ze sobą dwa sprzeczne wymagania. Z jednej strony, ze względu na ograniczenia sprzętowe, należy dążyć do minimalizowania liczby procedur. Z drugiej strony należy umożliwić wieloparametrową analizę materiału wideo pod kątem identyfikacji maksymalnej liczby cech całego obrazu i największej liczby poszczególnych obszarów obrazu. Dodatkowo algorytm systemu rozpoznawania powinien weryfikować otrzymane wyniki analizy obrazu z zawartymi w procedu-

rach warunkami i zależnościami pomiędzy poszczególnymi charakterystycznymi cechami obrazu opartymi na wiedzy ekspertowej [1, 2, 3, 4].

Opisane wyżej założenia mogą zostać zrealizowane w kilku równoległe przebiegających procesach obróbki materiału wideo. Te równocześnie przebiegające procesy umożliwiają wychwycenie jakościowych i ilościowych cech poszczególnych schorzeń z analizowanego obrazu. Równoległe przebiegające procesy analizy materiału wideo powodują zwiększanie objętości przetwarzanych danych. W celu ograniczenia strumienia informacji poddanego obróbce, wprowadzono hipotezę o jednoczesnym występowaniu cech charakterystycznych schorzeń w poszczególnych składowych obrazu RGB oraz poddaniu analizie tylko wybranych składowych obrazu umożliwiających detekcję obrazu schorzenia z uwzględnieniem minimalizacji czasu przetwarzania.

3.1. Stanowisko badawcze

Dzięki postępowi techniki informacyjnej (większe moce obliczeniowe procesorów, dyski twarde o większej pojemności i przepustowości, zwiększanie rozmiarów i szybkości pamięci RAM), możliwe jest obecnie nie tylko wyświetlanie wyników badania diagnostycznego bezpośrednio na monitorze w trybie czasu rzeczywistego (on-line), ale również archiwizacja tych danych obrazowych oraz realizacja przez aplikację zarządzającą nowych procedur dotyczących obróbki materiału wideo w trybie on-line. Na rysunku 4 został przedstawiony schemat ideowy komputerowego stanowiska diagnostycznego umożliwiającego przeprowadzenie testów z rozpoznawaniem wzorca w obrazie przewodu pokarmowego. Współpraca urządzeń w tej prostej konfiguracji umożliwia pełne wykorzystanie parametrów posiadanego sprzętu. Efektem jest wysoka jakość przechwytywanych sekwencji wideo, możliwość archiwizacji całości lub wycinków danych. Możliwa jest prosta implementacja w proces przetwarzania materiału wideo nowych technik cyfrowego przetwarzania obrazu, pozwalających na realizację założeń pracy.



Rys. 4. Schemat blokowy stanowiska diagnostycznego

3.2. Metoda

Obraz rejestrowany za pomocą kamery jest dwuwymiarową tablicą pikseli o M wierszach i N kolumnach. Tak powstałą tablicę można zapisać jako macierz o wymiarach $M \times N$:

$$A_{M \times N(m,n)} = \begin{bmatrix} a_{0,0} & \cdots & a_{M-1,0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{0,N-1} & \cdots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

gdzie: $m=0, 1, \dots, M-1$; $n=0, 1, \dots, N-1$ są współrzędnymi poszczególnych pikseli.

Każdy element tablicy $a_{(x,y)}$ jest opisany za pomocą wektora cech. W przypadku obrazu endoskopowego wektorem cech, który zawiera informację o jasności poszczególnych składowych RGB. Każda składowa RGB opisana jest 8-bitowymi poziomami jasności. Dla punktu obrazu kolorowego rejestrowanego przez kamerę wektor cech przyjmuje postać:

$$a_{(x,y)} = \begin{bmatrix} a_{R(x,y)} \\ a_{G(x,y)} \\ a_{B(x,y)} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

gdzie: $a_{R(x,y)}$, $a_{G(x,y)}$, $a_{B(x,y)}$ – określają jasności poszczególnych składowych (czerwonej R, zielonej G, niebieskiej B).

Przygotowanie materiału do analizy polegało na zapisie 24-bitowego obrazu kolorowego oraz przetworzeniu go na 4 obrazy monochromatyczne. Poszczególne obrazy monochromatyczne przedstawiały: 3 zdjęcia 8-bitowe odpowiadające jasności poszczególnych składowych RGB oraz 1 zdjęcie 8-bitowe przedstawiające przekształcony kolorowy obraz będący obrazem wyjściowym analizy. Przetworzenie zdjęcia kolorowego zapisanego w formacie 24-bitowym na zdjęcie w formacie 8-bitowego obrazu o 256 odcieniach szarości odbywa się na podstawie zależności:

$$grey(RGB) = 0,30 \cdot R + 0,59 \cdot G + 0,11 \cdot B, \quad (3)$$

a dla zdjęć określających poziomy jasności poszczególnych składowych RGB:

$$\text{grey}(R) = 1,0 \cdot R + 0,0 \cdot G + 0,0 \cdot B, \quad (4)$$

$$\text{grey}(G) = 0,0 \cdot R + 1,0 \cdot G + 0,0 \cdot B, \quad (5)$$

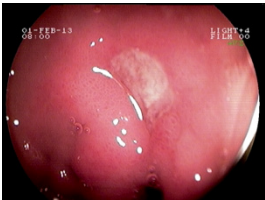
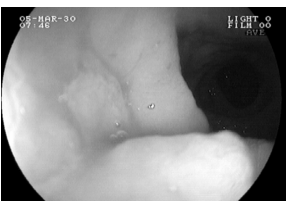
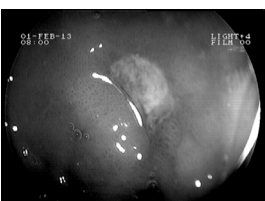
$$\text{grey}(B) = 0,0 \cdot R + 0,0 \cdot G + 1,0 \cdot B. \quad (6)$$

Przetworzone obrazy poddano subiektywnej analizie dotyczącej występowania i rozpoznawania cech charakterystycznych schorzeń wrzodowych układu pokarmowego na poszczególnych obrazach.

3.3. Wyniki testów

Poddane procesowi przetwarzania obrazu przykładowe zdjęcia schorzeń wrzodowych układu pokarmowego zamieszczono w tab. 1. Zawierają one obrazy poszczególnych składowych wektora cech (R, G, B) oraz kompletnego wektora cech przetworzone według zależności (3, 4, 5, 6).

Tab. 1. Obrazy przetworzonych zdjęć endoskopowych

	Zdjęcie – wrzód nr 1	Zdjęcie – wrzód nr 2
Obraz oryginalny RGB		
Obraz monochromatyczny grey(RGB)		
Obraz monochromatyczny grey(R)		
Obraz monochromatyczny grey(G)		
Obraz monochromatyczny grey(B)		

W codziennej praktyce analiza obrazu oraz podjęcie decyzji należy do wyszkolonego operatora endoskopu. W bieżącym przypadku, oryginalny obraz przekształcony zgodnie z zależnościami (3-5) do postaci z tab. 1. Obiekty graficzne prezentowane były 3 osobom z umiejętnością posługiwania się endoskopem oraz tak samo licznej grupie testowej stworzonej z osób, które nie pracują zawodowo

z endoskopem. Zadaniem uczestników testu było uszeregowanie obrazów pod względem czytelności, łatwości rozpoznawania obszaru patologicznego w wyświetlanym obrazie. Wszyscy oceniający dokonali identycznej oceny. Ocenę można scharakteryzować w poniższy sposób:

1. Uznano, że na wszystkich przetworzonych obrazach widoczny jest wyróżniony obszar patologiczny.
2. Łatwość rozpoznawania obszaru patologicznego jest różna dla różnych składowych RGB.
3. Rozpoznawanie obszaru patologicznego oraz jego wyrazistość jest największa w przypadku obrazu monochromatycznego przedstawiającego zawartość składowej zielonej G i niebieskiej B.
4. Rozpoznawanie obszaru patologicznego na obrazie powstałym z przekształcenia składowej G i B jest większa niż obrazu monochromatycznego zawierające cechy wszystkich składowych RGB.

Podsumowanie

Oryginalny ruchomy obraz RGB rejestrowany przez kamerę endoskopową jest przystosowany do możliwości percepcyjnych oka ludzkiego. Stanowi widok, który potencjalnie zaobserwowałby diagnosta wykonujący badanie, oglądając wnętrze układu pokarmowego przy założeniu porównywalnych warunków oświetleniowych.

W celu uzyskania informacji o występowaniu cech charakterystycznych dla schorzeń można wykorzystać tylko wybrane składowe rejestrowanego materiału wideo. Ograniczenie objętości analizowanego materiału do wybranych składowych wektora cech umożliwia zmniejszenie objętości przetwarzanych danych, co jest szczególnie istotne w przypadku wielowątkowych procesów analizy i rozpoznawania obrazów. W tym przypadku uzyskano trzykrotne ograniczenie objętości (reprezentacja 8-mio bitowa zamiast 24-bitowej).

W analizowanych przypadkach występowanie obszaru patologicznego jest widoczne na wszystkich składowych wektora cech. Rozpoznawanie obszaru schorzenia jest różne dla poszczególnych składowych obrazu. Przed przystąpieniem do ograniczania wielkości materiału wideo poddawanego dalszym etapom obróbki należy przeprowadzić badania dotyczące zawartości danej cechy w poszczególnych składowych obrazu. Dla analizowanych przypadków schorzeń wrzodowych możliwe jest ograniczenie się do analizy składowej zielonej G lub niebieskiej B obrazu.

Bibliografia

1. Buczaj M.: *Projekt oprogramowania pracującego w trybie czasu rzeczywistego wspomagający diagnostykę wideoendoskopową układu pokarmowego*. Pomiar Automatyka Kontrola, 2006, nr 5.

2. Buczaj M.: *Metody oceny wielkości schorzeń w diagnostyce endoskopowej układu pokarmowego*. Przegląd elektrotechniczny, 2008, nr 3.
3. Buczaj M.: *Wstępna klasyfikacja i segregacja obrazów endoskopowych jako proces wpływający na jakość dokumentacji medycznej*. Przegląd Elektrotechniczny, 2010, nr 7.
4. Buczaj M., Pietrzyk W.: *Mathematical models describing polypean illnesses in stomach*. Przegląd Elektrotechniczny, 2005, nr 2.
5. Chmielewski L. J.: *Metody akumulacji danych w analizie obrazów cyfrowych*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKiŁ, Warszawa 2006.
6. Jahne B.: *Digital image processing*. Wydawnictwo Springer, New York 2002.
7. Kropatsch W. G., Bischof H.: *Digital image Analysis*. Wydawnictwo Springer, New York 2001.
8. Malina W., Smiatacz M.: *Cyfrowe przetwarzanie obrazów*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2008.
9. Malina W., Smiatacz M.: *Rozpoznawanie obrazów*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2010.
10. Maratka Z.: *Endoskopia przewodu pokarmowego – diagnostyka różnicowa*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2005.
11. Mokrzycki W. S.: *Wprowadzenie do przetwarzania informacji wizualnej, cz. I. Percepcja, akwizycja wizualizacja*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2010.
12. Nagasko N., Fujimori T. i in.: *Atlas of gastroenterologic endoskop*. Wydawnictwo Igaku-Shoin, Tokyo-New York 1998.
13. Nieniewski M.: *Segmentacja obrazów cyfrowych – Metody segmentacji wododziałowej*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2005.
14. Silverstein F. E., Tytgat G.: *Endoskopia przewodu pokarmowego – Atlas*. Wydawnictwo Medycyna Praktyczna, Kraków 1998.
15. Tadeusiewicz R., Flasiński M.: *Rozpoznawanie obrazów*. Wydawnictwo PWN, Warszawa 1991.
16. Tadeusiewicz R., Korohoda P.: *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1997.
17. Woźnicki J.: *Podstawowe techniki przetwarzania obrazu*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKiŁ, Warszawa 1996.

Michał Gęca*, Jacek Hunicz*, Paweł Kordos**, Andrzej Niewczas**

**Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny,
Instytut Transportu, Silników Spalinowych i Ekologii*

***Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji*

HCCI jako alternatywny system spalania w silnikach tłokowych

Streszczenie

W pracy przedstawiono koncepcję oraz energetyczne i ekonomiczne efekty zastosowania systemu spalania HCCI (ang. homogeneous charge compression ignition) w silniku tłokowym zasilanym benzyną. System spalania HCCI wykorzystuje samozapłon mieszanki jednorodnej, co pozwala na zwiększenie sprawności cieplnej oraz radykalne obniżenie emisji tlenków azotu z cylindra w porównaniu z silnikami o zapłonie iskrowym. Aby umożliwić samozapłon benzyny, przy stopniu sprężania typowym dla silnika o zapłonie iskrowym, do dostarczania ciepła do czynnika roboczego wykorzystano wewnętrzną recyrkulację spalin uzyskaną poprzez ujemne współotwarcie zaworów. Badania eksperymentalne potwierdziły zalety tego nowego systemu spalania. W zakresie małych obciążeń uzyskano około 15% redukcję zużycia paliwa w porównaniu ze spalaniem ładunku jednorodnego przy zapłonie iskrowym oraz zmniejszenie emisji tlenków azotu o 99%.

Abstract

The paper presents an idea of HCCI (homogeneous charge compression ignition) combustion system. Efficiency improvement and ecological effects of its application were also presented in this study. The HCCI combustion system utilizes homogeneous charge auto-ignition and allows for increase of thermal efficiency and simultaneous reduction of nitrogen oxides emission in comparison to spark ignition engines. In order to achieve gasoline auto-ignition, at compression ratio typical to spark ignition engines, additional heat was introduced to working fluid via application of internal gas re-circulation obtained with the use of the negative valve overlap technique. Experimental results proved advantages of this new combustion concept. In the low load range of engine operation reduction of specific fuel consumption at level of 15% was achieved, while simultaneous drop in terms of nitrogen oxides emission was about 99%.

1. Wstęp

System spalania HCCI (ang. homogeneous charge compression ignition) wykorzystujący samozapłon jednorodnej mieszanki benzynowo-powietrznej stanowi połączenie dwóch, znanych dotychczas systemów spalania. Samozapłon mieszanki na skutek sprężania jest typowy dla silników Diesla, natomiast mieszanka jest jednorodna, co jest charakterystyczne dla silników o zapłonie iskrowym.

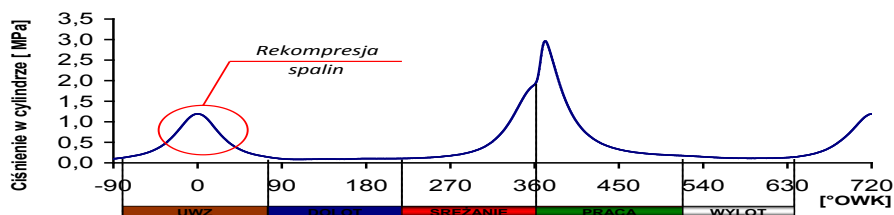
Zalety tego nowatorskiego systemu spalania zostały odkryte przypadkowo pod koniec lat 70-tych ubiegłego wieku, podczas badań nad spalaniem stukowym. Onishi i in. [12] zaobserwowali, że możliwa jest praca silnika bez wyładowania iskrowego, a emisja tlenków azotu uległa radykalnemu obniżeniu. Samozapłon został osiągnięty dzięki dużej ilości recyrkulowanych wewnętrznie spalin w silniku dwusuwowym, co pozwoliło na uzyskanie odpowiednio wysokiej temperatury końca sprężania. Wkrótce pojawiły się pierwsze prace realizowane na silnikach 4-suwowych [9].

Cechą charakterystyczną samozapłonu jednorodnej mieszanki paliwowo-powietrznej jest to, że inicjacja spalania występuje w wielu miejscach przestrzeni roboczej jednocześnie [10,14]. Dzięki temu nie ma propagacji frontu płomienia, stąd temperaturę w całej przestrzeni roboczej silnika można traktować jako jednorodną, a jej maksymalne wartości są znacznie mniejsze niż w tradycyjnych systemach spalania. Z braku lokalnych stref w cylindrze o wysokiej temperaturze wynika możliwość znaczącego obniżenia emisji tlenków azotu z cylindra.

Aby zrealizować samozapłon mieszanki benzynowo-powietrznej konieczne jest uzyskanie w cylindrze odpowiednio wysokiej temperatury końca sprężania. W celu uzyskania takiej temperatury należy doprowadzić do czynnika roboczego dodatkową energię. Dostarczenie energii do samozapłonu może odbywać się poprzez wykorzystanie entalpii spalin. Podgrzanie ładunku przez spaliny umożliwia samozapłon benzyny przy stopniach sprężania typowych dla silników o zapłonie iskrowym. Dostarczanie spalin może odbywać się na kilka różnych sposobów:

- poprzez zewnętrzną recyrkulację gorących spalin,
- zasysanie spalin z układu wylotowego podczas suwu dolotu oraz
- zatrzymywanie spalin z poprzedniego cyklu z wykorzystaniem ujemnego współotwarcia zaworów (UWZ).

Jedynym rozwiązaniem realizacji cyklu roboczego, które nadaje się do zastosowań praktycznych, jest wewnętrzna recyrkulacja spalin z wykorzystaniem ujemnego współotwarcia zaworów. Metoda ta została opisana w pracach [7, 11, 13]. W takim przypadku, w jednym cyklu pracy silnika dwukrotnie występuje sprężanie (Rys. 1).



Rys. 1. Cykl roboczy silnika HCCI

Znaczne rozrzedzenie ładunku recykulowanymi spalinami powoduje obniżenie napełnienia cylindra, a co za tym idzie, ograniczenie górnego zakresu obciążeń silnika w trybie HCCI. Aby możliwe było zastosowanie takiego systemu spalania w silniku samochodowym, musi istnieć możliwość przechodzenia w tryb pracy zapłonu iskrowego przy większych obciążeniach, a to z kolei ogranicza stosowanie dużych stopni sprężania.

Silnik HCCI o ujemnym współotwarciu zaworów może być najlepszym rozwiązaniem dla benzynowych silników tłokowych. Problemem jest jednak brak bezpośredniego sterowania chwilą samozapłonu, która wynika z przebiegu krzywej temperatury sprężania oraz samozapłonowych własności mieszaniny w cylindrze. Wcześniejsze badania autorów dowiodły, że przy wykorzystaniu ujemnego współotwarcia zaworów możliwa jest autonomiczna praca silnika bez stosowania regulacji kąta samozapłonu w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego. Ponadto, niepowtarzalność procesu roboczego wyrażona przez współczynnik zmienności średniego ciśnienia indykowanego jest znacznie mniejsza niż w silnikach o zapłonie iskrowym [6].

Powszechnie uważa się, że rozwiązanie to wyprze z rynku tradycyjne silniki o zapłonie iskrowym. Zastosowanie tego systemu spalania pozwoli na jednoczesne osiągnięcie celów, które dotychczas były ze sobą w sprzeczności. Jest to uzyskanie dużej sprawności cieplnej oraz jednoczesne obniżenie emisji tlenków azotu i cząstek stałych. Istotne jest także to, że silnik realizujący proces HCCI będzie wyposażony w dobrze znany trójfunkcyjny reaktor katalityczny spalin, pomimo spalania ubogich mieszanek paliwowo-powietrznych.

Współczesne silniki HCCI mogą pracować w ściśle określonych prędkościach obrotowych i obciążeniach. Prace badawczo-rozwojowe prowadzone w tym obszarze zmierzają do rozszerzenia zakresu pracy silnika oraz opracowania sposo-

bów sterowania w warunkach nieustalonych. Analitycy branży motoryzacyjnej przewidują, że na masową skalę będą one produkowane około 2020 roku.

Prace nad tym systemem spalania prowadzone są w wiodących ośrodkach badawczo-rozwojowych na całym świecie [5]. Pierwszym producentem, który zaprezentował samochód z silnikiem HCCI był koncern Daimler. Silnik o handlowej nazwie DiesOtto zastosowano w hybrydowym układzie napędowym samochodu koncepcyjnego Mercedes-Benz F700. Koncern General Motors także zaprezentował samochody, w których były zastosowane takie silniki, m.in. Saturn Aura oraz Opel Vectra. Pojazdy te mogą być zasilane benzyną lub alkoholem etylowym.

2. Stanowisko badawcze

W badaniach eksperymentalnych wykorzystano jednocylindrowy silnik badawczy SB 3.5. Dane techniczne silnika badawczego zostały zestawione w tabeli 1.

Tab. 1. Dane techniczne jednocylindrowego silnika badawczego SB 3.5

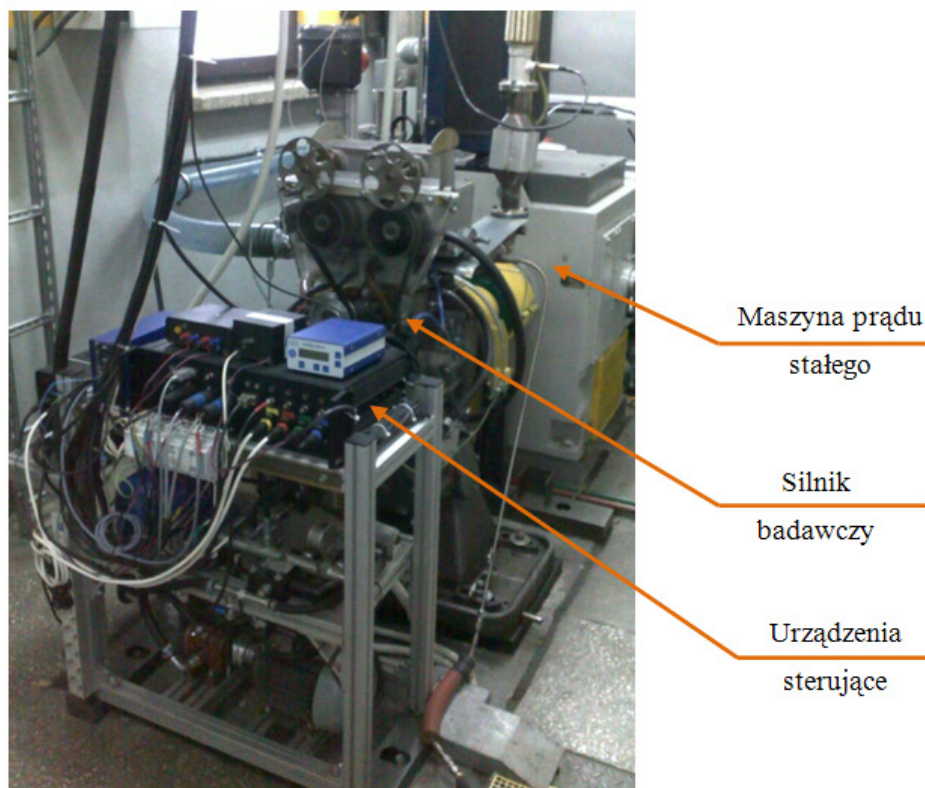
Objętość skokowa	498.5 cm ³
Średnica cylindra	84 mm
Skok tłoka	90 mm
Stopień sprężania	11.7
Liczba zaworów	2
Wznios zaworu dolotowego	2.4...9.4 mm
Wznios zaworu wylotowego	2.2...9.2 mm
Wtryskiwacz paliwa	Elektromagnetyczny generujący zawirowanie
Ciśnienie paliwa	40...110 bar
Paliwo	Benzyna LOB 95

Silnik SB 3.5 (Rys. 2) zainstalowano na stanowisku do badań dynamometrycznych wyposażonym w maszynę prądu stałego. Elementy osprzętu silnika napędzane przez zewnętrzne urządzenia. Odpowiednie ciśnienie oleju w łożyskach ślizgowych silnika zapewniała pompa elektryczna. Była ona odpowiedzialna także za ciśnienie oleju zasilającego hydrauliczny mechanizm wzniosu zaworów. Silnik chłodzono obiegiem wody składającym się z elektrycznej pompy obiegowej, wymiennika ciepła oraz grzałki.

Aby umożliwić wewnętrzną recyrkulację spalin za pomocą ujemnego współotwarcia zaworów silnik został wyposażony w mechanizm niezależnej regulacji faz rozrządu oraz wzniosu zaworów dolotowego i wylotowego. Zmianę wzniosu zaworów uzyskano za pomocą mechanizmu hydraulicznego szczegółowo opisanego w pracach [3,8]. Paliwo dostarczane było bezpośrednio do cylindra za pomocą

wtryskiwacza wirowego. Do sterowania wtryskiem paliwa i zapłonem wykorzystano autorski mikroprocesorowy sterownik.

Skład spalin mierzony był przy pomocy wieloskładnikowego systemu analitycznego typu FTIR (ang. Fourier transform infrared). Zużycie paliwa określano na podstawie pomiarów grawimetrycznych. Do pomiaru ciśnienia w cylindrze wykorzystano miniaturowy piezoelektryczny przetwornik ciśnienia, zainstalowany bezpośrednio w głowicy silnika.



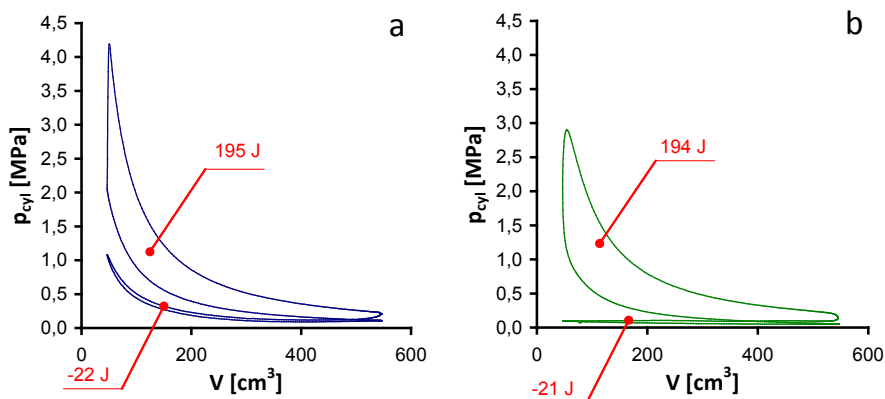
Rys. 2. Stanowisko badawcze z silnikiem HCCI

Do badań porównawczych wykorzystano również seryjny silnik o zapłonie iskrowym BMW N34B20. Silnik ten charakteryzuje się jednakowymi wymiarami komory spalania oraz stopniem sprężania takim samym, jak silnik badawczy. Silnik porównawczy również wyposażony jest w bezpośredni wtrysk benzyny. Został on szczegółowo opisany w innej pracy autorów [4].

3. Wyniki badań

Badania przeprowadzono przy stałej prędkości obrotowej wału korbowego wynoszącej 1500 obr/min. W silniku HCCI do regulacji obciążenia wykorzystano zmiany faz rozrządu oraz współczynnika nadmiaru powietrza λ .

Na rysunku 3 przedstawiono zamknięte wykresy indykatorowe silnika pracującego w trybie ZI (zapłon iskrowy) i HCCI w tych samych warunkach. Średnie ciśnienie indykowane wynosiło 0,35 MPa a współczynnik nadmiaru powietrza $\lambda = 1,05$. W przypadku pracy przy zapłonie iskrowym kąt zapłonu wynosił 25 °OWK przed GMP (górne martwe położenie tłoka).



Rys. 3. Ciśnienie indykowane w funkcji objętości nad tłokiem: a) cykl HCCI, b) cykl ZI

W przypadku spalania HCCI otrzymanie prawie idealnego cyklu Otta skutkuje zwiększeniem sprawności cieplnej silnika (Rys. 3a). Na wykresie indykatorowym ciśnienia w przypadku trybu pracy HCCI powstaje druga pętla sprężania bez spalania, która jest efektem ujemnego współotwarcia zaworów. Oczywiście, rekompresja spalin wiąże się z dużymi stratami ciepła. Lecz praca wymiany ładunku jest znacznie mniejsza niż w trybie pracy ZI, ponieważ dołot powietrza do cylindra w tym przypadku nie jest dławiony za pomocą przepustnicy. W związku z tym straty obliczone dla jednego obrotu wału korbowego obejmującego wymianę ładunku i ujemne współotwarcie zaworów nie są większe niż praca samej wymiany ładunku w trybie spalania ZI.

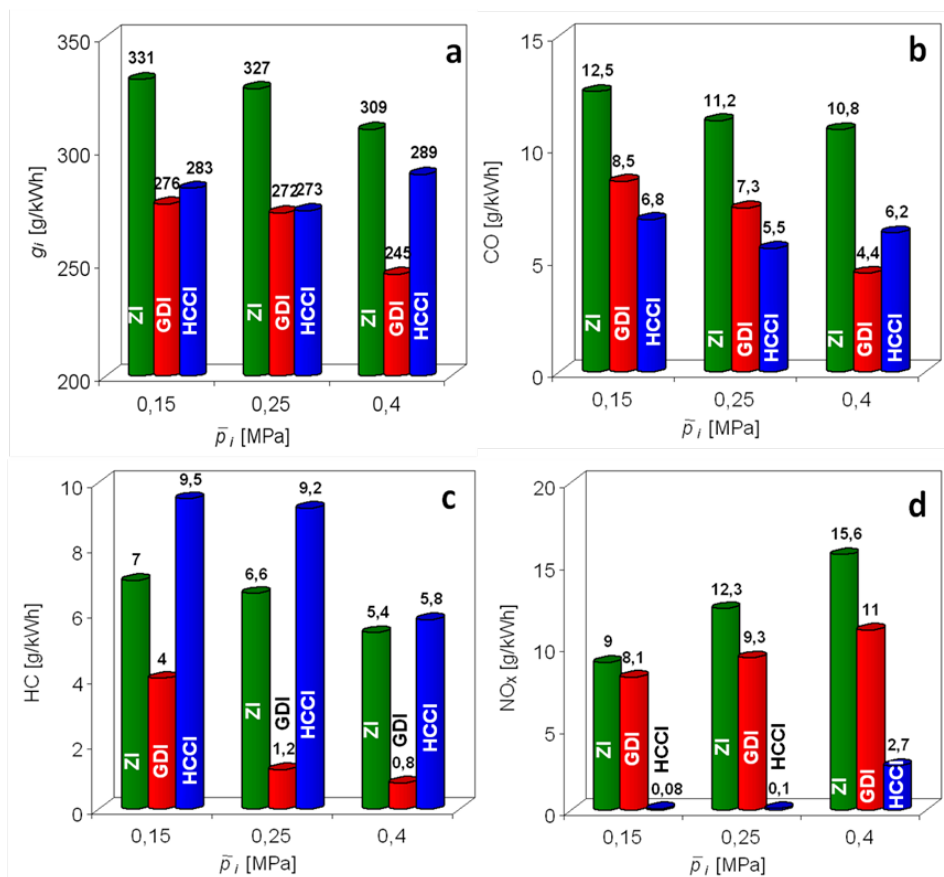
Aby zobrazować zalety silnika HCCI przedstawiono wartości emisji spalin i zużycia paliwa silnika badawczego HCCI na tle silnika seryjnego, pochodzącego

z pojazdu spełniającego normę Euro V. Silnik porównawczy pracował w dwóch trybach pracy. Skrótem ZI oznaczono pracę w trybie zapłonu iskrowego mieszanki jednorodnej, natomiast jako GDI (ang. Gasoline Direct Injection) oznaczono zapłon iskrowy mieszanki uwarstwionej.

Przy małych obciążeniach w silniku o samoczynnym zapłonie mieszanki jednorodnej uzyskano podobne wartości jednostkowego zużycia paliwa jak przy zapłonie iskrowym ładunku uwarstwowanego (Rys. 4a). Jest to jednak 15% mniej-sze zużycie paliwa niż przy zapłonie iskrowym mieszanki jednorodnej (ZI). Przy średnim ciśnieniu indykowanym wynoszącym 0,4 MPa zużycie paliwa wzrosło, choć dalej można było zauważyć poprawę w odniesieniu do tradycyjnego systemu spalania ZI.

Jednostkowa indykowana emisja tlenu węgla (Rys. 4b) w silniku HCCI przy małych obciążeniach jest znacznie niższa niż w silniku ZI, niezależnie od trybu jego pracy. Emisja tlenu węgla wzrasta przy obciążeniu 0,4 MPa, ponieważ w tym zakresie obciążenia spalana była mieszanka stechiometryczna. Natomiast w zakresie emisji niespalonych węglowodorów w silniku HCCI uzyskano zwiększenie emisji (Rys. 4c). Mogło to być spowodowane względami konstrukcyjnymi komory spalania oraz położeniem wtryskiwacza, które to nie zostały zoptymalizowane pod kątem redukcji emisji.

Emisja tlenków azotu w zakresie małych obciążeń nie przekracza granicy 0,1 g/kWh co daje około 99 % jej spadek w stosunku do silnika o zapłonie iskrowym, niezależnie od trybu pracy (Rys. 4d). Przy zwiększaniu obciążenia emisja NOX wzrasta ze względu na malejące rozrzedzenie ładunku, a co za tym idzie wzrost temperatury spalania. Przy obciążeniu wynoszącym 0,4 MPa średniego ciśnienia indykowanego emisja wyniosła 2,7 g/kWh co i tak jest znaczącym spadkiem nawet w porównaniu do silnika iskrowego spalającego mieszankę uwarstwowaną.



Rys. 4. Porównanie jednostkowego indykowanego zużycia paliwa (a) oraz jednostkowej indykowanej emisji tlenku węgla (b), niespalonych węglowodorów (c) i tlenków azotu (d) dla trzech różnych systemów spalania przy prędkości obrotowej 1500obr/min

4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono koncepcje działania silnika o zapłonie samoczynnym mieszanki jednorodnej, a także ekonomiczne i energetyczne efekty działania takiego silnika. Zestawiono wyniki otrzymane z badań silnika HCCI z wynikami badań silnika o zapłonie iskrowym spalających mieszanek jednorodną oraz uwarstwowioną.

Najważniejsze wnioski wynikające z przeprowadzonych eksperymentów można przedstawić w następujący sposób.

W porównaniu ze spalaniem ładunku jednorodnego w silniku o zapłonie iskrowym, zastosowanie systemu spalania HCCI umożliwia poprawę sprawności cieplnej i redukcję zużycia paliwa w granicach 15%.

Emisja tlenku węgla z cylindra silnika HCCI przy małych obciążeniach jest znacznie mniejsza niż w przypadku silnika z zapłonem iskrowym, niezależnie od trybu pracy.

Przy małych obciążeniach zastosowanie kontrolowanego samozapłonu umożliwiło zmniejszenie emisji tlenków azotu o 99%. Emisja wzrasta jednak bardzo szybko, wraz ze zwiększaniem obciążenia.

Bibliografia

1. Carney D.: *Internal combustion: the next generation* SAE International. Automotive Engineering, March 2008.
2. Hunicz J.: *Kontrolowany samozapłon w silniku benzynowym*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2011.
3. Hunicz, J., Kordos, P.: *Experimental Study of the Gasoline Engine Operated in Spark Ignition and Controlled Auto-Ignition Combustion Modes*. SAE Technical Paper 2009-01-2667, 2009.
4. Hunicz J., Niewczas A., Kordos P., Gęca M.: *An analysis of efficiency and exhaust emission of the gasoline spray-guided engine*. PTNSS-2011-SC-086, 2011.
5. Kowalewicz A.: *Spalanie jednorodnego ładunku wywołane samozapłonem wskutek sprężania – wyzwanie dla silników spalinowych*. PTNSS-2009-SS1-C007, 2009.
6. Koopmans L., Becklund O., Denbratt I.: *Cycle to Cycle Variations: Their Influence on Cycle Resolved Gas Temperature and Unburned Hydrocarbons from a Camless Gasoline Compression Ignition Engine*. SAE Technical Paper 2002-01-0110, 2002.
7. Koopmans L., Ogink R., Denbratt D.: *Direct Gasoline Injection in the Negative Valve Overlap of a Homogeneous Charge Compression Ignition Engine*. SAE Technical Paper 2003-01-1854, 2003.
8. Kozaczewski W.: *Zmienne fazy rozrządu – nowe rozwiązania i silnik badawczy do badania ich wpływu*. Journal of KONES Combustion Engines, vol. 8, No 3-4, pp. 182-187, 2001.
9. Najt P., Foster D. E.: *Compression-Ignited Homogeneous Charge Combustion*. SAE Technical Paper 830264, 1983.
10. Noguchi M., Tanaka Y., Tanaka T., Takeuchi Y.: *A Study on Gasoline Engine Combustion by Observation of Intermediate Reactive Products during Combustion*. SAE Technical Paper 790840, 1979.

11. Shen Y., King E., Pfahl U., Krile R., Slone E., Orban J., Wright K.: *Fuel Chemistry Impacts on Gasoline HCCI Combustion with Negative Valve Overlap and Direct Injection*. SAE Technical Paper 2007-01-4105, 2007.
12. Onishi S., Jo S., Shoda K., Jo P., Kato S.: *Active Thermo-Atmosphere Combustion (ATAC) – a New Combustion Process for Internal Combustion Engines*. SAE Technical Paper 790501, 1979.
13. Urushihara T., Hiraya K., Kakuhou A., Itoh T.: *Expansion of HCCI Operating Region by the Combination of Direct Fuel Injection, Negative Valve Overlap and Internal Fuel Reformation*. SAE Technical Paper 2003-01-0749, 2003.
14. Wilson T. S., Xu H., Richardson S.: *An experimental study of combustion initiation and development in an optical HCCI engine*. SAE Technical Paper 2005-01-2129, 2005.

Rafał S. Jurecki*, Marek Jaśkiewicz**

**dr inż., Politechnika Świętokrzyska,
Katedra Pojazdów Samochodowych i Transportu,
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, PL – 25 314 Kielce
e-mail: rjurecki@tu.kielce.pl*

***dr inż., Politechnika Świętokrzyska,
Katedra Pojazdów Samochodowych i Transportu,
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, PL – 25 314 Kielce
e-mail: m.jaskiewicz@tu.kielce.pl*

Bezpieczeństwo na drogach województwa świętokrzyskiego w latach 2007-2011 na tle innych regionów w Polsce

Streszczenie

W wyniku przemian politycznych i gospodarczych skutkujących przystąpieniem Polski do Unii Europejskiej a następnie wejściem do strefy Schengen, nastąpiło znaczące zwiększenie swobody podróżowania zarówno Polaków za granicę, jak i obywateli innych narodów do Polski. Brak ograniczeń w przemieszaniu się ludzi, podróżujących samochodami po polskich drogach spowodowało, że problemy bezpieczeństwa w ruchu drogowym, z którymi dotychczas borykali się (i zdążyli się do nich przyzwyczaić) jedynie obywatele naszego kraju stały się tematem otwartym. Obcokrajowcy łatwo mogli się zapoznać ze specyfiką ruchu drogowego w Polsce, jak również na własne oczy zobaczyć, sceny związane z zdarzeniami drogowymi na polskich drogach.

Niniejszy artykuł zawiera ocenę stanu bezpieczeństwa w ruchu drogowym w Polsce w ostatnich 5 latach, czyli na przełomie lat 2007-2011. Dokonano w nim analizy wypadkowych danych statystycznych, dzięki której możliwe jest wykrycie pewnych tendencji, charakterystycznych cech warunkujących powstawanie wypadków drogowych w różnych regionach kraju.

Analizie poddano dane statystyczne dotyczące liczby wypadków drogowych zaistniałych w poszczególnych województwach, osób w nich zabitych i rannych.

Szczególnej uwadze poświęcono województwu świętokrzyskiemu i zaprezentowano zestawienia, jak na tle innych województw się ono prezentuje.

Dokonano analizy przyczyn mogących mieć wpływ na występowanie znaczących różnic pomiędzy poszczególnymi województwami w wybranych wskaźnikach wypadkowych charakteryzujących między innymi ciężkość wypadków dro-

gowych takich jak: liczba osób zabitych i rannych na 100 wypadków, czy też liczby wypadków i zabitych odniesionych do populacji. Przeprowadzono analizę danych statystycznych dotyczących wypadków, przyczyn ich powstawania oraz skutków, jakie niesły w poszczególnych województwach.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, wypadek, statystyka wypadków

Summary

This paper presents an assessment of safety on Polish roads. We analyzed statistical data on road accidents occurred in different provinces at the turn of 2000-2010 and drew attention to the differences in the number of road accidents recorded between them. Made an analysis of statistical data on accidents and effects which bore in each province. Presented as compared to other provinces is presented Świętokrzyskie.

Keywords: safety, accident, accident statistics

Wprowadzenie

Polskie drogi od wielu lat są jednymi z najbardziej niebezpiecznych dróg w Europie. Rokrocznie notowanych jest na nich kilkadziesiąt tysięcy wypadków drogowych, w których śmierć ponosi kilka tysięcy osób, zaś kilkadziesiąt tysięcy trafia do szpitali z mniej lub bardziej poważnymi obrażeniami ciała. Na skutek odniesionych obrażeń wiele z osób rannych nie jest w stanie odzyskać w pełni sprawności fizycznej i psychicznej.

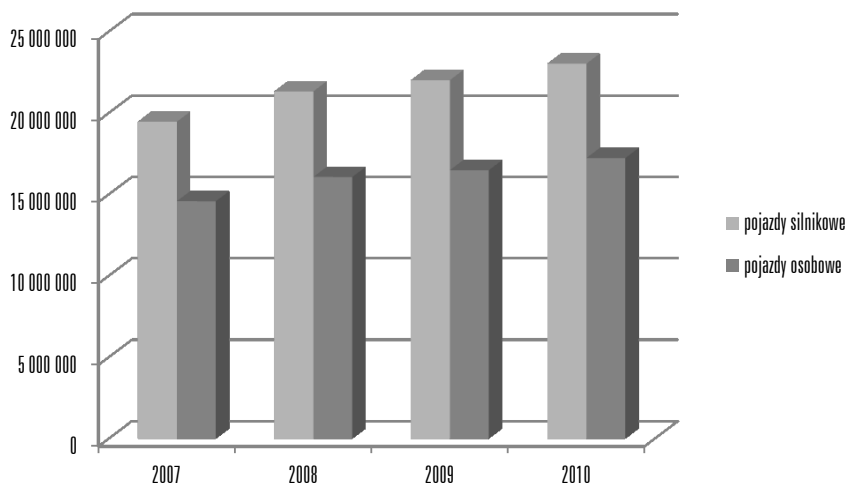
W wielu publikacjach [1,2,3] autorzy starają się dokonywać różnych analiz dotyczących stanu bezpieczeństwa na polskich drogach. W ten sposób próbuje się znaleźć przyczynę lub chociaż nakreślić w przybliżeniu, co może być powodem stosunkowo niskiego poziomu bezpieczeństwa na polskich drogach. Postawienie diagnozy może bowiem w przyszłości umożliwić znalezienie sposobu na to, by polskie drogi stały się znacznie bezpieczniejsze i w perspektywie pewnego okresu czasu, by osiągnęły w tym zakresie średni europejski standard bezpieczeństwa.

Autorzy niniejszego artykułu dokonali oceny danych statystycznych dotyczących wypadków drogowych ze szczególnym uwzględnieniem ich występowania, skutków jakie za sobą niosą w różnych województwach w tym w województwie świętokrzyskim.

1. Liczba wypadków w Polsce

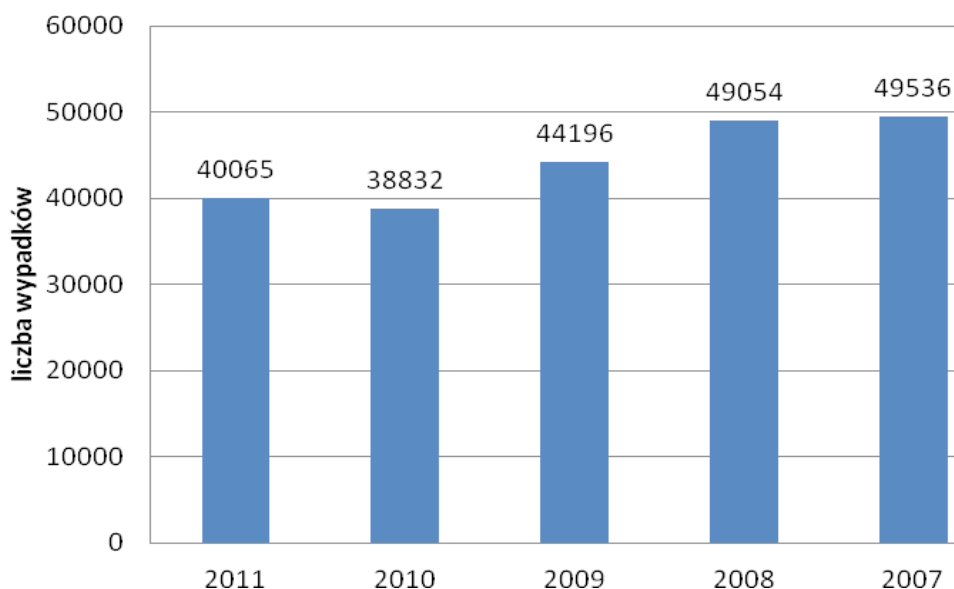
Liczba pojazdów silnikowych [5, 6] (rys. 1) w Polsce w ciągu ostatnich 5 lat wzrosła z około 19,5mln sztuk do ponad 23mln, z czego prawie przyrost 3 mln sztuk w tym okresie stanowiły samochody osobowe, których liczba na koniec

2010 roku przekroczyła 17 mln. sztuk. W Polsce w roku 2010 na 1000 mieszkańców przypadało już blisko 450 pojazdów, co zbliżyło Polskę do średnich wartości tego wskaźnika w innych krajach w Europie [5]. Wraz ze wzrostem liczby samochodów na polskich drogach występowała zmiana zaistniałych zdarzeń drogowych i ich skutków.



Rys. 1. Porównanie liczby pojazdów silnikowych oraz osobowych w Polsce w latach 2007-2011

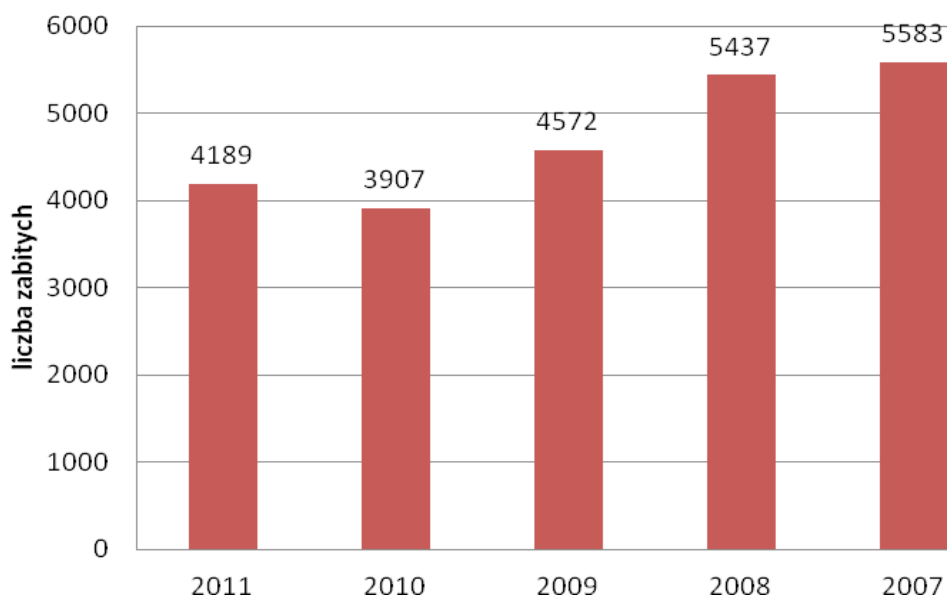
Liczba wypadków drogowych (rys. 2) zanotowana w roku 2010 zmalała w stosunku do roku 2007 o 11 tys. zdarzeń, czyli o ponad 22% [5]. W tym samym czasie liczba osób zabitych (rys. 3) zmniejszyła się o 1676 i spadła o 30%. W przypadku osób rannych (rys. 4) zanotowano w tym okresie również znaczące spadki [3]. Zaprezentowane liczby świadczyć mogą o postępie w zakresie poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego jaki następuje na naszych drogach. Można jednak postawić pytanie czy owa poprawa bezpieczeństwa ruchu drogowego jest odczuwalna na drogach? Czy poprawa bezpieczeństwa występuje we wszystkich rejonach Polski podobnie? Czy też istnieją tereny gdzie poprawa jest naprawdę odczuwalna, a być może gdzieś indziej sytuacja na drogach uległa pogorszeniu?



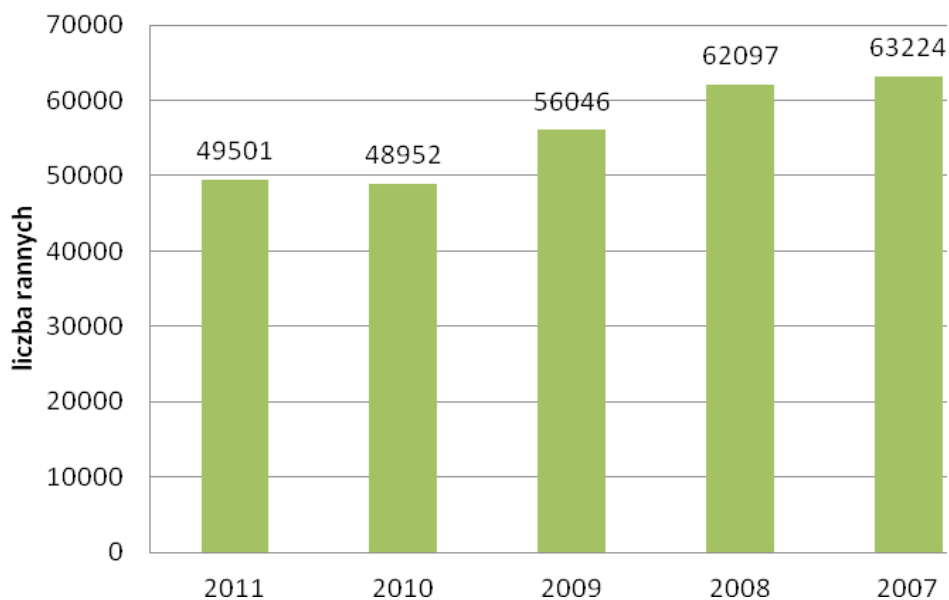
Rys. 2. Liczba wypadków w Polsce w latach 2007-2011

Analizując dane statystyczne dotyczące liczby wypadków drogowych (rys. 2) można powiedzieć, że nastąpiła w tym zakresie znacząca zmiana ilościowa [5]. Niestety dane dotyczące wypadków w dalszym ciągu są zatrażające i w porównaniu z innymi krajami europejskimi, można stwierdzić, że aby uzyskać choć zbliżone do nich wskaźniki wypadkowe droga jest jeszcze długa.

Liczba osób (rys. 3), które ponoszą śmierć w wypadkach drogowych lokuje Polskę na 1 miejscu w UE [6], a wskaźnik liczby zabitych przypadających na 100 wypadków jest w Polsce jednym z najwyższych w Europie i w roku 2010 wynosił niewiele ponad 10 (Niemcy, Wielka Brytania, Włochy, Austria, Szwecja poniżej 2) [3]. W Niemczech, gdzie notowana liczba wypadków przekracza ponad 5-krotnie liczbę wypadków w Polsce, liczba zabitych osób oscyluje na poziomie 4-4,5 tys. czyli tylko o kilkanaście procent jest wyższa niż w Polsce [3]. Śmiertelność w wypadkach drogowych w Polsce jest kilkakrotnie większa niż w innych krajach UE [3]. W roku 2012 zanotowano niewielki wzrost liczby zabitych w stosunku do rekordowego (wartości najmniejszej w historii) roku 2010. Liczba rannych (rys. 4) również w ostatnich latach stopniowo spada, choć w roku 2011 zanotowano niewielki jej wzrost.



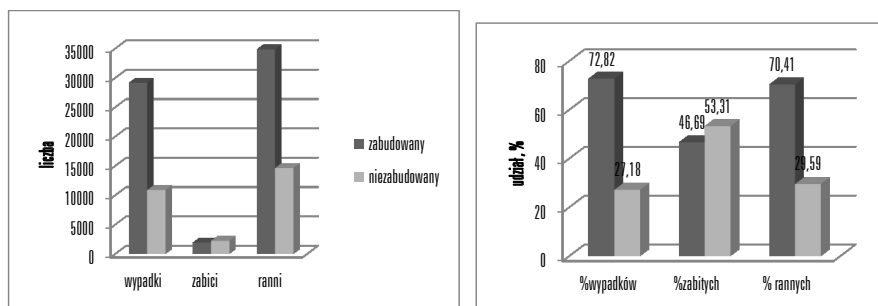
Rys. 3. Liczba zabitych w wypadkach w Polsce w latach 2007-2011



Rys. 4. Liczba rannych w wypadkach w Polsce w latach 2007-2011

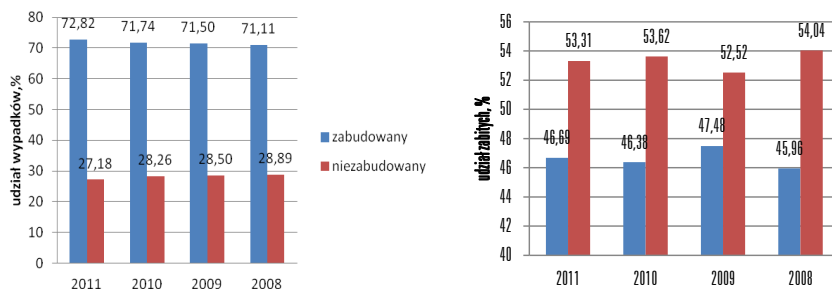
2. Miejsce wypadków w Polsce

Analizując miejsce wystąpienia wypadków drogowych (rys. 5) w roku 2011 można powiedzieć, że najczęściej bo prawie 73% wypadków miało miejsce w obszarze zabudowanym [5]. Wypadki te niosą jednak są nieco mniej tragiczne, bowiem ich skutkiem jest „tylko” 46,7% zabitych i aż 70% rannych. Wynik dotyczący osób zabitych jest z pewnością powodem znacznie mniejszych prędkości osiągniętych w terenie zabudowanym. Wypadki poza terenem zabudowanym zdarzają się rzadziej, ale „śmiertelność” poszkodowanych jest w nich znacznie większa.



Rys. 5. Udział wypadków i ich skutki w obszarach zabudowanym i niezabudowanym w 2011 r.

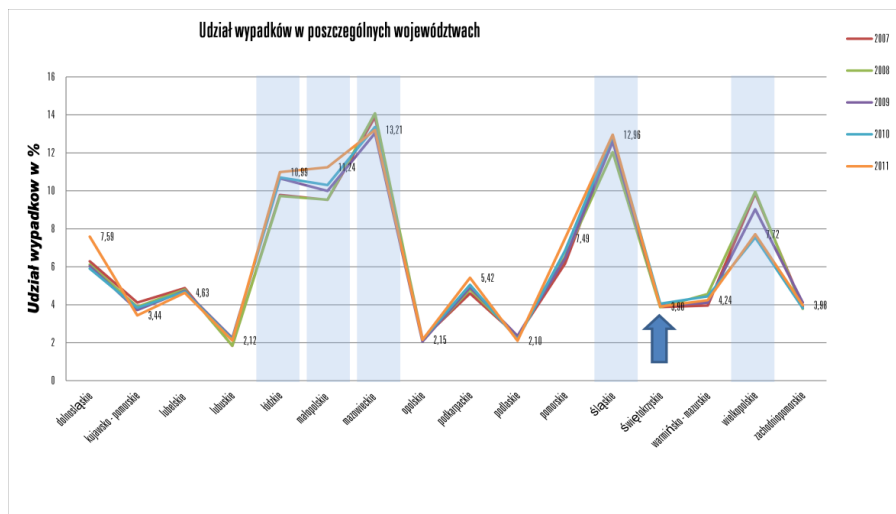
Analizując zestawienie z rys. 6, można zauważyć, że udziały wypadków na terenach zabudowanym i niezabudowanym pozostają w ciągu ostatnich 5 lat na prawie niezmiennym poziomie. Pomimo zmiany ilościowej w liczbie wypadków oraz ofiar, ten udział jest niemal identyczny. Co może być powodem takiego stanu rzeczy? Być może pomimo wielu inwestycji w infrastrukturę drogową polskie drogi pod względem bezpieczeństwa nie zmieniły swojego oblicza. Nie uległa znaczącej zauważalnej zmianie specyfika ruchu na polskich drogach. Ciągłe oddawane do użytkowania nowo wyremontowane odcinki dróg, nowo budowane drogi ekspresowe i autostrady, to jednak jeszcze obecnie nie daje zauważalnego efektu.



Rys. 6. Udział wypadków i osób zabitych na terenach zabudowanym i niezabudowanym w latach 2007-2011

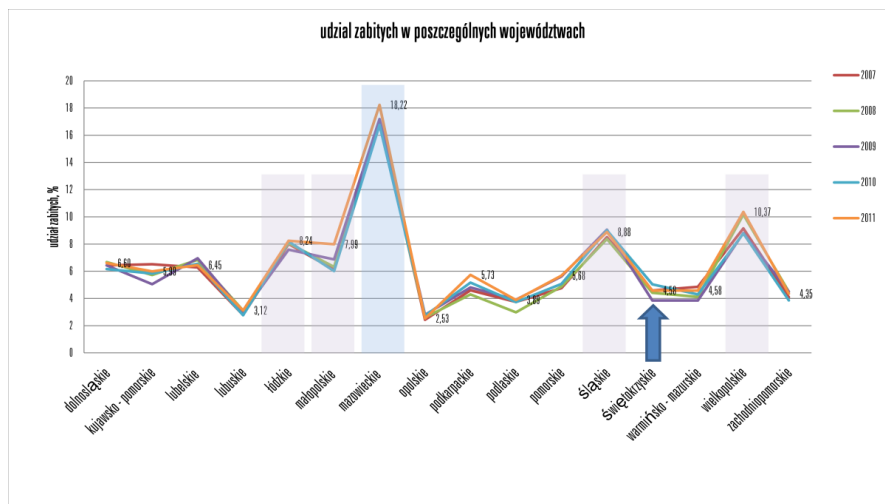
3. Udział wypadków w poszczególnych regionach Polski

Pewne spostrzeżenia dotyczące wypadków drogowych w Polsce można wysnuć analizując ich występowanie w poszczególnych województwach – rys. 7 [5]. Udział poszczególnych województw w całkowitej liczbie wypadków podlega niewielkim wahaniom. W Polsce w okresie ostatnich 5 lat najwięcej wypadków miało miejsce na drogach 5 województw: łódzkiego, małopolskiego, mazowieckiego, śląskiego i wielkopolskiego. Swoim obszarem obejmują one ponad 35% powierzchni Polski a zamieszkuje na ich terenie blisko 55% polskich obywateli. Na drogach tych województw notowane jest w sumie ponad 50% wszystkich wypadków w Polsce. Województwo świętokrzyskie na tle innych województw charakteryzuje się stosunkowo niskim udziałem wypadków, który wynosi około 4% [5].



Rys. 7. Udziały wypadków w poszczególnych województwach na przełomie lat 2007-2011

W wypadkach na polskich drogach ginie corocznie kilka tysięcy osób. Pod względem udziału osób zabitych w wypadkach drogowych niechlubne pierwsze miejsce ma województwo mazowieckie (wraz z Warszawą) – rys. 8 [5]. Analizując udział osób zabitych w wypadkach można stwierdzić, że województwo mazowieckie notowało w latach 2007-2011 udział około 18%. Inne województwa takie jak: łódzkie, małopolskie, śląskie czy też wielkopolskie notowały znacznie niższe wyniki a ich udział wynosi 8-10%. Udział liczby osób zabitych w wypadkach drogowych (podobnie jak i samych wypadków) na przełomie 5 rozpatrywanych lat nie zmienia się znacząco, co może oznaczać, że każde z województw posiada swoją specyfikę obejmującą infrastrukturę drogową, specyficzne przyzwyczajenia kierowców i inne cechy, które mogą determinować analizowane dane, a które jednocześnie diametralnie nie zmieniają się na przełomie rozpatrywanego okresu [5]. Województwo świętokrzyskie pod względem udziału zabitych w wypadkach ma około 4.6% udział w całkowitej liczbie wypadków.

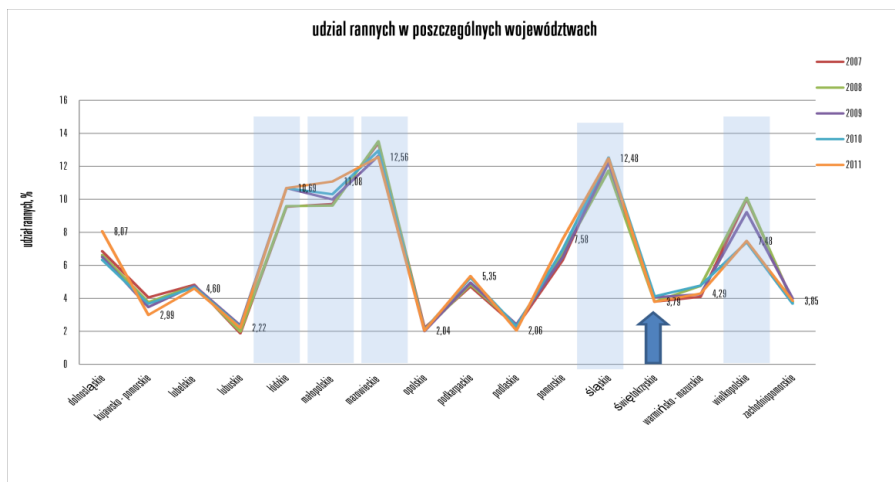


Rys. 8. Udziały zabitych w wypadkach w poszczególnych województwach na przełomie lat 2007-2011

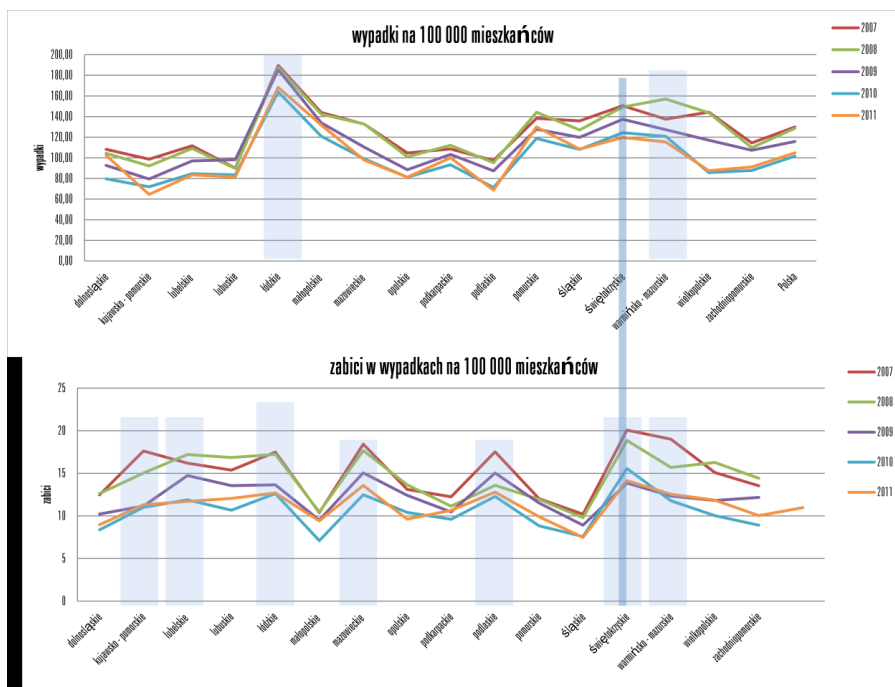
Podobny trend, jak w przypadku liczby wypadków można zaobserwować analizując liczbę osób rannych w poszczególnych województwach (rys. 9) [5]. Spadek liczby rannych jest zauważalny szczególnie w latach 2009-2010, gdzie w większości województw osiągnięto minimalne wartości w rozpatrywanym okresie. Województwo świętokrzyskie podobnie jak inne mniejsze województwa ma niewielki udział w liczbie osób rannych w wypadkach drogowych.

Notowane rezultaty mogą zależeć od wielu czynników np. specyfiki danego województwa, ukształtowania terenu, specyficznych warunków atmosferycznych, zaludnienia, gęstości sieci drogowej i wielu innych. Trudno jednak ocenić, które z nich mogą mieć decydujący wpływ.

Na rys. 10 przedstawiono, jak kształtuje się liczba wypadków w przeliczeniu na liczbę mieszkańców w danym województwie [5]. Pod tym względem najwyższe wskaźniki na przełomie lat 2007-2011 notuje województwo łódzkie (2011 – 168) i świętokrzyskie (2011 – 119), najniższe województwo kujawsko-pomorskie (2011r – 64). W roku 2011 10 województw miało wskaźnik niższy niż średni dla Polski wynoszący 104,9 (w 2007 roku wynosił on 129). Podobną analizę przeprowadzono dla liczby zabitych w wypadkach w odniesieniu do 100 000 mieszkańców. Najgorsze wyniki w 2011r osiągnęło województwo świętokrzyskie 14,14, najlepsze śląskie – 7,48. Średnia dla Polski w roku 2011 wynosiła 10,96 podczas gdy jeszcze w roku 2007 wynosiła aż 14,65 [5].

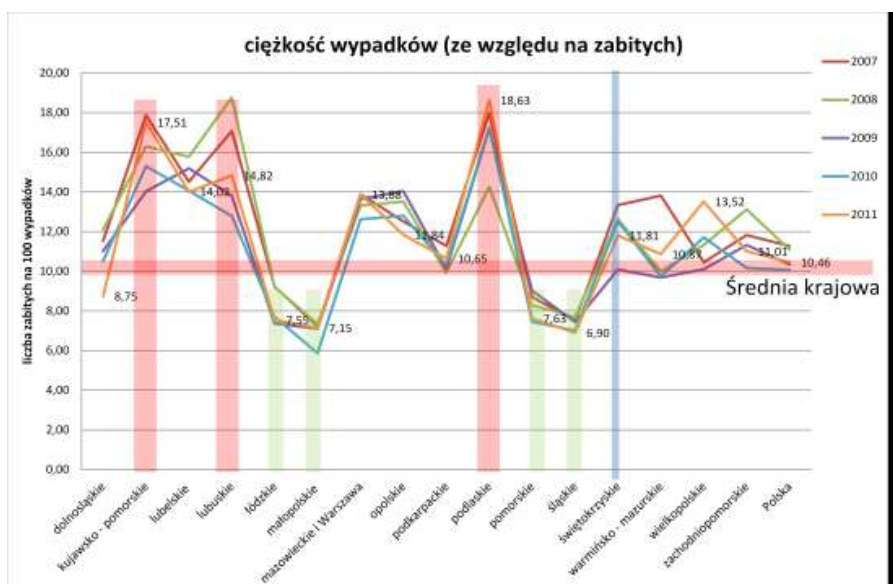


Rys. 9. Udziały rannych w wypadkach w poszczególnych województwach na przełomie lat 2007-2011



Rys. 10. Wypadki i zabici w wypadkach w poszczególnych województwach w przeliczeniu na mieszkańca

Średnia wartość ilości zabitych przypadająca na 100 wypadków (rys.11) w Polsce wynosi niewiele ponad 10 i tylko kilka z województw: łódzkie, małopolskie, pomorskie i śląskie posiada wartości wskaźnika poniżej tej średniej [5]. Trzeba wspomnieć, że i tak te wartości są kilkakrotnie większe aniżeli taki sam wskaźnik notowany w Niemczech czy Austrii. Najwyższe wartości tego wskaźnika notowane są w województwach kujawsko-pomorskim, lubuskim i podlaskim. W województwach tych wypadki, które miały miejsce na ich obszarze niosły za sobą znacznie większe ryzyko śmierci. „Rekordzistą” pod tym względem jest województwo lubuskie, które w ostatnich 5 latach notowało „najwyższe” wyniki, choć warto jednak zauważyć, że w ciągu ostatnich lat wartość wskaźnika dla tego województwa znacząco się zmniejszyła [6]. Skąd takie wartości? Co jest przyczyną tak dużej śmiertelności osób poszkodowanych w wypadkach. Być może powodem jest niedoskonałość dróg, bowiem na terenie tych województw występują tylko niewielkie odcinki dróg najbardziej bezpiecznych tzn. ekspresowych lub autostrad. Być może specyfika ruchu drogowego, w tym ruchu tranzytowego i przygranicznego może mieć na to wpływ.



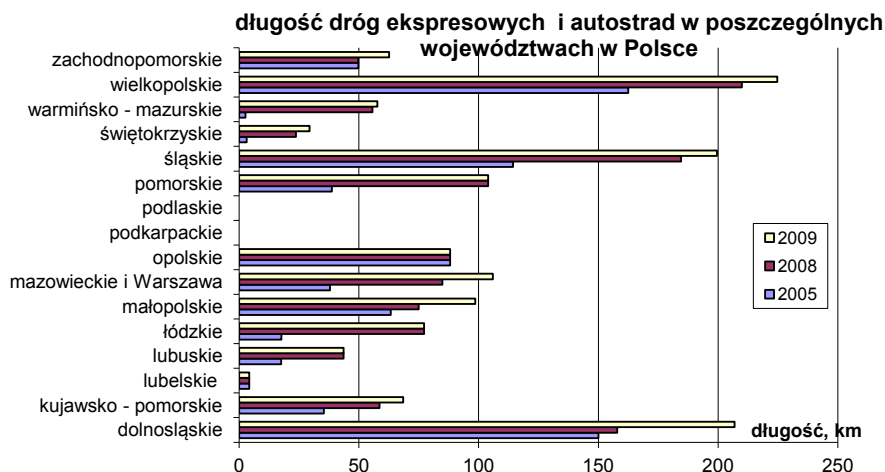
Rys. 11. Ilość zabitych przypadająca na 100 wypadków w latach 2007-2011

Analizując liczbę wypadków na polskich drogach warto brać pod uwagę bardzo aspekt związany z infrastrukturą drogową – jakość i rodzaj dróg [5, 6]. Dane wypadkowe potwierdzają, że na drogach dwukierunkowych jednojezdniowych i na drogach o dwóch jezdniach jednokierunkowych wypadki zdarzają się najczęściej

i stanowią w sumie ponad 95% wszystkich wypadków [5]. Na innych drogach kierowcy powodują znacznie mniej wypadków: autostrady i drogi ekspresowe w sumie ok. 1%, drogi jednokierunkowe ok. 3%.

Co równie ważne podkreślenia, na drogach bez wydzielonych pasów jezdni (a takich w Polsce jest najwięcej) w wypadkach ginie znacznie więcej ofiar. W wypadkach na drodze dwukierunkowej jednojezdniowej ponosi śmierć blisko 88% ofiar, na drodze o 2 jezdniach blisko 10%. Pozostałe 2 % ofiar śmiertelnych to ofiary wypadków, które miały miejsce na innych rodzajach dróg. Po analizie tych danych można przyjąć z nadzieją działania zmierzające do modernizacji dróg, budowy dróg ekspresowych i autostrad, które jak niosą za sobą najmniejsze ryzyko wypadku w ruchu drogowym.

Na rys. 12 przedstawiono jak kształtuje się w poszczególnych województwach długość najbardziej bezpiecznych zarówno pod względem ilości wypadków, jak i ofiar rodzajów dróg tzn. dróg ekspresowych i autostrad. Analizując te dane można zauważyć, że długość takich dróg w większości województw rośnie, choć są też województwa, gdzie takowych na koniec 2009 roku nie było wcale (województwa: podkarpackie, podlaskie). Rozmieszczenie tych dróg jest również niejednakowe. Najwięcej dróg ekspresowych i autostrad znajduje się w województwach wielkopolskim, śląskim i dolnośląskim. Warto zauważyć również, że liczba tych dróg od roku 2005 wzrosła z 785 km do ponad 1370km [6]. Województwo świętokrzyskie pod względem dugosci takich dróg nie prezentuje się najlepiej, choć realizowane



Rys. 12. Długość dróg ekspresowych i autostrad w poszczególnych województwach [6]

Taki udział autostrad w całkowitej liczbie dróg oczywiście nie sprzyja zmniejszeniu się ilości wypadków ani też ograniczeniu ewentualnych ich skutków. Od kilku lat prowadzone są badania prowadzone przez Euro RAP [8] klasyfikujące polskie drogi pod względem ryzyka, na jakie narażone są uczestnicy ruchu. Wielkość ryzyka określone jest wskaźnikami – ilością pojazdów poruszających się po danej drodze w stosunku do ilości zdarzeń z ofiarami śmiertelnymi i ciężko rannymi. Z map ryzyka na drogach krajowych w Polsce w latach 2007-2009 wynikało, że:

- 50% długości dróg krajowych, to „czarne odcinki” o najwyższym poziomie ryzyka,
- 61% wszystkich wypadków z ofiarami śmiertelnymi i ciężko rannymi na drogach krajowych ma miejsce na „czarnych odcinkach”,
- tylko 9% długości dróg krajowych spełnia kryteria bardzo małego i małego ryzyka przyjęte przez EuroRAP dla podstawowej sieci dróg; są to odcinki autostrad oraz dwujezdniowych dróg ekspresowych,
- 80% długości dróg krajowych, to „czarne i czerwone odcinki”.

Wnioski

Polskie drogi od wielu lat są jednymi z najniebezpieczniejszych dróg w Europie. Zaległości odziedziczone po poprzednim systemie powodują, że polskie drogi są niewydolne transportowo. Wzrastająca liczba samochodów powoduje wzrost zagęszczenia ruchu. W Polsce dominującymi drogami są drogi dwukierunkowe jednojezdniowe i na nich najczęściej dochodzi do wypadków. Na podstawie prezentowanych danych wypadkowych nie można jeszcze zauważyć znaczącego wpływu różnych przedsięwzięć infrastrukturalnych na bezpieczeństwo ruchu drogowego, bowiem drogi ekspresowe i autostrady stanowią w Polsce niewielki ułamek [4] wszystkich dróg o nawierzchni ulepszonej. W wielu województwach nie są realizowane wciąż żadne inwestycje w drogi ekspresowe nie mówiąc już o autostradach, a te jak udowodniono w referacie są to najbardziej bezpieczne drogi. Innym problemem jest dostępność korzystania z tych dróg i ich rozmieszczenie, jak również świadomość kierowców.

Województwo świętokrzyskie na tle innych województw prezentuje się nieźle. Zarówno udział wypadków, zabitych i rannych jest poniżej średniej krajowej. W odniesieniu do liczby zabitych na 100 000 mieszkańców wskaźnik ten wyniósł w roku 2011 aż 14,14 i był najwyższy w kraju. Wskaźnik ciężkości wypadków odnoszący liczbę zabitych na 100 wypadków był nieznacznie wyższy od średniej krajowej.

Na terenie województwa świętokrzyskiego prowadzonych jest wiele inwestycji drogowych (np. droga S7, 74), które w przyszłości mogą usprawnić transport na jego terenie i poprawić wskaźniki dotyczące wypadków.

Literatura

1. Jurecki R.: *Wypadki drogowe w Polsce, skutki i przyczyny*. III Konferencja Naukowo Techniczna „Problemy Bezpieczeństwa w Pojazdach drogowych”. Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej seria Mechanika 2002, Nr. 7, s. 223-232.
2. Kisilowski J., Zalewski J.: *Wybrane problemy analizy przyczyn wypadków drogowych w Polsce w latach 1995-2004*. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2008, 1, s. 37-43.
3. Kucharz A.: *Wypadki drogowe w Polsce i Wybranych krajach UE*. Wydział Analiz Ekonomicznych i Społecznych kancelarii Sejmu RP. Informacja nr 1144, Sierpień 2005, http://biurose.sejm.gov.pl/teksty_pdf_05/i-1144.pdf.
4. Materiały Głównego Urzędu Statystycznego RP ze strony www.gus.gov.pl.
5. Materiały Komendy Głównej Policji ze strony <http://www.statystyka.policja.pl/>.
6. Materiały Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, http://www.gddkia.gov.pl/article/drogi_i_mosty/autostrady//index.php.
7. Eurostat Statistical Book Panorama of Transport, 2009, http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-DA-09-001/EN/KS-DA-09-001-EN.PDF.
8. EuroRAP, European Road Assessment programme <http://ten-t.eurorap.org/> analysis of Safety on polish Roads in 2000-2010 Years.

Agnieszka Malesa*

**Politechnika Warszawska, Wydział Transportu,
Studium Doktoranckie*

Optymalizacja wielokryterialna w zastosowaniu do zagadnień transportowych

Streszczenie

Na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat znacząco wzrosło zapotrzebowanie na transport i usługi logistyczne. Proces cały czas trwa, a tendencja wzrostowa, będzie się utrzymywać jeszcze przez długi czas.

Na rosnące potrzeby konsumentów odpowiadają także wielkie korporacje, które prześcigają się w tym, aby dostarczyć jak najlepsze i najbardziej zgodne z ich oczekiwaniami produkty, w najkrótszym czasie. Wzrost znaczenia transportu zmusił, więc część firm, zwłaszcza korporacyjnych, do korzystania z usług transportowych firm zewnętrznych. Powstało wiele centrów logistycznych, które oferują kompleksowe usługi transportowe i logistyczne. Firmy te często borykają się z wieloma problemami takimi, jakimi są np. koszty transportu, koszty magazynowania, koszty związane z opóźnieniami w dostawach. Z jednej strony pożądana jest maksymalizacja zysków, z drugiej minimalizacja kosztów. Trudno jest, w takim przypadku, w sposób jednoznaczny uzyskać rozwiązanie optymalne, gdyż postawione cele są przeciwstawne. Istnieją jednak metody, które pozwalają wypracować rozwiązania kompromisowe, w pewnym zakresie optymalne. Są to metody optymalizacji wielokryterialnej. Jedną z takich metod jest wielokryterialna metoda simplex, której główna idea zostanie w artykule przedstawiona.

Summary

Over the last twenty years, demand for transport and logistic services increased significantly. This process takes place all the time and the growing trend will be maintained still for a long time.

Large corporations also respond to growing needs of consumers and compete with each other in order to provide them with products that are best and most consistent with their expectations, in the shortest time possible. Thus, the growth in importance of transport has forced a part of companies, especially corporate ones, to use transport services of external companies. Many logistic centers have been created, which offer complex transport and logistic services. These companies often grapple with many problems, such as e.g. transport costs, warehousing

costs, costs related to delays in deliveries. On the one hand, it is desired to maximize profits, while, on the other hand – to minimize costs. In such a case, it is difficult to obtain, in an unambiguous manner, the optimal solution, as the assumed goals are contrary. However, there are methods that enable us to develop compromise solutions, optimal to some extent. These are methods of multi-criteria optimization. One of such methods is a multi-criteria simplex method, the main idea of which will be discussed in this article.

Wstęp

Złożoność procesów transportowych niesie za sobą konieczność poszukiwania nowych rozwiązań, pozwalających na skuteczną ich optymalizację. W obecnych czasach proces ten, występuje nie tylko w transporcie, ale często także w naszym życiu codziennym. Optymalizujemy zapasy żywności, budżet rodzinny, czas pracy, drogę do/ze szkoły. Czym zatem są rozwiązania optymalne i czy dla każdego w danej sytuacji i środowisku istnieje tylko jedno rozwiązanie, które jest tym najbardziej pożądanym? Otóż nie, dla każdego podejmującego decyzję, rozwiązaniem optymalnym problemu może być coś zupełnie innego. Wszystko zależy od preferencji i stanu wiedzy, jaką w danej chwili posiada osoba decydująca, a także od środowiska i warunków, w jakich przyszło jej podejmować decyzje.

Najkrócej mówiąc: *”Optymalizacja – jest to metoda wyznaczania najlepszego (optymalnego) rozwiązania (poszukiwanie ekstremum funkcji) z punktu widzenia określonego kryterium (wskaźnika) jakości (np. kosztu, drogi, wydajności)”*¹. Istnieje wiele metod wyznaczania rozwiązań optymalnych, a ich liczba ciągle rośnie, bo i potrzeby optymalizacji w dzisiejszych czasach są coraz większe. Nic więc dziwnego, że i w transporcie odgrywa ona bardzo istotną rolę. Transport jest tą częścią biznesu, w której bardzo liczy się czas. Często dostawcy mają określone okienka dostaw, w których mogą dostarczyć produkt do odbiorcy, a w dodatku mają na to np. 24h, dodatkowo optymalizują koszty transportu np. poprzez maksymalne wykorzystanie przestrzeni ładunkowej oraz łączenie przesyłek do kilku odbiorców i wysyłanie jak najmniejszej liczby samochodów (koszt paliwa), co nie zawsze idzie w parze z optymalizacją czasu dostawy. Złożoność problemu oraz liczba kryteriów, które mogą być optymalizowane w transporcie jest bardzo duża, a wpływ kosztów transportu na funkcjonowanie przedsiębiorstwa znaczący. Dlatego tak ważne jest odpowiednie zarządzanie procesami transportowymi.

Optymalizację możemy podzielić na dwie grupy: jedno- i wielokryterialną, w zależności od liczby przyjętych funkcji celu. O ile algorytmy do optymalizacji jednokryterialnej są dość powszechnie używane i skuteczne np. algorytm simplex, algorytm transportowy, o tyle w przypadku optymalizacji wielokryterialnej nie opracowano jeszcze skutecznego algorytmu, który w sposób jednoznaczny wyznaczałby rozwiązania optymalne. Ze względu na złożoność procesów trans-

portowych właśnie taki algorytm jest najbardziej pożądany, gdyż zazwyczaj istnieje potrzeba optymalizacji więcej aniżeli jednego kryterium. Przykładem zadania wielokryterialnego może być optymalizacja pracy środków transportowych przy optymalnym (minimalnym) koszcie i czasie dostawy. Choć nie istnieje jednoznaczne rozwiązanie problemów wielokryterialnych, to istnieje szereg metod, dzięki którym możemy otrzymać rozwiązania kompromisowe i najlepsze np. w danym środowisku czy też ze względu na przyjęte kryteria.

Celem tego artykułu jest przedstawienie idei, jednej z metod optymalizacji, jaką jest wielokryterialna metoda simplex.

Metoda simplex

Metoda simplex jest powszechnie znaną i często stosowaną metodą rozwiązywania zadań programowania liniowego. Zadania programowania liniowego, są to zadania, w których wszystkie warunki ograniczające, a także funkcje celu mają postać liniową. Algorytm ten został opracowany i opublikowany w 1947 roku przez G.B. Dantzig. Metoda ta znalazła szerokie zastosowanie np. w procesach planowania produkcji, planowania zapasów oraz w transporcie. Zasada jej działania *„polega na sekwencyjnym, ściśle określonym przeglądzie rozwiązań bazowych”*. *„W metodzie simplex stosujemy przegląd ukierunkowany zbioru rozwiązań bazowych. Przechodzimy od jednego dopuszczalnego rozwiązania bazowego do drugiego, o którym wiemy, że jest nie gorsze od poprzedniego. Pomijamy więc rozwiązania bazowe niedopuszczalne oraz te, które są gorsze od aktualnie rozpatrywanego”*². Dzięki czemu uzyskujemy minimum lub maksimum globalne, w zależności od problemu optymalizacyjnego. Zbiór rozwiązań dopuszczalnych (ZRD) jest to zbiór tych zmiennych decyzyjnych, dla których spełnione są wszystkie warunki ograniczające. Metoda ta jest na tyle skuteczna i efektywna, że od momentu jej zdefiniowania niewiele została zmieniona i do dnia dzisiejszego jest wykorzystywana w wielu dziedzinach naszego życia.

Zadania tego typu charakteryzują się tym, iż zawsze mamy jedno kryterium, czyli jeden cel, który jest optymalizowany np. minimalizacja czasu dostawy, minimalizacja drogi czy np. minimalizacja środków transportowych. Przy pewnych ograniczeniach, które również są dane i opisane, zazwyczaj za pomocą nierówności liniowych. Rozwiązaniem finalnym jest rozwiązanie optymalne, czyli najlepsze, ze względu na przyjęte kryterium, spełniające wszystkie warunki ograniczające.

Niestety metoda ta jest ograniczona. Pierwszym jest brak możliwości zastosowania jej przy problemach, w których występuje więcej niż jedna funkcja celu. Po drugie charakteryzuje się dużą złożonością obliczeniową, zwłaszcza w przypadku dużej liczby warunków ograniczających i zmiennych decyzyjnych. Na szczęście w dobie cyfryzacji i komputeryzacji otaczającej nas rzeczywistości, dla „standardowych” za-

dań programowania liniowego, w których warunków ograniczających oraz zmiennej decyzyjnych nie jest bardzo dużo, nie stanowi to większego problemu.

Metoda Simplex klasyfikowana jest, jako algorytm poszukujący. To znaczy taki, który przeszukuje cały zbiór rozwiązań dopuszczalnych w celu znalezienia rozwiązania optymalnego. Algorytmy tego typu są z pewnością bardziej czasochłonne, ale dają pewność, że w przypadku, gdy zbiór rozwiązań dopuszczalnych nie jest zbiorem pustym lub zbiorem nieskończonym, uzyskamy rozwiązanie optymalne.

Optymalizacja wielokryterialna

Optymalizacja wielokryterialna jest obecnie mocno rozwijającą się dziedziną nauki. W polskiej i zagranicznej literaturze można znaleźć wiele pozycji dotyczących optymalizacji wielokryterialnej. Istnieje wiele metod rozwiązywania tego typu zadań a ich liczba ciągle rośnie i prace nad tym zagadnieniem cały czas trwają, bo zapotrzebowanie na tego typu rozwiązania jest coraz większe. Zagadnienia te charakteryzują się pewnym subiektywizmem przy podejmowaniu ostatecznych decyzji, z tego względu, że ich rozwiązaniem jest zazwyczaj, nie jedno rozwiązanie, a zbiór rozwiązań, zwanych efektywnymi i na pewnym etapie, istnieje konieczność włączenia do procesu decydena i uwzględnienia jego preferencji, co do ważności poszczególnych kryteriów. Istotną różnicę między poszczególnymi metodami stanowi moment, w którym angażowany jest decydent.

Powstaje zatem pytanie, jaki sens ma optymalizacja wielokryterialna skoro i tak efektem końcowym jest zbiór rozwiązań, spośród których decydent sam musi wybrać rozwiązanie „najlepsze” według jego preferencji? Po pierwsze rozwiązanie tego typu zadań zawęża zbiór rozwiązań dopuszczalnych i decydent wybiera już spośród konkretnych wariantów. Po drugie strukturyzuje proces decyzyjny i daje możliwość szybszego reagowania w przypadku zmieniających się warunków. Jest metodą pośrednią, pozwalającą wypracować rozwiązania kompromisowe, ze względu na więcej niż jedną funkcję celu. Ponadto przy podejmowaniu decyzji, decydenci zazwyczaj mają swoje preferencje i niektóre kryteria są ważniejsze od innych, z tym, że przy optymalizacji jednokryterialnej, pozostałe całkowicie są pozostawione samym sobie.

W nieco zmienionej formie również i algorytm simplex znalazł zastosowanie w optymalizacji wielokryterialnej. W przeciwieństwie jednak do problemów jednokryterialnych, algorytm ten nie jest metodą powszechnie znaną i stosowaną, głównie ze względu na złożoność obliczeniową.

Klasyfikacja metod rozwiązywania zadań wielokryterialnych

Istnieje wiele metod rozwiązywania zadań wielokryterialnych. W 1979 roku Hwang i Masud opracowali klasyfikację, według której podzielili te metody na

trzy kategorie, w zależności od tego, w której fazie procesu decyzyjnego angażujemy decydenta, do wyrażenia swoich preferencji:

- Metody a priori, w których decydent angażowany jest już na samym początku procesu decyzyjnego. Metoda ta jest dość często krytykowana, ze względu na to, że osobie podejmującej decyzje bardzo trudno jest ustalić i przypisać odpowiednie wagi poszczególnym priorytetom, na samym początku procesu.
- Metody interaktywne, w których dialog z decydentem odbywa się już na etapie kalkulacji i obliczeń, w momencie, gdy problem decyzyjny jest już po kilku przekształceniach, a decydent ma już pewne pojęcie na temat ewentualnych rozwiązań i stopniowo poprzez dostarczanie odpowiedzi na poszczególne pytania, steruje procesem, tak aby uzyskać najbardziej pożądane rozwiązania. Wadą tego typu metod jest fakt, że decydent nie widzi całej przestrzeni rozwiązywanego problemu, czyli zbioru rozwiązań efektywnych, a tylko jego wycinek i na tej podstawie musi podejmować częściowe decyzje.
- Metody a posteriori, w których decydent angażowany jest w proces decyzyjny, na samym końcu, kiedy ma już pełny obraz otrzymanych wyników, czyli zazwyczaj skończony zbiór rozwiązań efektywnych i na tej podstawie podejmuje decyzję, który z wariantów jest w danym środowisku i przy danych warunkach dla niego najlepszy. Są to chyba najbardziej pożądane metody rozwiązywania zadań wielokryterialnych z tego względu, że w momencie podejmowania decyzji, zdefiniowany jest już cały zbiór najlepszych rozwiązań i alternatyw, a żadne z potencjalnie najlepszych nie zostało przeoczone. Niestety nie są to metody powszechnie stosowane ze względu na złożoność i czasochłonność obliczeniową.

Do najczęściej stosowanych i opisywanych metod rozwiązywania zagadnień wielokryterialnych należą:

- Metoda sumy ważonej – jest to jedna z najprostszych i najczęściej stosowanych metod, aczkolwiek również jedna z najbardziej krytykowanych z tego względu, że jest właśnie metodą typu a priori, w której decydent już na samym początku musi podjąć pewne decyzje.
- Metoda e-ograniczeń (e-constraint), której ogólna idea polega na minimalizacji (maksymalizacji) tylko jednej funkcji celu. Pozostałe zaś zostają przesunięte do warunków ograniczających.
- Metoda hybrydowa, która jest kombinacją (połączeniem) metody sumy ważonej i metody e-ograniczeń.
- Metoda Benson'a, która, polega na wyszukaniu wszystkich efektywnych rozwiązań, zaczynając od wybrania początkowego rozwiązania dopuszczalnego $x^0 \in X$, które nie koniecznie musi być efektywne, a jeżeli nie jest, to przekształcenie go w taki sposób, aby takim się stało.

Rozwiązanie pareto-optymalne

Rozwiązaniem „optymalnym” zadań wielokryterialnych jest zbiór rozwiązań Pareto-Optymalnych, zwany także zbiorem rozwiązań efektywnych (sprawnych).

Optymalność w sensie Pareto

„Optimum w sensie Pareto (czy efektywność w sensie Pareto, efektywność Pareto) – termin ekonomiczny oznaczający taki podział dostępnych dóbr, że nie można poprawić sytuacji jednego podmiotu (dostarczyć mu większej ilości dóbr) nie pogarszając sytuacji któregośkolwiek z pozostałych podmiotów. Nazwa terminu pochodzi od nazwiska włoskiego ekonomisty – Vilfred Pareto”³.

Odnosząc powyższą zasadę do optymalizacji wielokryterialnej, w której mamy więcej niż jedną funkcję celu, nie da się poprawić wartości danej funkcji celu, nie pogarszając tym samym wartości przynajmniej jednej z pozostałych.

Formalnie możemy to zapisać następująco:

Rozwiązanie dopuszczalne $x^* \in X$ jest rozwiązaniem efektywnym (sprawnym) lub inaczej Pareto optymalnym, jeżeli nie istnieje żaden inny $x \in X$ taki, że $f(x) \leq f(x^*)$.

Jeżeli x^* jest rozwiązaniem efektywnym, to wartość funkcji celu w tym punkcie $f(x^*)$ jest punktem niezdominowanym. Jeżeli $x^1, x^2 \in X$ i $f(x^1) \leq f(x^2)$ to możemy powiedzieć, że x^1 dominuje x^2 oraz $f(x^1)$ dominuje $f(x^2)$, co oznacza, że rozwiązanie x^1 jest lepsze od rozwiązania x^2 .

Zbiór wszystkich efektywnych rozwiązań $x^* \in X$ nazywamy zbiorem rozwiązań efektywnych (X_E). Natomiast zbiór wszystkich niezdominowanych wartości funkcji celu $y^* = f(x^*) \in Y$ nazywamy zbiorem niezdominowanym (Y_N).

W zbiorze rozwiązań niezdominowanych, żadne z rozwiązań nie jest w sposób jednoznaczny lepsze od innych czy też optymalne, a zatem każde z nich jest akceptowalne. W przypadku optymalizacji wielokryterialnej wybór rozwiązania „najlepszego” ze zbioru rozwiązań Pareto-optymalnych, należy do decydenta i często wymaga dodatkowej wiedzy i analizy. Głównie z tego względu, że rozwiązanie wybrane przez jednego decydenta może być nieakceptowalne przez drugiego lub niedopuszczalne w innym środowisku.

Wielokryterialny algorytm simplex – idea

Wielokryterialna metoda simplex, polega na zdefiniowaniu zbioru baz efektywnych. Pojedyncza baza efektywna jest jednym z rozwiązań optymalnych (w sensie Pareto) zadania wielokryterialnego. Metoda ta polega na ukierunkowanym przechodzeniu pomiędzy bazami efektywnymi, do momentu, gdy wszystkie rozwiązania bazowe zostaną znalezione. Aby było to możliwe, musi być spełnionych szereg warunków ograniczających i zapewniających, że wszystkie efektywne bazy są połączone, a nasze przekształcenia tablic simplexowych prowadzą do uzyskania kolejnej

efektywnej bazy. Fundamentalnym twierdzeniem w tej metodzie jest twierdzenie R. E. Steuer'a (1985), które orzeka, że wszystkie efektywne bazy są połączone.

Istotnym elementem tego algorytmu, jest zmienna nie bazowa, która pozwala wyszukiwać kolejne nie gorsze rozwiązania danego problemu, co w efekcie minimalizuje liczbę przekształceń tablic simplexowych, a tym samym czas rozwiązywania algorytmu.

Podobnie jak metoda jednokryterialna, jest to algorytm poszukujący. W tym przypadku przeszukuje on cały zbiór rozwiązań dopuszczalnych w celu znalezienia wszystkich rozwiązań efektywnych. Należący do trzeciej kategorii metod, *postprior*, w których najpierw uzyskiwany jest kompletny zbiór rozwiązań efektywnych i dopiero wtedy w proces angażowany jest decydent, określający swoje preferencje. Metoda ta wykorzystuje metodę sum ważonych, a także metodę Benson'a.

Reasumując

Wielokryterialny algorytm simplex polega na ukierunkowanym przechodzeniu pomiędzy bazami efektywnymi, do momentu, gdy wszystkie zostaną znalezione. W tym celu wykorzystane zostaje twierdzenie R. E. Steuer (1985) orzekające, że wszystkie efektywne bazy są połączone.

Efektywna zmienna nie bazowa, pozwala poruszać się tylko po bazach efektywnych, przez co minimalizuje liczbę przekształceń simplexowych, a tym samym skraca czas rozwiązania algorytmu.

Wielokryterialny algorytm simplex prowadzi do znalezienia wszystkich efektywnych baz, a tym samym wszystkich efektywnych rozwiązań bazowych.

Rozwiązaniem końcowym jest zbiór rozwiązań efektywnych (optymalnych) w sensie Pareto.

Podsumowanie

Rosnąca złożoność procesów, zarówno w transporcie, jak i w pozostałych dziedzinach życia, niesie za sobą konieczność poszukiwania nowych, skuteczniejszych metod optymalizacji. Metody optymalizacji wielokryterialnej są jednym ze środków wspomagających proces podejmowania decyzji. Pomimo pewnej subiektywności, jaka jest charakterystyczna, dla tego typu zagadnień, pozwalają one wypracować rozwiązania kompromisowe, „najlepsze” z punktu widzenia wielu kryteriów. Naturalnie w grupie tych metod, można wyodrębnić te bardziej skuteczne, dające w efekcie końcowym, dość jasny i przejrzysty obraz pożądanych alternatyw i te prostsze, które choć często krytykowane, także pomagają w podejmowaniu decyzji. Wielokryterialna metoda simplex, choć czasochłonna i skomplikowana pod względem obliczeń, to jest dość skuteczna i efektywna. Jej celem, co ważne, jest przegląd wszystkich rozwiązań dopuszczalnych, dzięki czemu istnieje pewność, że żadne z rozwiązań „optymalnych” nie zostało pominięte. W efekcie

końcowym decydującemu otrzymuje pełną i przejrzystą informację, na temat zbioru rozwiązań „najlepszych”. Warto zauważyć, że, pomimo iż, efektem końcowym jest zbiór rozwiązań, to jest on już podzbiorem rozwiązań dopuszczalnych, zatem w sposób znaczący zawęża on wybór ostatecznej decyzji. Ważnym elementem jest również to, że osoba decydująca, nie otrzymuje jednoznacznej odpowiedzi, ale ma wpływ na przebieg procesu decyzyjnego, przez co może lepiej rozumieć wpływ poszczególnych czynników na ostateczny wynik i na późniejszym etapie w sposób bardziej wydajny i efektywny wykorzystywać wypracowane rozwiązania.

Summary

Growing complex nature of processes, both in transport and in other fields of life, involves the need for search for new, more effective optimization methods. Methods of multi-criteria optimization are one of means supporting the decision-making process. Despite some subjectivity, typical of solutions of this type, they enable us to develop compromise solutions, „best” from the point of view of many criteria. Certainly, in the group of these methods, it is possible to identify more effective ones, giving, as a result, a quite clear image of the desired alternatives, and simpler ones, which, though often criticized, also help when making decisions. The multi-criteria simplex method, though time-consuming and complicated in terms of calculations, proves quite effective and efficient. What is important, its purpose is to review all acceptable solutions, thanks to which there is a confidence that none of „optimum” solutions has been ignored. As a result, the decision-maker receives full and clear information on the set of „the best” solutions. It is worth noting that despite the fact that the final effect is a set of solutions, it is already a sub-set of feasible solutions, therefore, it substantially reduces selection of the final decision. An important element is also the fact that the decision-maker does not receive a clear answer but influences the course of the decision-making process and thereby may understand better the impact of particular factors on the final result, and, at a later stage, use the developed solutions more efficiently and effectively.

Literatura

1. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Optymalizacja>, Internet, 10.03.2012.
2. Ignasiak E. (Praca zbiorowa). [1997]: *Badania operacyjne*. PWE, Warszawa.
3. http://pl.wikipedia.org/wiki/Optimum_Pareta, Internet, 10.03.2012.
4. Mavrotas G.: *Generation of efficient solutions in Multiobjective Mathematical Programming problems using GAMS. Effective implementation*

- of the ε -constraint method*. Internet: <http://www.gams.com/modlib/adddocs/epscm.pdf>, 10.03.2012.
5. Srinivas N.: *Kalyanmoy Deb, Multiobjective Optimization Using Nondominated Sorting in Genetic Algorithms*. Internet: www.lania.mx/~ccoello/deb95.ps.gz, 08.03.2012.
 6. Ehrgott M. [2005]: *Multicriterial optimization*. Second Edition. Springer, Berlin.

Zbigniew Matuszak*, Agnieszka Michaluk*

**Akademia Morska w Szczecinie,
Zakład Siłowni Okrętowych,
Instytut Eksploatacji Siłowni Okrętowych
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70 -500 Szczecin
e-mail: z.matuszak@am.szczecin.pl*

Charakterystyka przewozu ładunków niebezpiecznych na terenie powiatu zamojskiego

**[Characteristics of dangerous goods transportation
in zamojski district]**

Streszczenie

Scharakteryzowano ogólnie strukturę drogową i kolejową powiatu zamojskiego. Przedstawiono zestawienie przewiezionych przez powiat zamojski w 2010 roku ładunków niebezpiecznych transportem drogowym i kolejowym. Zaprezentowano przykład procesu przewozu ładunków niebezpiecznych wykonywanych linią szerokotorową między Ukrainą a Polską.

Słowa kluczowe: przewóz ładunków niebezpiecznych, powiat zamojski

Abstract

The road and railway structure in Zamojski district is generally characterized. The list of dangerous goods carried by road and rail through Zamojski district in 2010 is presented. An example of the process of transporting dangerous goods carried out by broad gauge railway between Ukraine and Poland is given.

Keywords: dangerous goods transportation, Zamojski district

Wprowadzenie

Transport drogowy substancji niebezpiecznych podlega przepisom Europejskiej umowy dotyczącej międzynarodowego przewozu drogowego materiałów niebezpiecznych (ADR), która obowiązuje we wszystkich krajach Europy. Natomiast transport kolejowy ładunków niebezpiecznych podlega przepisom Regulaminu dla międzynarodowego przewozu kolejami towarów niebezpiecznych (RID), a jeżeli jest to przewóz międzynarodowy dochodzą do tego Przepisy

o przewozie towarów niebezpiecznych do umowy o Międzynarodowej Kolejowej Komunikacji Towarowej (SMGS).

Podejmujący się przewozu towarów niebezpiecznych musi posiadać szczegółową wiedzę o ładunkach, które będzie transportował, jak i przepisach odnoszących się do nich. Bardzo dobra znajomość przepisów oraz ich przestrzeganie mają na celu podniesienie poziomu bezpieczeństwa, wyeliminowanie bądź w maksymalnym stopniu zmniejszenie ryzyka wypadku bądź powstaniu ewentualnych szkód podczas przewozu.

Przez powiat zamojski towary niebezpieczne przewożone są środkami transport drogowego oraz kolejowego. Transport drogowy odbywa się w oparciu o przepisy ADR natomiast transport kolejowy w oparciu o przepisy SMGS oraz RID.

Charakterystyka systemu transportowego powiatu zamojskiego

Powiat zamojski znajduje się w południowej części województwa lubelskiego i powierzchnią obejmuje 15 gmin w tym 3 miejskie zajmując powierzchnię 1 872,27 km². Obejmuje takie tereny geograficzne jak Wyżyna Lubelska (Padoł Zamojski, Dział Grabowiecki), Wyżyna Zachodniowołyńska (Grzędy Sokalskie) oraz Roztocze (Zachodnie i Środkowe).

Przez powiat przechodzą dwie trasy, po których przewożone są ładunki niebezpieczne. Pierwsza trasa to droga krajowa Nr 17 Hrebenne-Lublin oraz druga z tras – kolejowa Linia Hutnicza Szerokotorowa [6].

Struktura drogowa powiatu

Powiat zamojski stanowi istotny węzeł drogowy o znaczeniu krajowym dla województwa lubelskiego. Przebiegają tędy dwie drogi krajowe:

- Droga krajowa 17 E372, Warszawa-Lublin-Zamość-Tomaszów Lubelski-Hrebenne (przejście graniczne), aż do Lwowa. Droga ta stanowi część korytarza Via Intermare biegnącego z Gdańska przez Warszawę-Lwów do Odessy.
- Droga krajowa numer 74 Sulejów k. Piotrkowa Tryb.-Kielce-Kraśnik-Zamość-Hrubieszów-Zosin (przejście graniczne), część dawnego Traktatu Królewskiego z Pragi i Krakowa do samego Kijowa.

Do infrastruktury drogowej powiatu można zaliczyć również 3 drogi wojewódzkie:

- 837 trasa Zamość-Żółkiewka-Piaski,
- 843 trasa Zamość-Skierbieszów-Chełm,
- 849 trasa Zamość Józefów-Wola Obszańska.

W granicach miasta Zamość znajduje się ogółem 20 305 km dróg, oprócz tego poza granicami administracyjnymi miast znajduje się ogółem 746 030 km dróg, w tym:

- 664 867 km dróg twardych,
- 77 747 km dróg gruntowych,
- 3 416 km dróg gruntowych ulepszonych.

W Zamościu jest kilka mostów (10 na rzece Łabuńka, oraz 1 na Topornicy), spinają one brzegi niewielkich rzek o dość wąskich korytach.

Znajdują się także 3 większe wiadukty:

- wiadukt na ul. Lubelskiej, którego funkcją jest bezkolizyjne przekraczanie linii LHS-u,
- wiadukt na ul. S. Wyszyńskiego, którego celem jest bezkolizyjne przekroczenie linii normalnotorowej nr 72,
- wiadukt na ul. Powiatowej, który pełni taką samą funkcję jak wiadukt znajdujący się na ul. Lubelskiej. Wiadukt ten jest wyłączony z użytku.

Zestawienie budowli inżynierskich na terenie powiatu zamojskiego przedstawiono w tab. 1.

Tab. 1. Zestawienie budowli inżynierskich na terenie powiatu zamojskiego [3, 5, 6]

Rejon Zamość		Mosty	Wiadukty czynne	Kładki	Tunele	Przepusty	Razem
	Sztuki	26	2	5	0	36	69
	Długość [m]	472,7	158,64	48,73	0	584,12	1264,19
	Powierzchnia [m ²]	5855,71	1937,09	124,62	0	1373,61	9291,03

Zamość posiada także 3 obwodnice:

- Obwodnica Zachodnia, usytuowana jest w zachodniej części miasta pomiędzy zabudową Osiedla Orzeszkowej-Reymonta, a zabudową Osiedla Karolówka,
- Obwodnica Hetmańska znajduje się na północno-wschodnich terenach miasta. Obwodnica stanowi ciągłość drogi krajowej numer 17 oraz częściowo drogi krajowej 74, dzięki czemu nie jest konieczna jazda przez centrum miasta,
- Obwodnica Śródmiejska nazywana jest Małą Obwodnicą; ma ona swój szlak przez środek miasta, jednak omijając jego ściśle centrum [3].

Umiejscowienie obszaru powiatu zamojskiego we wschodnio-południowej części kraju przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Umiejscowienie powiatu zamojskiego [5, 6]

Struktura kolejowa powiatu

Przez powiat zamojski przebiegają dwie linie kolejowe:

- Linia kolejowa 72 normalnotorowa na trasie Zawada-Zamość-Hrubieszów Miasto. Ruch odbywający się po tej linii to ruch osobowy oraz towarowy,
- Linia kolejowa 65 szerokotorowa, zwana Linia Hutniczą Szerokotorową. Linia ta przebiega od polsko-ukraińskiego przejścia granicznego Izow/ Hrubieszów do Sławkowa w Zagłębiu Dąbrowskim, gdzie się kończy. Linia szerokotorowa posiada znaczenie krajowe, prowadzi ruch towarowy, omijając granice miasta.

W powiecie zamojskim w miejscowości Bortatycze LHS znajduje się:

- Terminal przeładunkowy, który posiada układ torów „S” 1520 mm oraz „N” 1435 mm, przystosowany do przeładunku gazów płynnych,
- Rampa ładunkowa boczna umieszczona pomiędzy dwoma szerokościami torów 1435 mm i 1520 mm,
- Elektroniczna waga wagonowa na torze o szerokości 1435 mm.

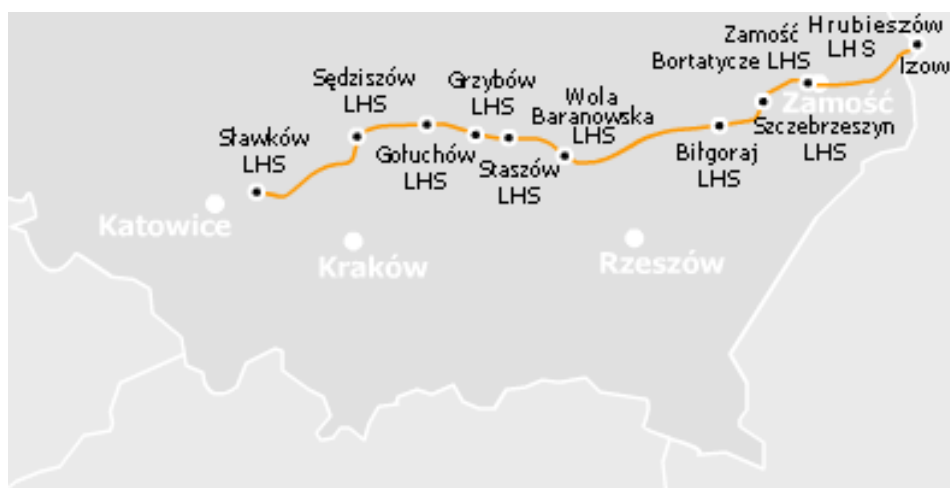
Na obszarze powiatu zamojskiego znajdują się dwie stacje o znaczeniu towarowym: stacja LHS Zamość-Bortatycze oraz stacja LHS Szczepieszyn. Na tere-

nie powiatu znajdują się rampy oraz place ładunkowe, terminale przeładunkowe, składy celne, hale magazynowe oraz wagi wagonowe.

Stacja LHS Zamość-Bortatycze zajmuje się przeładunkiem towarów sypkich luzem za pomocą czerpaków, towarów paletyzowanych (w wiązkach, big-bagach, paletyzowanych), drewna oraz gazów płynnych.

Na terenie powiatu zamojskiego znajduje się także druga stacja kolejowa Szczecbrzeszyn LHS, która posiada terminal przeładunkowy, który umożliwia przeładunek towarów na terenie otwartym jak i w hali magazynowo-składowej. Terminal ten nie obsługuje przeładunku towarów niebezpiecznych [4].

Schemat przebiegu linii LHS przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Przebieg linii kolejowej LHS [4]

Analiza przewozu ładunków niebezpiecznych na przykładzie powiatu zamojskiego

Przez powiat zamojski drogą krajową Nr 17 przewożonych jest wiele ładunków niebezpiecznych. Zestawienie przewożonych ładunków ich rodzaju i ilości przedstawiano w tab. 2.

Tab. 2. Wykaz towarów niebezpiecznych przewiezionych drogą krajową Nr 17 w 2010 roku [1]

Lp.	Trasa	Rodzaj towarów	Ilość roczna przewozów [t]
1.	Droga krajowa Nr 17 Hrebenne- Lublin	Amoniak	8
		Chlor	11
		Kwas siarkowy	2,2
		Wodorotlenek sodowy	4
		Kwas azotowy	3,5
		Substancje ropopochodne- paliwa silnikowe i opałowe	44 000
		Propan- butan	13 000
		Amunicja	4

Jak widać dominującą rolę w przewozie ładunków niebezpiecznych środkami transportu lądowego stanowiły substancje ropopochodne, w najmniejszej ilości przewożony był kwas siarkowy, którego przewieziono.

Na terenie powiatu zamojskiego przewóz ładunków niebezpiecznych środkami transportu kolejowego odbywa się po torze szerokotorowym, którego rozstaw szyn wynosi 1520 mm. Linia szerokotorowa LHS dokonuje przewozów komercyjnych ładunków niebezpiecznych według regulacji RID/SMGS. Wykaz ładunków niebezpiecznych przewiezionych środkami transportu kolejowego szczegółowo przedstawiono w tab. 3.

Tab. 3. Wykaz ładunków niebezpiecznych przewiezionych środkami transportu kolejowego w 2010 roku [1]

Lp.	Trasa	Rodzaj towarów	Ilość roczna przewozów [t]
1.	Linia Hutnicza Szerokotorowa	Propan-butan	282 006
		Propan	97 413
		Butan	56 772
		Wytłoki roślin oleistych	180 423
		Naftalen	38
		Żelazokrzem	4 860
		Dinitrotoluen	58
		Aniliana	1 829
		Materiał ciekły zapalny	10
		Materiał żrący stały	134
		Kleje	92
		Pak	3 373
		Metyloamina	30
		Nitrotolueny	173
		Nadtlenek wodoru	168
		Octan winylu	1 404
		Krezol ciekły	28
		Trójchlorosilan	244
		Dizocjan toluenu	1 417
		Dimetyloamina	130
		Benzen	998
		Polizobutylen	94
		Wodorotlenek	427
		Heksan	77

Linia Hutniczą Szerokotorową w największej ilości przewożono propan-butan, na drugim miejscu uplasowały się wytłoki roślin. W najmniejszych ilościach środkami transportu kolejowego przewożone były materiały ciekłe zapalne, krezol ciekły, metyloamina czy naftalen.

Przewozy komercyjne ładunków niebezpiecznych przez LHS Sp. z o.o. szczegółowo przedstawiono w tab. 4.

Tab. 4. Przewozy komercyjne ładunków niebezpiecznych LHS Sp. z o.o. za rok 2010 [2, 4]

Wyszczególnienie	Rok 2010 łącznie					
	ogółem		W komunikacji międzynarodowej			
			eksport		import	
	tony	tono-km	tony	tono-km	tony	tono-km
Ogółem	626 028	156 898 483	10 993	3 971 884	615 035	152 926 599
Materiały i przedmioty wybuchowe	0	0	0	0	0	0
Gazy	432 584	149 580 822	130	51 870	4 32 454	149 528 952
Materiały ciekłe zapalne	5 355	1 643 355	3 218	869 659	2 137	773 696
Materiały stałe zapalne	38	15 162	0	0	38	15 162
Materiały samozapalne	176 040	879 341	0	0	176 040	879 341
Materiały wytwarzające w zetknięciu z wodą gazy palne	4281	1 695 533	0	0	4281	1 695 533
Materiały utleniające	1 623	647 577	1 623	647 577	0	0
Materiały trujące	2 049	2 807 551	1 964	2 773 636	85	33 915
Materiały zakaźne	0	0	0	0	0	0
Materiały promieniotwórcze	0	0	0	0	0	0
Materiały żrące	591	235 809	591	235 809	0	0
Różne materiały i przedmioty niebezpieczne	3 467	1 383 333	3 467	1 383 333	0	0

Dominującą rolę w transporcie kolejowym ładunków niebezpiecznych Linia Hutniczą Szerokotorową zajmuje transport gazów importowanych. W najmniejszej ilości transportowane są materiały stałe zapalne. Nie przewozi się środkami transportu kolejowego materiałów i przedmiotów wybuchowych, materiałów zakaźnych oraz materiałów promieniotwórczych.

Wykaz ładunków niebezpiecznych importowanych w roku 2010 przez LHS Sp. z o.o. przybyłych do stacji Zamość Bortatycze przedstawiono w tab. 5.

Tab. 5. Wykaz przewiezionych materiałów niebezpiecznych w 2010 roku przybyłych do stacji Zamość Bortatycze [2, 4]

Nazwa towaru	Klasa	Nr UN	Cysterna, luzem, sztu- ka przesyłki	Ilość			Kraj nadania
				Wag./ Konte- ner	Tony	TWR	
Kwartał I							
Węglowodory gazowe Mieszanina skroplona	2	1965	Cysterna	108	3 632	X	Kazachstan
Węglowodory gazowe Mieszanina skroplona	2	1978	Cysterna	4	130	X	Kazachstan
Węglowodory gazowe Mieszanina skroplona	2	1965	Cysterna	183	6 344	X	Rosja
Butan	2	1011	Cysterna	1	27	X	Rosja
Węglowodory gazowe Mieszanina skroplona	2	1965	Cysterna	8	203	X	Białoruś
Kwartał II							
Węglowodory gazowe Mieszanina skroplona	2	1965	Cysterna	284	251	X	Rosja
Węglowodory gazowe Mieszanina skroplona	2	1965	Cysterna	128	4 271	X	Kazachstan
Kwartał III							
Węglowodory gazowe Mieszanina skroplona	2	1965	Cysterna	4	101	X	Ukraina
Butan	2	1011	Cysterna	15	431	X	Ukraina
Węglowodory gazowe Mieszanina skroplona	2	1965	Cysterna	267	8 787	X	Rosja
Węglowodory gazowe Mieszanina skroplona	2	1965	Cysterna	13	327	X	Białoruś
Węglowodory gazowe Mieszanina skroplona	2	1965	Cysterna	33	1 081	X	Kazachstan
Węglowodory gazowe Mieszanina skroplona	2	1978	Cysterna	28	844	X	Kazachstan
Butan	2	1011	Cysterna	26	861	X	Kazachstan
Kwartał IV							
Węglowodory gazowe Mieszanina skroplona	2	1965	Cysterna	240	8 199	X	Rosja
Węglowodory gazowe Mieszanina skroplona	2	1965	Cysterna	15	389	X	Białoruś
Węglowodory gazowe Mieszanina skroplona	2	1965	Cysterna	3	3 177	X	Kazachstan

Propan	2	1978	Cysterna	26	825	X	Kazachstan
Butan	2	1011	Cysterna	21	550	X	Ukraina
Ogółem	X	X	X	X	40 430	X	X

Spółka LHS w roku 2010 importowała ogólnie 40 430 ton towarów niebezpiecznych, pochodzących z Kazachstanu, Rosji, Białorusi i Ukrainy, które przybyły do Stacji Zamość Bortatycze [2].

Na terenie powiatu zamojskiego znajduje się wiele zakładów stwarzających zagrożenie. Dwa z nich stwarzają duże oraz zwiększone ryzyko wystąpienia poważnej awarii przemysłowej.

Pierwszym zakładem jest STATOIL POLAND Sp. z o.o., Baza LPG Zamość, a drugim LAMPOGAS.Pl Sp. z o.o. Wykaz zakładów tego typu przedstawiono w tab. 6.

Tab. 6. Wykaz zakładów, w których występują substancje niebezpieczne o dużym lub zwiększonym wystąpieniu ryzyka poważnej awarii przemysłowej (stan na 31.12.2010) [1]

Nazwa obiektu, adres	Stopień zagrożenia	Rodzaj substancji niebezpiecznych	Max. ilość [T]	Sposób składowania
STATOIL POLAND Sp. z o.o., BAZA LPG Zamość; Zamość- Bortatycze, 22-400 Zamość	duży	Propan- butan	1 360	Cysterny kolejowe
LAMPOGAS.Pl Sp. z o.o. ul. Ceramiczna 2, 8-220 Zduńska Wola - rozlewnia gazu Wólka Nieliska 74, 22-413 Nielisz	zwiększony	Propan- butan	164,3	Zbiorniki stacjonarne naziemne, cysterny kolejowe

Oprócz zakładów w których występuje znaczny bądź duży stopień zagrożenia poważną awarią przemysłowej istnieją zakłady, które stwarzają zagrożenie poza swoim zakładem. Wśród tych zakładów wyróżnić można między innymi [1]:

- CHŁODNIA MORS, Zamość, w której znajduje się amoniak, składowany między innymi w zbiornikach stacjonarnych, mający także zastosowanie w instalacji chłodniczej,
- „SPOMASZ ZAMOŚĆ”, składowany jest kwas siarkowy oraz kwas fosforowy w zbiornikach stacjonarnych,

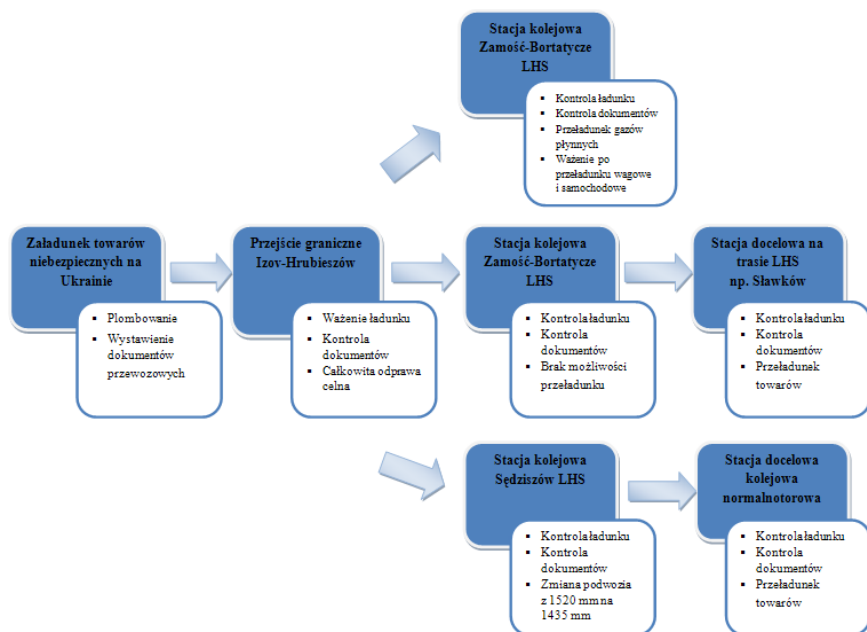
- OSM Krasnystaw, zakład produkcyjny, w którym znajdują się takie substancje niebezpieczne jak amoniak, kwas azotowy, wodorotlenek sodowy, woda amoniakalna, znajdujące się w instalacji chłodniczej, zbiornikach stacjonarnych oraz zbiornikach przenośnych,
- „PROFESIONAL” P.W., występującą substancją niebezpieczną jest amoniak, znajdujący się w instalacji chłodniczej oraz zbiornikach stacjonarnych,
- Zakłady Tłuszczowe w Bodaczowie, w zakładzie występuje sześć substancji niebezpiecznych, amoniak, heksan, kwas siarkowy 95%, kwas fosforowy, wodorotlenek sodowy 50%, siarczan żelazawy. Substancje te składowane są w stacjonarnych zbiornikach podziemnych i naziemnych, pojemnikach przenośnych oraz instalacji technologicznej,
- Kryta Pływalnia – OSiR Zamość, substancje niebezpieczne takie jak chlor czy kwas siarkowy.

Uwagi końcowe

Zaprezentowana charakterystyka przewozu ładunków niebezpiecznych środkami transportu lądowego na terenie powiatu zamojskiego w 2010 roku miała pokazać jakimi korytarzami transportowymi taki przewóz towarów jest dokonywany, w jakiej ilości oraz jakiego rodzaju są to ładunki.

Jako ilustrację przedstawiono poniżej przykład procesu przewozu ładunków niebezpiecznych wykonywanych linią szerokotorową między Ukrainą, a Polską, przechodzący przez powiat zamojski (rys. 3).

Spółka PKP Linia Hutnicza Szerokotorowa wykonuje funkcję przewoźnika i zarządcy kolejowego, otrzymuje i wydaje dostaje odpowiednie dokumenty, w tym między innymi listy przewozowe i pełni funkcje kontrolne. Ładunek niebezpieczny zostaje nadany w stacji początkowej na Ukrainie, dokonywana jest odprawa techniczna, a wraz z nią odprawa handlowa. Towar zostaje umieszczony w odpowiednim wagonie, zaplombowany i wraz z dokumentami przewozowymi przewożony jest po szerokim torze do Polski przekraczając przejście graniczne Izov-Hrubieszów (Ukraina-Polska). Na stacji Hrubieszów LHS (przejście graniczne kolejowe) następuje przejście towarów od przedstawicieli ukraińskich kolei. Ładunek zostaje dokładnie sprawdzony, ważony jest na wagonowych wagach elektronicznych w celu ustalenia dokładnej masy towarów, dokonywana jest całkowita odprawa celna.



Rys. 3. Proces przewozu ładunków niebezpiecznych środkami transportu kolejowego przez spółkę LHS

Następnie pociąg wraz z ładunkiem rusza dalej do stacji docelowej np. do stacji Zamość-Bortatycze LHS. Na stacji docelowej Zamość-Bortatycze LHS STATOIL istnieje możliwość przeładunku gazów płynnych do cystern kolejowych lub samochodowych. Przeładunek towarów sypkich luzem za pomocą czerpaków lub towarów sztukowych (w wiązkach, big-bagach, paletyzowanych) wykonywany jest na stacjach Zamość Bortatycze LHS oraz na stacji Szczepieszyń LHS. Po dokonaniu takiego przeładunku, przewóz towarów przez LHS uważa się zakończony. Jeżeli natomiast nie ma możliwości przeładowania ładunku, towary wysyłane są dalej w podróż do innych stacji docelowych znajdujących się na linii szerokotorowej: do Woli Baranowskiej LHS gdzie przeładowywane są towary sypkie, Gołuchowa LHS gdzie ma miejsce przeładunek gazów płynnych, do stacji Sędziszów LHS gdzie istnieje możliwość zmiany podwozia wagonów z układu torów 1520 mm na 1435 mm, po czym wysyłane są do stacji przeznaczenia po linii kolejowej normalnotorowej lub do stacji docelowej linii szerokotorowej do stacji Sławków LHS. Ładunek po dotarciu do stacji docelowej jest poddany jest końcowej odpra-

wie technicznej oraz handlowej. Po kontroli towaru i dokumentacji przewozowej przewóz towaru uważa się za zakończony [2].

Literatura

1. Materiały KM PSP w Zamościu na 31.12.2011.
2. Materiały LHS Sp. z o.o. w Zamościu.
3. Materiały Zarządu Dróg Powiatowych w Zamościu, wrzesień 2011 roku.
4. <http://www.lhs.com.pl> z dnia 12.11.2011.
5. <http://www.transport.gov.pl/> z dnia 06.01.2012.
6. <http://www.w-lubelskie.pl> z dnia 15.11.201.

Jerzy Merkisz^{*,a}, Maciej Bajerlein^{**,b}

**, **Poznan University of Technology,
Faculty of Working Machines and Transport,
Institute of Combustion Engines and Transport,
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznan, Poland
{^ajerzy.merkisz ^bmaiej.bajerlein}@put.poznan.pl*

Zastosowanie paneli fotowoltaicznych w autobusie miejskim w aspekcie zmniejszenia emisji substancji szkodliwych

**[The impact of application photovoltaic panels
on the urban bus to reduce toxicity]**

Streszczenie

Naukowcy z Instytutu Silników Spalinowych i Transportu w artykule poruszyli problematykę możliwości oszczędności energii w autobusach miejskich przy jednoczesnej ochronie środowiska upatrując się w zastosowaniu napędu hybrydowego z wykorzystaniem ogniw fotowoltaicznych, jako pomocnicze źródło energii. Poprzez zastosowanie ogniw paliwowych do zasilania silnika elektrycznego zapewniona zostaje energooszczędność i niższy poziom emisji gazów cieplarnianych. Na autobusie zamontowanych zostało 16 ogniw fotowoltaicznych, o mocy znamionowej 45W każdy, co łącznie pozwoliło uzyskać moc 720W francuskiej firmy. Dzięki wykorzystaniu mobilnego przyrządu SEMTECH DS dokonano pomiaru emisji sekundowej CO, HC, NO_x, CO₂ w spalinach. Pomiar prędkości oraz położenia pojazdu dokonano za pomocą systemu GPS, natomiast zmiany momentu obrotowego i prędkości obrotowej wału korbowego silnika zostały odczytane z systemu diagnostycznego pojazdu.

Słowa kluczowe: ogniwa fotowoltaiczne, emisja, autobus miejski, zapłon samoczynny

Abstract

The Institute of Combustion Engines and Transport at Poznań University of Technology conducted a study measuring emissions in real traffic conditions of public transit vehicles held in Poznań, Poland between the Garbary district, and the Winogrody residential area. The paper presents the issues of energy saving

in city buses while protecting the environment with the use of hybrid photovoltaic cells as an auxiliary energy source. Through the use of fuel cells to power the electric motor the level of energy consumption and greenhouse gas emissions will be lower. There were 16 photovoltaic cells fitted in the bus with a power rating 45W each, which yielded a total of 720W. A portable device SEMTECH DS measured the emission of CO, HC, NO_x, CO₂ in the exhaust gases. The measurement of the vehicle's speed and position was made using the GPS system and the changes in torque and engine speed were read from the vehicle diagnostic system (CAN).

Keywords: photovoltaic cell, emission, urban bus, combustion engine CI DI

1. Wstęp

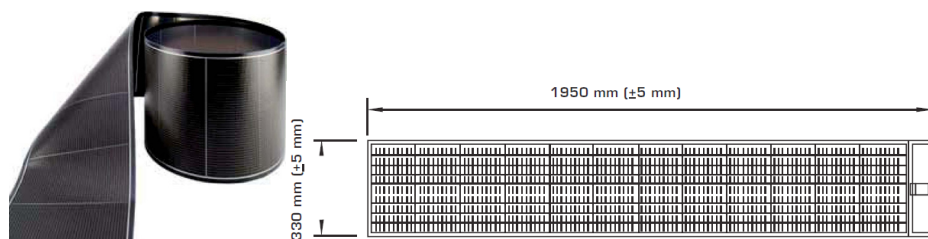
Motoryzacja jest olbrzymim konsumentem energii i obecnie prawie całkowicie zależy od ropy naftowej. Jednym z rozwiązań problemu wyczerpania zapasów ropy naftowej w skali światowej jest znalezienie paliw alternatywnych, które bez dodatkowych szkodliwych substancji spalania byłyby nowymi nośnikami energii dla motoryzacji.

Realnych możliwości rozwiązania problemu oszczędności energii przy jednoczesnej ochronie środowiska upatruje się w zastosowaniu napędu hybrydowego oraz ogniw paliwowych. Zastosowanie w autobusach napędu hybrydowego przyczynia się do redukcji emitowanych zanieczyszczeń oraz do oszczędności energii. Nie jest to jednak rozwiązanie traktowane jako ostateczne, gdyż prowadzone są równoległe badania wprowadzenia jako napędu autobusów ogniw paliwowych oraz zastosowania energii słonecznej.

2. Elementy składowe instalacji fotowoltaicznej

1.1. Panele fotowoltaiczne

Panele fotowoltaiczne stanowią główny element systemu zasilania, przetwarzający energię słoneczną w energię elektryczną. Podstawowe znaczenie ma wykorzystanie konwersji fotowoltaicznej w ogniwach krzemowych monokrystalicznych, polikrystalicznych lub amorficznych (rys. 1). Przemysłowe ogniwa monokrystaliczne na bazie krzemu wykazują sprawność około 15 % (przy termodynamicznej granicy 25,2 %), natomiast ogniwa amorficzne ~ 10 %, sprawność ogniw polikrystalicznych mieści się pomiędzy tymi wartościami. Najlepsze pod względem wydajności są ogniwa oparte na arsenku galu GaAs osiągające sprawność ~25 % wykorzystywane w technice kosmicznej. Ich naziemne wykorzystanie jest wykluczone z powodów ekonomicznych i ekologicznych. Oferowane panele mają moce maksymalne od kilku do kilkuset W, przy czym wartość mocy podaje się standardowo dla natężenia promieniowania słonecznego 1000 W/m² [2].



Rys. 1. Monokrystaliczny panel fotowoltaiczny o mocy 45W [3]

Ponieważ charakterystyki prądowo-napięciowe paneli są nieliniowe, jest istotne, aby tak kształtować charakterystykę zasilanych odbiorów, by odpowiadała ona maksymalnej mocy uzyskiwanej z paneli fotowoltaicznych (przy danym poziomie konwersji fotowoltaicznej). Do tego celu służą układy dopasowania, które umieszcza się między wyjściem układu zasilania a odbiorem [4].

1.2. Baterie akumulatorowe

Baterie akumulatorowe spełniają rolę źródła podstawowego w systemie wraz z zespołem prądotwórczym, zależnie od ustalenia ról poszczególnych urządzeń w systemie. Pełnią też rolę źródła rezerwowego w przypadku zmniejszonej podaży energii ze źródła podstawowego (panele fotowoltaiczne) w sytuacjach awaryjnych (np. bardzo niekorzystne warunki pogodowe). W większości przypadków stosuje się akumulatory kwasowo-ołowiowe. Akumulator taki składa się z 6 ogniw ołowiowo-kwasowych połączonych szeregowo. Jedno ogniwo ma napięcie około 2,1V. W wyniku ich połączenia uzyskujemy akumulator o napięciu 12,6V[9]. Elektrolitem jest wodny roztwór kwasu siarkowego. W systemach solarnych można również wykorzystać akumulatory żelowe, które cechuje bezobsługowość i wysoka cena. Ponadto akumulatory w technologii żelowej charakteryzują się doskonałymi parametrami technicznymi: szczelnością, bezobsługową pracą, – regulowany przez zawór (VELA).



Rys. 2. Bateria kwasowo-ołowiowa [5]

W rozpatrywanym systemie baterie będą pracowały w trybie pracy cyklicznej ładowanie-wyładowanie. Największą trwałość cykliczną wykazują baterie otwarte z płytą pancerną – 1500 cykli, czyli 4 lata pracy w systemie, baterie żelowe z płytą pancerną mają przewidywaną trwałość cykliczną 1000 cykli, czyli około 3 lat pracy w systemie, a dla baterii z płytą pastowaną producent deklaruje trwałość 500÷700 cykli, co odpowiada około 2 latom pracy w systemie.

1.3. Przetwornica

Wśród innych elementów systemu należy wymienić układ dopasowania UD. Jest to przetwornica DC/DC (rys. 3) znajdująca się między wyjściem paneli fotowoltaicznych, a wejściem odbiorów i baterii akumulatorów. Przetwornica napięcia jest to urządzenie elektryczne lub elektromechaniczne pozwalające na zasilanie odbiorników energii elektrycznej z układów zasilających, których parametry prądowo-napięciowe nie pozwalają na bezpośrednie połączenie z odbiornikiem. Zadaniem konwertera mocy jest zmiana wartości prądu i napięcia w sposób odpowiadający wymaganiom zasilanego odbiornika, z możliwie najmniejszymi stratami mocy. Niskie straty mocy są równoznaczne z wysoką sprawnością konwertera. Ponadto, zadaniem konwertera mocy może być zmiana częstotliwości prądu przemiennego, ewentualnie zmiana napięcia stałego na przemiennie, lub odwrotnie.



Rys. 3. Przetwornica DC/DC[7]

3. Badania drogowe

3.1. Metodyka badań emisji spalin

Pomiar emisyjności w warunkach drogowych dokonano na ulicach Poznania, podczas jazdy autobusem w warunkach rzeczywistych. Przejazd charakteryzował natężenie ruchu na drodze przejazdu (rys. 4). Trasa przejazdu zaczynała się na

ulicy Słowiańskiej, dalej ulicami Szelałgowską, Garbary, Grobla, Wierzbową, swój koniec miała na ulicy Droga Dębińska.



Rys. 4. Trasa przejazdu autobusu w Poznaniu

Czas przejazdu obejmował 1050s czyli 17,5 minuty, na dystansie 7km, przy średniej prędkości 24 km/h. Pomiary przeprowadzono przy użyciu mobilnego analizatora toksyczności spalin Semtech DS firmy Sensors Inc. Podczas przejazdu mierzone były wartości następujących związków toksycznych: CO, CO₂, NO_x i HC.

3.2. Aparatura pomiarowa

Do badań wykorzystano mobilny analizator do pomiaru szkodliwych składników spalin w rzeczywistych warunków eksploatacji SEMTECH DS (rys. 6-7) amerykańskiej firmy Sensors Inc. Schemat działania został przedstawiony na rysunku 8. Próbkę spalin pobierana jest przez sondę masowego natężenia spalin i dostarczana do przyrządu drogą grzaną, która utrzymuje temperaturę 191°C. Gazy wylotowe zostają filtrowane z cząstek stałych (w przypadku silników ZS) i dokonywany jest pomiar stężenia węglowodorów w analizatorze FID (Flame-IonizationDetector). Następnie próbka jest schładzana do 4°C i w analizatorze NDUV (Non-DispersiveUltraviolet) dokonywany jest pomiar stężenia tlenków azotu i dwutlenków azotu, a w analizatorze NDIR (Non-DispersiveInfrared) mierzone jest stężenie tlenku węgla oraz dwutlenku węgla. Pomiar tlenu dokonywany jest za pomocą czujnika elektrochemicznego[1]. Przyrząd umożliwia rejestrację parametrów odczytywanych z systemu diagnostycznego pojazdu i położenia geograficznego wykorzystującego moduł GPS (Global Positioning System). Analizator może być sterowany przez komputer osobisty poprzez połączenie bezprzewodowe lub przewodowe.



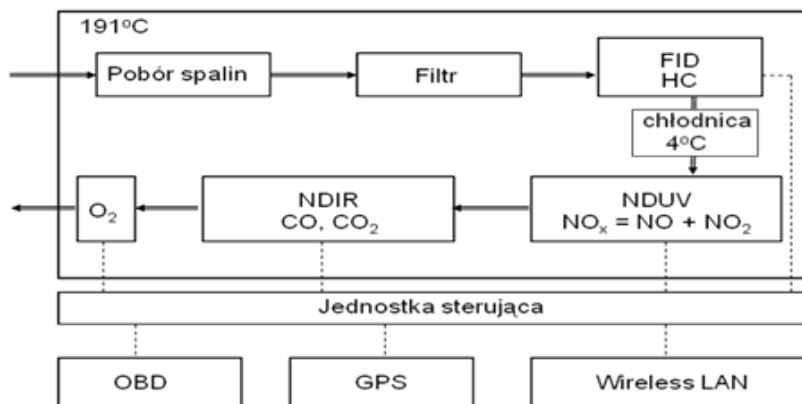
Rys. 6. Mobilny analizator SEMTECH DS



Rys. 7. Przepływomierz do pomiaru masowego natężenia przepływu spalin

Tab. 1. Charakterystyka mobilnego analizatora spalin SEMTECH DS

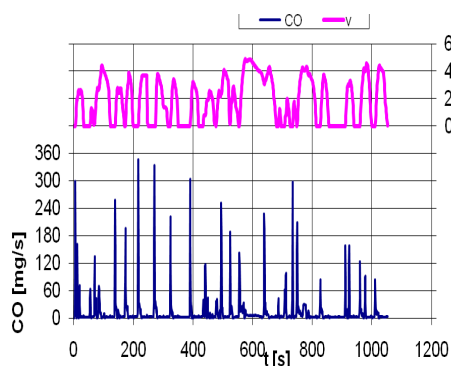
Parametr	Metoda pomiaru	Dokładność
1. Stężenie związków CO HC NO _x = (NO+NO ₂) CO ₂ O ₂	NDIR – niedyspersyjna (podczerwień), zakres 0-10% FID – płomieniowo-jonizacyjna, zakres 0–10 000 ppm NDUV – niedyspersyjna (ultrafiolet), zakres 0-3000 ppm NDIR – niedyspersyjna (podczerwień), zakres 0-20% elektrochemiczna, zakres 0-20%	±3% ±2,5% ±3% ±3% ±1%
2. Przepływ spalin	masowe natężenie przepływu T _{max} do 700oC	±2,5% ±1%
3. Czas nagrzewania	15 min	-
4. Czas odpowiedzi	T ₉₀ < 1 s	-
5. Obsługiwane systemy diagnostyczne	SAE J1850/SAE J1979 (LDV) SAE J1708/SAE J1587 (HDV) CAN SAE J1939/J2284 (HDV)	-



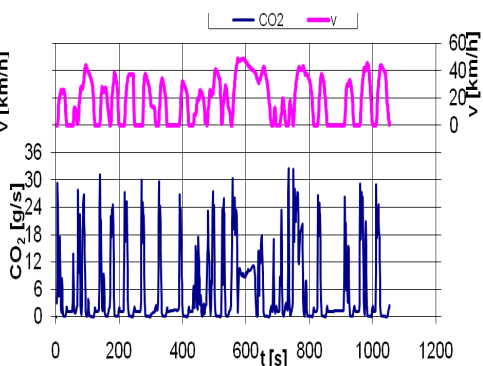
Rys. 8. Schemat mobilnego przyrządu SEMTECH DS wraz z zaznaczonym przepływem spalin i kolejnością pomiaru związków szkodliwych

3.3. Badania emisji spalin autobusu z napędem konwencjonalnym

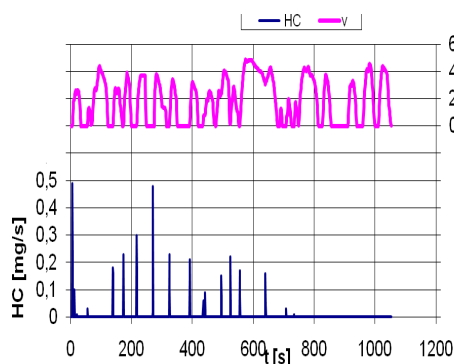
Dzięki wykorzystaniu mobilnego przyrządu SEMTECH DS dokonano pomiaru emisji sekundowej CO, HC, NO_x, CO₂ w spalinach. Pomiaru prędkości oraz położenia pojazdu dokonano za pomocą systemu GPS. Zmiany momentu obrotowego i prędkości obrotowej wału korbowego silnika zostały odczytane z systemu diagnostycznego pojazdu. Emisja sekundowa tlenku węgla (rys. 9) nie przekracza 350 mg/s. Jej poziom na początku testu jest relatywnie niskim, ponieważ pomiar odbywał się on na rozgrzanym silniku. Z taką samą sytuacją mamy do czynienia w przypadku emisji sekundowej węglowodorów (rys. 11). Wraz ze wzrostem prędkości pojazdu wzrasta emisja sekundowa tlenków azotu (rys. 12) i jej poziom nie przekracza 180 mg/s. Największa wartość emisji sekundowej dwutlenku węgla (rys. 10) wynosi około 34 g/s (przy dużych prędkościach pojazdu), natomiast jej średni poziom utrzymuje się w granicach 24 g/s.



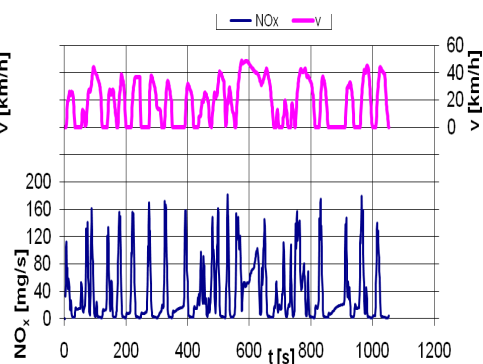
Rys. 9. Sekundowa emisja CO oraz prędkość autobusu z napędem konwencjonalnym



Rys. 10. Sekundowa emisja CO₂ oraz prędkość autobusu z napędem konwencjonalnym



Rys. 11. Sekundowa emisja HC oraz prędkość autobusu z napędem konwencjonalnym

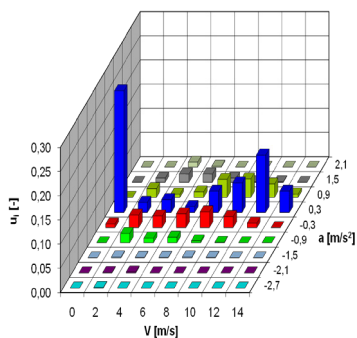


Rys. 12. Sekundowa emisja NO_x oraz prędkość autobusu z napędem konwencjonalnym

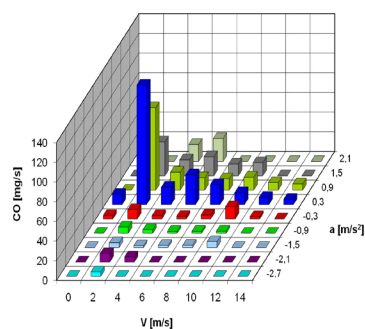
3.4. Charakterystyki gęstości czasowej pracy autobusu

Na podstawie charakterystyki gęstości czasowej czasu pracy autobusu z układem konwencjonalnym (rys. 12) udało się wyznaczyć udział parametrów pracy pojazdu podczas trwania całego testu. Zakres pracy występuje w obszarze prędkości 0-14 m/s (0-52,5 km/h) oraz w zakresie przyspieszeń na poziomie $-0,3 \text{ m/s}^2$ - $0,3 \text{ m/s}^2$. Znaczny udział czasu pracy autobusu w jeździe miejskiej przypada na zakres pracy biegu jałowego, którego udział wynosi 34%, natomiast dla wyższego zakresu prędkości z przedziału 8-14 m/s udział czasu pracy wynosi około 20%. Dla autobusu z napędem konwencjonalnym (rys. 13) największa emisja sekundowa tlenku węgla przypada na niski zakres prędkości 2-6 m/s. Emisja sekundowa

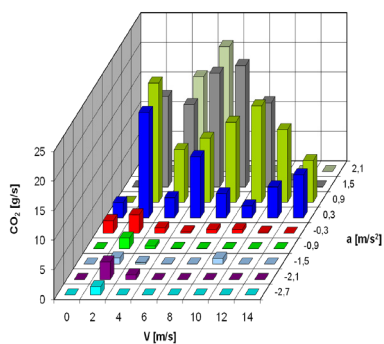
węglowodorów (rys. 15) uzyskała najwyższe wartości w przedziale podobnym jak CO. Największy poziom emisji tlenków azotu (rys. 15) ma miejsce dla średniego zakresu prędkości oraz dla wysokiego zakresu przyspieszeń. Emisja sekundowa dwutlenku węgla dla autobusu (rys. 14) w zakresie największych wartości przypada dla średnich osiągniętych prędkości.



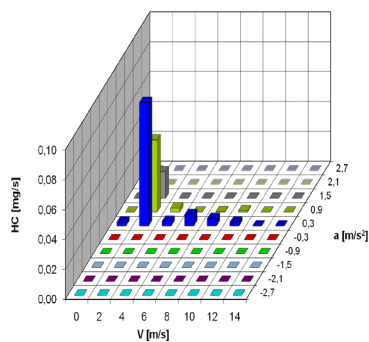
Rys. 12. Charakterystyka gęstości czasowej czasu pracy



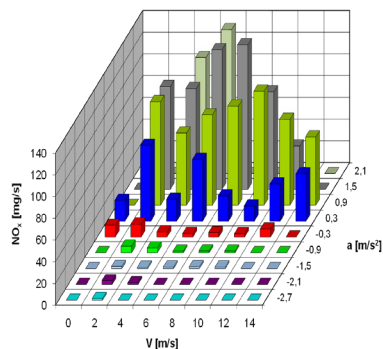
Rys. 13. Charakterystyka gęstości czasowej emisji CO



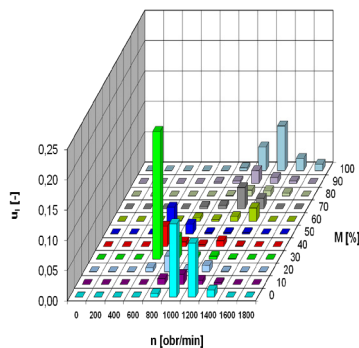
Rys. 14. Charakterystyka gęstości czasowej emisji CO₂



Rys. 15. Charakterystyka gęstości czasowej emisji HC



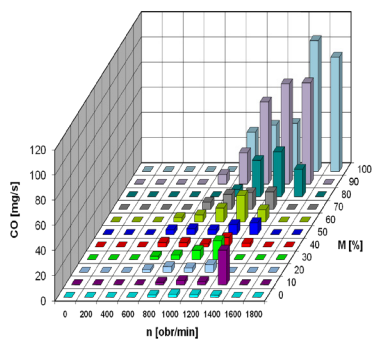
Rys. 16. Charakterystyka gęstości czasowej emisji NOX



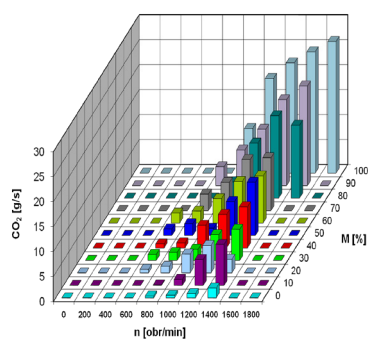
Rys. 17. Charakterystyka gęstości czasowej czasu pracy

3.5. Charakterystyki odniesione do silnika

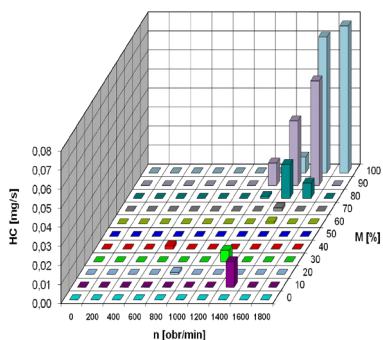
Na podstawie charakterystyki gęstości czasowej czasu pracy autobusu z napędem konwencjonalnym (rys. 17) udało się wyznaczyć udział parametrów pracy silnika podczas trwania całego testu. Dla pojazdu znaczny udział czasu pracy występuje dla prędkości obrotowej z przedziału 900-1200 obr/min. Zakres pracy przypada dla średnich wartości prędkości obrotowej silnika i dużego zakresu obciążenia. Największa emisja sekundowa tlenu węgla autobusu (rys. 18) przypada dla obszaru prędkości obrotowej silnika 1100-1600 obr/min przy zakresie najwyższych obciążeń. Wynika to z faktu, iż silnik nie ma układów wspomagających, np. ogniw fotowoltaicznych. Największa emisja sekundowa węglowodorów (rys. 20) przypada na bardzo duży zakres prędkości obrotowej przy jednoczesnym wysokim zakresie obciążeń silnika. Obszar emisji sekundowej tlenków azotu (fig. 21) przypada dla znacznego zakresu prędkości obrotowej (1000-1800 obr/min) przy wysokich wartościach momentu obrotowego silnika. Emisja sekundowa dwutlenku węgla (rys. 19) rośnie wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika oraz jego obciążenia. Największa wartość dla tego związku występuje w obszarze prędkości obrotowej silnika 1400-1800 obr/min przy zakresie obciążenia 70-100%. Szacuje się, że zastosowanie ogniw pozwoli obniżyć zużycie paliwa o 5%.



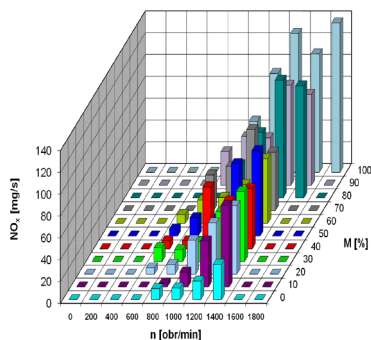
Rys. 18. Charakterystyka gęstości czasowej emisji CO



Rys. 19. Charakterystyka gęstości czasowej emisji CO₂



Rys. 20. Charakterystyka gęstości czasowej emisji HC



Rys. 21. Charakterystyka gęstości czasowej emisji NO_x

Podsumowanie

Próby wykorzystania odnawialnych źródeł energii i zwiększenia ich udziału w polskim sektorze energetycznym wydają się jeszcze dosyć skromne. W 2001 roku zaledwie 4% ogólnej konsumpcji energii przypadało na energię ze źródeł odnawialnych. W wykorzystaniu energii elektrycznej udział źródeł odnawialnych był jeszcze mniejszy – tylko 1,6% [9].

Olbrzymim konsumentem energii jest motoryzacja (25% energii światowej). Rosnące zużycie energii grozi nie tylko wyczerpaniem zasobów paliw naturalnych. Dodatkowy problem stanowi wzrost zanieczyszczenia środowiska.

Ogniwa słoneczne mogą być wykorzystywane, jako pomocnicze źródło energii. Zasadniczą zaletą ogniw fotowoltaicznych jest to, że przetwarzają energię elektryczną, bez ubocznej produkcji zanieczyszczeń, hałasu oraz innych czynników wywołujących niekorzystne zmiany w naszym środowisku. Niestety po stronie ogniw fotowoltaicznych znalazły się też wady. Zasadniczą wadą ogniw jest w dalszym ciągu ich wysoka cena mimo, że w ciągu ostatnich lat znacznie ją obniżono i obecnie jest to 20zł/W. mała sprawność ogniw fotowoltaicznych na poziomie ok. 15% jest kolejnym argumentem przemawiającym na niekorzyść stosowania ich w motoryzacji. Kolejny problem pojawia się już przy produkcji ogniw zarówno krzemowych, jak i wykonanych z tellurku kadmu stosuje się bardzo toksyczne pierwiastki, skąd chociaż ich eksploatacja wydaje się bardzo przyjazna środowisku, ich wytwarzanie na masową skalę może stwarzać zagrożenie.

Szacuje się, że ogniwa fotowoltaiczne przy sprzyjających warunkach (słoneczny dzień) będą w stanie dostarczyć około 2200W dodatkowej mocy. Obliczono, że można zamontować 15 paneli słonecznych o wymiarach 1622 x 814 mm i o wadze 17,2 kg każdy. Dostarczony do akumulatorów zysk energetyczny może posłużyć, jako źródło zasilania m.in.: oświetlenie tablicy rejestracyjnej – 20W, oświetlenie wejść – 80W, podświetlenie przyrządów pokładowych – 56W, wentylatory dachowe – 112W, szyberdachy – 28W, radio – 56W, tachograf – 84W, sterownik systemu informacji pasażerskiej – 280W, tablice kierunkowe przód – 224W, tablice kierunkowe bok prawy – 184W, tablice kierunkowe tył – 184W, kasownik – 84W, monitory – 224W, monitoring – 289W, co może przyczynić się do zmniejszenia kosztów związanych z eksploatacją autobusu w codziennym użytkowaniu.

Warto zauważyć, że w dniu, w którym dokonano badań w Poznaniu panował piękny, słoneczny dzień, z bezchmurnym niebem i temperaturą otoczenia 24°C, niestety w Poznaniu, który znajduje się na szerokości geograficznej 52° takie warunki klimatyczne są niestety rzadkością, co znacznie wpływa na obniżenie otrzymanej mocy z ogniw fotowoltaicznych. Najcieplejsze, letnie miesiące, jakimi są czerwiec i sierpień w Poznaniu dostarczają zaledwie 80 godzin miesięcznie maksymalnej ilości promieni słonecznych. W miesiącu lipcu okres, w którym dociera minimalna ilość promieni słonecznych potrzebna do optymalnej pracy ogniwa plasuje się na poziomie 175 godzin.

Na podstawie wcześniej wykonanych badań w Poznaniu określono optymalny kąt pochylenia płaszczyzny fotowoltaicznego nadwieszenia zaciennającego wynoszącego 36,7° w stosunku do poziomu. Wówczas ogniwo generowałoby o ok. 17% większe zyski elektryczne w stosunku do płaszczyzny horyzontalnej i o ok. 39% większe w porównaniu z płaszczyzną pionową.

Szacunkowo emisja związków szkodliwych autobusu wyposażonego w ogniwa słoneczne, w odniesieniu do pojazdu konwencjonalnego, powinna zostać zredukowana o około 4-8%. Podobnemu obniżeniu powinno ulec także zużycie paliwa.

Literatura

1. Chłopek. Z.: *O metodach syntetycznej oceny emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych*. (2009-SS4-407). Czasopismo naukowe Polskiego Towarzystwa Naukowego Silników Spalinowych 4/2009.
2. Podegrodzki J.: *Zmienność całkowitego promieniowania słonecznego na obszarze Polski w okresie 1961-1995*. Warszawa, 2000.
3. Pluta W.: *Solar elctricity. An economic approach to solar energy*. Butterworths UNESCO, Paryż, 1978.
4. Jastrzębska G.: *Odnawialne źródło energii i pojazdy proekologiczne*. Warszawa, 2007.
5. Kulgmann E. Radziemska E.: *Alternatywne źródła energii. Energetyka fotowoltaiczna*. Ekonomia i Środowisko 1999.
6. Lorenc H.: *Atlas Klimatu Polski*. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa, 2005.
7. Zawadzki M.: *Kolektory słoneczne, Pompy ciepła – na tak*. Warszawa, 2003
8. Nowicki M. Kamiński S.: *Potencjał do zagospodarowania*. 2002.
9. Pluta Z.: *Podstawy teoretycznej fototermicznej konwersji energii słonecznej*. Warszawa, 2006.
10. Pluta Z.: *Słoneczne instalacje energetyczne*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2003.

Lubomír Moravčík*

**Ministry of Transport, Construction and Regional
Development of the Slovak republic, State Transport
Office, Námetie slobody č. 6, P.O.Box č. 100, 810
05 Bratislava, Slovakia, email: lubomir.moravcik@
mindop.sk*

The (life cycle) environmental operational costs when selecting a motor vehicle

Abstract

When selecting a transport vehicle, contracting authority shall, within the overall assessment, prefer the vehicle with smaller operational costs during its life cycle. Operational costs, taking into account energy and environmental impacts include energy consumption, CO₂, NO_x, NMHC emissions and particulate matter.

Keywords: Operational costs, life cycle, energy consumption, CO₂ emission, NO_x emission, NMHC emission, particulate matter, energy content of motor fuels, cost for emissions, lifetime mileage of vehicles, selection of vehicles

1. Introduction

When selecting a transport vehicle, the transport company takes into consideration several criterias – transport capacity, investment and operational costs that means those with the highest weight of importance. Vehicle showing lower operational costs during its life cycle /lifetime/ provided the expected transport performance will be preferred into the final selection.

It is important to put the attention to the need of lowering emissions originating in transport, fuel consumption and dependency on oil, alternatively affect the demand for alternative fuels and technologies when selecting a vehicle. It is important to increase the demand for ecological and energy efficient vehicles, so it is high enough to make the entire automobile industry investing in vehicles with low energy consumption, low CO₂ emissions and low pollution. These energy efficient vehicles have higher initial price than conventional ones, but by creating sufficient demand for these vehicles could lead to savings by their procurement that could lead to a reduction in operating costs over their lifetime.

Including the energy consumption, CO₂ emission and pollution particles into the procurement criteria should not result in higher total costs, because by choos-

ing of means of transport are incorporated only operational costs during the life time. This approach will value real emission of polluting materials.

2. Life cycle of vehicle

Life expectancy of the vehicle is its ability to fulfill expected functions till reaching it's threshold level when maintaining as recommended. Life expectancy of the vehicle depends on the **period of use, mileage, alternatively on number of performance hours**. Can be expressed in numbers as technical life in kilometers or time if use in years.

Threshold level of the vehicle is given by car's inability to operate due to lowered effectively, cost efficiency and increased deterioration or safety of the road traffic.

Directive 2009/33/EC on the promotion of clean and energy-efficient road transport vehicles states the lifetime mileage of different vehicles categories as per table.

Tab. 1. Lifetime mileage of road transport vehicles. Source: [5]

Vehicle category	Lifetime mileage [LLM]
Passenger cars (M1)	200 000 km
Light commercial vehicles (N1)	250 000 km
Heavy goods vehicles (N2, N3)	1 000 000 km
Busses (M2, M3)	800 000 km

3. Selection of clean and energy-efficient vehicles in road transport

When buying new vehicles, obliged subjects (public procurers, buyers and transport companies offering services in public interest) in public procurements have to consider the environmental impacts of vehicles during their lifetime. The operational energy and environmental impacts to be taken into account shall include at least the following:

- a) energy consumption,
- b) emissions of carbon dioxides (CO₂),
- c) emissions of
 1. nitrogen oxides (NO_x),
 2. non methane hydrocarbons (NMHC),
 3. particulate matter.

In addition to the above energy and environmental impacts, incumbents may also consider other environmental impacts.

The public procurer, procurer and the contracting carrier are required by the purchase or lease of motor vehicles to account for energy requirements and environmental performance by applying any of the following:

1. Stating technical specifications for energy and environmental performance in the technical specifications to be determined in the documentation relating to the purchase or lease of motor vehicles. This means that the procurement authority and the procurer will include also requirements concerning the environmental performance of vehicles purchased in the description of the order, which is part of the tender documents.
2. Energy and environmental impacts could be included into the purchase or leasing decision by
 - using the environmental impacts as a criteria in the procurement decision as stated in the public procurement act or
 - using the methodology of calculating operating costs over the life cycle of the vehicle, if these environmental impacts are converted to monetary values to be included in the decision to purchase or lease.

4. Measuring the environmental impacts of motor vehicles

Measuring the environmental impacts of vehicle's operation is performed during the approval of a motor vehicle, when each vehicle must pass the approval test in accordance with pre-defined technical requirements, also known as regulatory acts. The consumption measurement and measurement of carbon dioxide (CO₂) is regulated by UNECE no. 101 [6] and to measure the emission of gas emission and particulate emissions is regulated by UNECE no. 83 [7].

All measured values (energy consumption, emissions of carbon dioxide – CO₂; nitrogen oxides (NO_x); emissions of non-methane hydrocarbons (NMHC), particulate emissions (solid particles) are available for each new vehicle. All these are reported in the certificate of conformity of the vehicle (COC) followed in the vehicle registration document (in the registration certificate), but also in the information material of the vehicle.

4.1 Measurement of energy consumption

The fuel consumption values are calculated from the emissions; from the hydrocarbons emissions (HC), carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO₂) obtained from the measurement results according to UNECE Regulation 83 [7]. Fuel consumption is then calculated using the following formulas:

a) for vehicles with petrol engine

$$FC = \frac{0,1155}{D} \cdot [(0,866 \cdot NMHC) + (0,429 \cdot CO) + (0,273 \cdot CO_2)]$$

[l.100km⁻¹ alebo m³.100km⁻¹]

b) for vehicles with diesel engine

$$FC = \frac{0,1154}{D} \cdot [(0,866 \cdot NMHC) + (0,429 \cdot CO) + (0,273 \cdot CO_2)]$$

[l.100km⁻¹ alebo m³.100km⁻¹]

where:

FC = Fuel consumption [l.100km⁻¹ or m³.100km⁻¹ for natural gas]*D* = Density of test fuel [kg.l⁻¹ or kg.m⁻³ for natural gas]*NMHC* = Measured emission of non-methane hydrocarbons [kg.km⁻¹]*CO* = Measured emission of carbon monoxide [kg.km⁻¹]*CO₂* = Measured emission of carbon dioxide [kg.km⁻¹]

The fuel consumption calculation is based on working driving cycle, which consists of one elementary urban cycle and the two parts of the extra urban cycle. Graphical representation of such a combined driving cycle is shown in Figure 1.

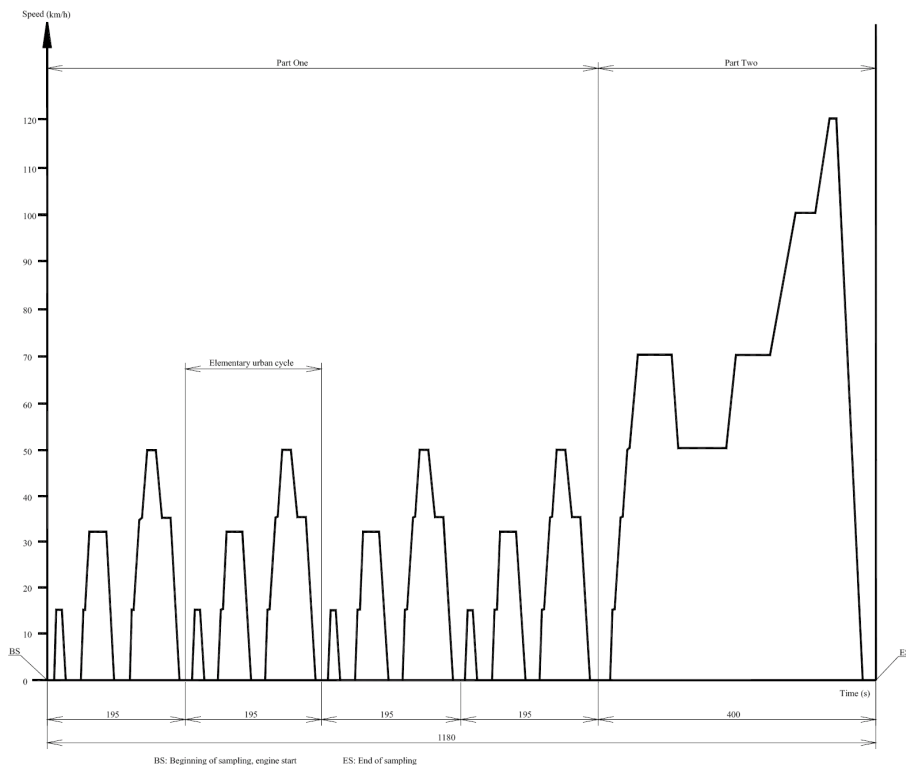


Fig. 1. Combined driving cycle. Source: [7]

4.2 Measurement of emissions of carbon dioxides (CO₂)

Weight of carbon dioxide (CO₂) is calculated according to the measurement results as described in UNECE Regulation 83 [7]. Calculating the weight of carbon dioxide (CO₂) is similarly based on fuel consumption as the working of the driving cycle, which consists of one elementary urban cycle and the two parts of the extra urban cycle (Figure 1).

4.3 Measurement of other pollutants emissions

The weights of the gaseous emissions are calculated using the following equation:

$$M_i = \frac{V_{mix} \cdot Q_i \cdot k_h \cdot C_i \cdot 10^{-6}}{d} \quad [\text{g.km}^{-1}]$$

where:

- M_i = Mass emission of pollutant [g.km⁻¹]
- V_{mix} = Volume of diluted exhausted gas corrected to standard conditions (273.2 K a 101.33 kPa) [l]
- Q_i = Density of the pollutant agent under normal temperature and pressure (273.2 K a 101.33 kPa) [g.l⁻¹]
- k_h = Humidity correction factor for the mass emissions of nitrogen oxide (NO_x); in the case of hydrocarbons (HC) and carbon monoxide (CO) are not the humidity factor [-]
- C_i = Corrected concentration of pollutants in the sampling bag [ppm]
- d = Actual distance corresponding to the cycle [km]

The weights of particulate emissions are calculated using the following equation:

$$M_{PT} = \frac{(V_{mix} + V_{ep}) \cdot M_{PT_F}}{V_{eG} \cdot d} \quad [\text{g.km}^{-1}]$$

where:

- M_{PT} = Particulate mass [g.km⁻¹]
- V_{mix} = Volume of diluted exhaust gas corrected to standard conditions (273.2 K a 101.33 kPa) [l]
- V_{eG} = Volume of exhaust gas flowing through the filter under standard conditions (273.2 K a 101.33 kPa) [l]
- M_{PT_F} = Particulate mass collected by filters [g]
- d = Actual distance corresponding to the cycle [km]

5. Environmental operating costs during the life cycle of motor vehicles

Operating costs over the life of the vehicle are evaluated and calculated according to predetermined methodologies and are divided into operating costs:

1. energy consumption,
2. carbon dioxide (CO₂),
3. emissions of other pollutants (nitrogen oxides (NO_x), non-methane hydrocarbons (NMHC) and particulate matter).

5.1. The methodology for calculating operational lifetime costs for energy consumption

Vehicle fuel consumption per kilometer is calculated in units of energy per kilometer regardless of whether it is given directly, as in electric vehicles, or not. If fuel consumption is given in different units, it is converted to energy consumption per kilometer using a conversion coefficient of the energy content of fuel according to Table 2 for the fuel.

Tab. 2. Energy content of motor fuels. Source: [5]

Fuel	Energy content [E]
Diesel	36 MJ.l-1
Petrol	32 MJ.l-1
Natural gas (NG) / Biogas	(33-38) MJ.Nm-3
Liquefied petroleum gas (LPG)	24 MJ.l-1
Ethanol	21 MJ.l-1
Biodiesel	33 MJ.l-1
Emulsion fuel	32 MJ.l-1
Hydrogen	11 MJ.Nm-3

A unitary monetary value per unit of energy is used to reflect the cost per unit of energy. The single monetary value is the price of petrol or diesel free of customs, transportation duties and taxes.

The operational lifetime cost of energy can be expressed as:

$$Np_{EC} = L_{LM} \cdot c_e \cdot n_e \quad [€]$$

where:

Np_{EC} = operational lifetime cost of energy consumption [€]

L_{LM} = kilometers traveled during the life of the vehicle [km]

- c_e = energy consumption per kilometer [MJ.km⁻¹]
 n_e = cost per unit of energy [€.MJ⁻¹]

Energy consumption can be expressed by following equation:

$$c_e = \frac{FC}{100} \cdot E \quad [\text{MJ.km}^{-1}]$$

where:

- c_e = energy consumption per kilometer [MJ.km⁻¹]
 FC = fuel consumption [l.100km⁻¹ or m³.100km⁻¹ for natural gas]
 E = energy content of fuel [MJ.l⁻¹ or MJ.Nm⁻³]

5.2. Methodology of calculating operational lifetime costs of carbon dioxide (CO₂)

Operational costs for carbon dioxide (CO₂) during the life of the vehicle shall be calculated by multiplying the mileage during his life according to Tab 1, carbon dioxide (CO₂), expressed in kilograms per kilometer and cost per kilogram of carbon dioxide (CO₂) from the range given in Tab 3, if necessary, take account of mileage already.

Tab. 3. Cost for emissions in road transport. Source: [5]

CO2	NOx	NMHC	Particulate matter
0,03-0,04 €.kg ⁻¹	0,0044 €.g ⁻¹	0,001 €.g ⁻¹	0,087 €.g ⁻¹

Operating costs over the lifetime of carbon dioxide (CO₂) can be expressed with following equation:

$$Np_{CO_2} = L_{LM} \cdot M_{CO_2} \cdot n_{CO_2} \quad [€]$$

where:

- Np_{CO_2} = carbon dioxide (CO₂) emission operating costs during the lifetime [€]
 L_{LM} = kilometers traveled during the life of the vehicle [km]
 M_{CO_2} = mass of carbon dioxide (CO₂) [kg.km⁻¹]
 n_{CO_2} = costs of carbon dioxide (CO₂) [€.kg⁻¹]

5.3. Methodology of calculating operational lifetime costs for emissions of other pollutants

Operating costs for emissions of nitrogen oxides (NO_x), non-methane hydrocarbons (NMHC) and particulate emissions during the life of the vehicle shall be calculated as the sum of their operating costs. Operating costs for emissions of each individual pollutant during the life of the vehicle shall be calculated by multiplying the lifetime mileage according to Tab 1, the emissions expressed in grams per kilometer and cost per gram of the emissions from the average value of the emissions specified in Tab 3, if necessary, take account of mileage already.

Operating costs over the lifetime emissions of other pollutants can be expressed by following:

$$Np_{emissions} = Np_{NOx} + Np_{NMHC} + Np_{PT} \quad [€]$$

where:

$Np_{emissions}$ = operational costs during lifetime for other pollutant emissions [€]

Np_{NOx} = operating costs over the lifetime of the vehicle for emissions of nitrogen oxides [€]

Np_{NMHC} = operating costs during the lifetime emissions of non-methane hydrocarbons (NMHC) [€]

Np_{PT} = operating costs during the lifetime of particulate emissions [€]

$$Np_{NOx} = L_{LM} \cdot M_{NOx} \cdot n_{NOx} \quad [€]$$

where:

Np_{NOx} = operating costs over the lifetime of the vehicle for emissions of nitrogen oxides (NO_x) [€]

L_{LM} = mileage over the life time of the vehicle [km]

M_{NOx} = mass of emissions of nitrogen oxides (NO_x) [$\text{kg} \cdot \text{km}^{-1}$]

n_{NOx} = costs of emissions of nitrogen oxides (NO_x) [$€ \cdot \text{kg}^{-1}$]

$$Np_{NMHC} = L_{LM} \cdot e_{NMHC} \cdot n_{NMHC} \quad [€]$$

where:

Np_{NMHC} = operating costs over the lifetime of the vehicle for emissions of non-methane hydrocarbons (NMHC) [€]

L_{LM} = mileage over the life time of the vehicle [km]

M_{NMHC} = mass of emissions of non-methane hydrocarbons (NMHC) [$\text{kg} \cdot \text{km}^{-1}$]

n_{NMHC} = costs of emissions of non-methane hydrocarbons (NMHC) [$\text{€} \cdot \text{kg}^{-1}$]

$$Np_{PT} = L_{LM} \cdot M_{PT} \cdot n_{PT} \quad [\text{€}]$$

where:

Np_{PT} = operating costs over the lifetime of the vehicle for emissions of particulate matter [€]

L_{LM} = mileage over the life time of the vehicle [km]

M_{PT} = mass of emissions of particulate matter [$\text{kg} \cdot \text{km}^{-1}$]

n_{PT} = costs of emissions of particulate matter [$\text{€} \cdot \text{kg}^{-1}$]

6. Sample calculation of operating lifetime costs of vehicle, considering environmental impacts

1. The input parameters of the vehicle for SKODA FABIA 1,2 HTP 44kW:

- Displacement: 1198 cm^3 ,
- Maximum power: 44 kW,
- Maximum vehicle speed: $155 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,
- Fuel consumption (combined): $5,9 \text{ l}/100 \text{ km}$,
- Emissions of carbon dioxide (CO_2) (combined cycle): $140 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$,
- Emissions nitrogen oxides (NO_x): $0,005 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$,
- Emissions of non-methane hydrocarbons (NMHC): $0 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$,
- Emissions of particulate matter: $0 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$.

2. The operational lifetime cost of energy consumption:

By this calculation we first need to calculate the energy consumption per kilometer.

$$c_e = \frac{FC}{100\text{km}} \cdot E = \frac{5,9\text{l}}{100\text{km}} \cdot 32\text{MJ} \cdot \text{l}^{-1} = 1,888\text{MJ} \cdot \text{km}^{-1}$$

The EU informs of the cost per energy unit on its The Market Observatory website [10], which monitors consumer prices for motor fuel free of duty and associated taxes within 7 days.

$$n_e = \frac{\text{price}}{E} = \frac{5,354\text{€} \cdot \text{l}^{-1}}{32\text{MJ} \cdot \text{l}^{-1}} = 0,01673\text{€} \cdot \text{MJ}^{-1}$$

$$Np_{EC} = L_{LM} \cdot c_e \cdot n_e = 200000\text{km} \cdot 1,888\text{MJ} \cdot \text{km}^{-1} \cdot 0,01673\text{€} \cdot \text{MJ}^{-1} = 6317,25\text{€}$$

3. Operating costs of carbon dioxide (CO₂) over the lifetime:

$$Np_{CO_2} = L_{LM} \cdot e_{CO_2} \cdot n_{CO_2} = 200000km \cdot 0,140kg \cdot km^{-1} \cdot 0,03€ \cdot kg^{-1} = 840,00€$$

4. Operating costs of other pollutants emissions over the lifetime:

$$Np_{NOx} = L_{LM} \cdot e_{NOx} \cdot n_{NOx} = 200000km \cdot 0,005g \cdot km^{-1} \cdot 0,0044€ \cdot g^{-1} = 4,40€$$

Considering that this petrol engine has zero non-methane hydrocarbons (NMHC) and zero particulate matter, the final operating costs for these pollutants will be zero.

$$Np_{emissions} = Np_{NOx} + Np_{NMHC} + Np_{PT} = 4,40€ + 0€ + 0€ = 4,40€$$

5. Total operating costs over the life of the vehicle:

$$Np = Np_{EC} + Np_{CO_2} + Np_{emissions} = 6317,25 + 840,00 + 4,40 = 7161,65€$$

7. Conclusion

Public procurement of motor vehicles, which will take into account energy and environmental issues during the life cycle of the vehicle, such as energy consumption, carbon dioxide (CO₂), nitrogen oxide (NO_x), non-methane hydrocarbons (NMHC) and particulate matter, will no doubt have a positive impact. It is important to continue to support the purchasing of clean and energy efficient vehicles by various incentives not only in certain member states but in the entire European Community. Another mean to help revive (restore) the vehicle fleet on the roads is the road tax as long as it takes into account the environmental issues.

Literature

1. LIŠČÁK, Š.: *Spôľahlivosť v prevádzke cestných vozidiel*. EDIS vydavateľstvo ŽU, 2002, 192 pages, ISBN 80-7100-969-5.
2. MORAVČÍK, L.: *Prevádzkové náklady vozidiel počas ich životnosti zohľadňujúce environmentálne hľadisko (The operational costs of vehicles during their lifetime considering the environmental aspect)*. In: *Horizonty dopravy*, No 2/2011, pages 11-14, ISSN 1210-0978.
3. MORAVČÍK, L.: *Zákon o podpore energeticky a environmentálne úsporných motorových vozidiel (Act on the promotion of clean and energy-efficient vehi-*

- cles). In: Sprievodca svetom dopravcu, No 7/2011, 23 July 2011, pages 6-9, ISSN 1338-1881.
4. MORAVČÍK, L.: *Podpora ekologicky a energeticky úsporných motorových vozidiel v cestnej doprave (The promotion of clean and energy-efficient vehicles in road transport)*. In: Sprievodca svetom dopravcu, No 3/2011, 21 March 2011, pages 6-10, ISSN 1338-1881.
 5. Directive 2009/33/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of clean and energy-efficient road transport vehicles.
 6. Regulation UNECE No 101 – Uniform provisions concerning the approval of passenger cars powered by an internal combustion engine only, or powered by a hybrid electric power train with regard to the measurement of the emission of carbon dioxide and fuel consumption and/or the measurement of electric energy consumption and electric range, and of categories M1 and N1 vehicles powered by an electric power train only with regard to the measurement of electric energy consumption and electric range.
 7. Regulation UNECE No 83 – Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the emission of pollutants according to engine fuel requirements.
 8. The Clean Vehicle Portal: <http://www.cleanvehicle.eu>.
 9. The Law Portal: <https://lt.justice.gov.sk>.
 10. http://ec.europa.eu/energy/observatory/oil/bulletin_en.htm.

Štefan Liščák*, Krzysztof Olejnik**, Grzegorz Woźniak**

**Žilinska Univerzita Fakulta PEDAS, Žilina, Slovakia,
stefan.liscak@fpedas.uniza.sk*

***Motor Transport Institute, Warsaw, Poland,
krzysztof.olejnik@its.waw.pl, grzegorz.wozniak@its.
waw.pl*

Propozycje i ocena możliwości zwiększenia rzeczywistej pracy przewozowej środków transportu drogowego

**[Proposals and evaluation of the possibility to increase
the real haulage work of the road transport]**

Streszczenie

W referacie przedstawiono analizę przewożonych ładunków samochodami w zakresie ich gęstości. Z analizy wynikało, że możliwa do wykorzystania objętość przestrzeni ładunkowej pojazdów normatywnych, jest ograniczona przepisami o wymiarach zespołu pojazdów na drogach publicznych. Omówiono trzy propozycje zwiększenia rzeczywistej pracy przewozowej środkami transportu drogowego. Poddano ocenie zalety i wady proponowanych rozwiązań. We wnioskach przedstawiono propozycje działań umożliwiających realizację ocenianych koncepcji.

Słowa kluczowe: praca przewozowa, transport drogowy

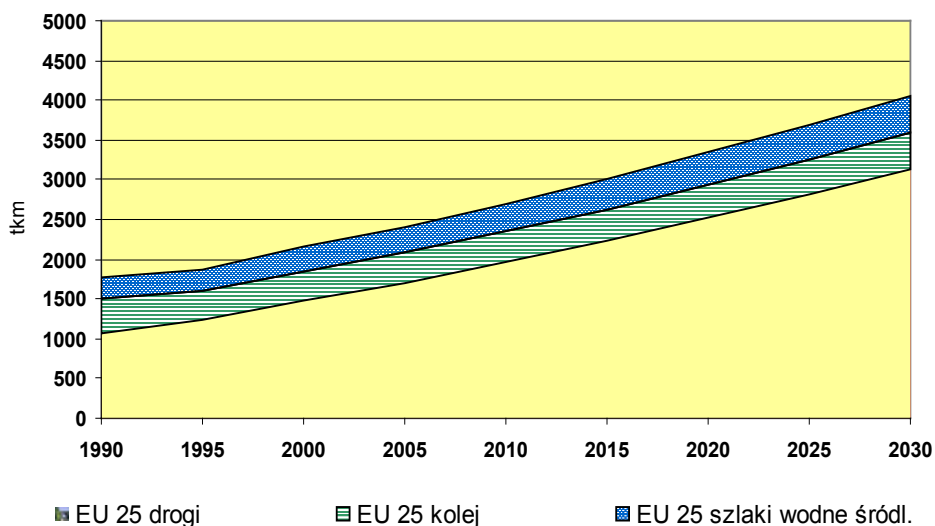
Summary

The paper presents an analysis of freight carried by cars as far as their density is concerned. The analysis resulted in the conclusion that, the volume of the cargo area of standard vehicles possible to be used, is limited by the legislative regulations on the dimensions of the vehicle set on the public roads. Three proposals to increase the real haulage work by the road transport, were discussed. The advantages and disadvantages of the proposed applications were evaluated. The conclusions contained proposals for actions enabling the implementation of the concepts evaluated.

Keywords: haulage work, road transport

Wprowadzenie

Gęstość transportowanego ładunku decyduje o wykorzystaniu pełnej ładowności pojazdów w przewozach środkami transportu drogowego. Ładowność (masowa) pojazdów jest cechą podstawową przy wykonywaniu pracy przewozowej dla ładunków o stosunkowo dużej gęstości. Jej ograniczenie wynika przede wszystkim z administracyjnego ograniczenia zawartego w obowiązujących przepisach dotyczącego dopuszczalnej masy całkowitej zespołu pojazdów. Wynosi ono 40 Mg dla pojazdu normatywnego. Uwzględniając masę własną zespołu pojazdów (ciągnik siodłowy – naczepa lub samochód i przyczepa) dysponujemy ładownością zestawu której wartość wynosi około 25 Mg. Postępujący oraz przewidywany wzrost pracy przewozowej wykonywanej transportem drogowym, konieczny dla rozwoju gospodarczego społeczeństwa, okupiony jest między innymi wzrostem: emisji spalin, emisji hałasu, zatłoczenia ulic oraz zagrożeń wypadkami drogowymi. Te negatywne zjawiska towarzyszące rozwojowi można i trzeba minimalizować. W przyszłości wydajność wszystkich rodzajów transportu będzie wykorzystywana do **maksimum**. Przewiduje się, że do 2030 roku nastąpi dwukrotny wzrost zapotrzebowania na usługi transportowe – rysunek nr 1.



Rys. 1. Transport w UE w latach 1990-2030 – prognoza wzrostu pracy przewozowej

Poniżej zaprezentowano i poddano ocenie szwedzki projekt ESM (Europejski System Modułowy) który między innymi na własne potrzeby został opracowany przez Volvo Trucks i Volvo Logistics. Firmy te od wielu lat pracują nad udoskona-

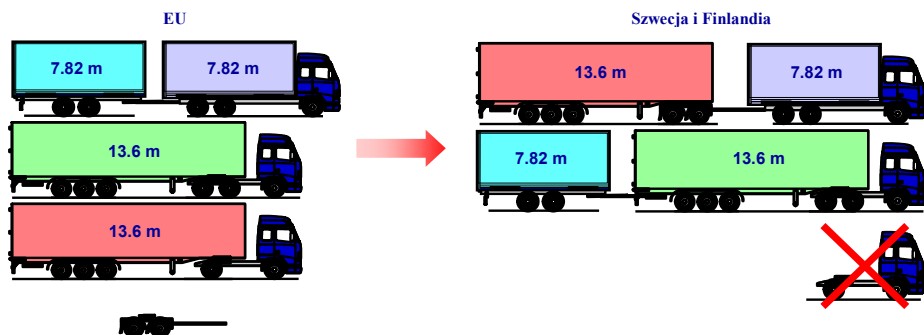
laniem rozwiązań transportowych a opracowany system jest stosowany w Szwecji i Finlandii od wielu lat.

Ponadto projekt firmy Kögel wydłużenia naczepy o 1,3m oraz propozycję autora wydłużenia przestrzeni ładunkowej ograniczonej zapisem w dyrektywie 96/53 UE.

Ponieważ, jednak jak wskazuje doświadczenie, przydatność sieci kolejowej jest niewystarczająca do przejścia rosnącego zapotrzebowania na transport drogowy, szybkie wprowadzenie systemu modułowego na obszarze całej Europy nabiera kluczowego znaczenia. W praktyce, poszczególne formy transportu nie konkurują ze sobą, lecz się uzupełniają. Dłuższe zestawy drogowe wykorzystywane w krajach skandynawskich zazwyczaj składają się z samochodu ciężarowego z nadwoziem skrzyniowym bądź furgonowym holującym przyczepę. Krótsze zestawy używane w Europie to przede wszystkim naczepy holowane przez ciągniki siodłowe.

Założenia projektu Europejskiego Systemu Modułowego w warunkach transportu drogowego w Polsce

System ESM najogólniej mówiąc, umożliwia on dwóm zespołom pojazdów przewiezienie tej samej ilości ładunku który wymagałaby użycia trzech pojazdów „europejskich”. Według dyrektywy Unii Europejskiej 96/53/UE dotyczącej międzynarodowego ruchu pojazdów ciężarowych, wartość maksymalnej dopuszczalnej długości zespołu pojazdów na obszarze UE wynosi: 18,75 m dla samochodu ciężarowego z przyczepą, zaś 16,5 m dla ciągnika siodłowego z naczepą. Obecnie w Europie ten sam ładunek przewożą trzy standardowe „krótsze” zespoły pojazdów, dopuszczone do ruchu na obszarze UE. Przedstawioną powyżej ideę obrazuje poniższy rysunek nr 2.



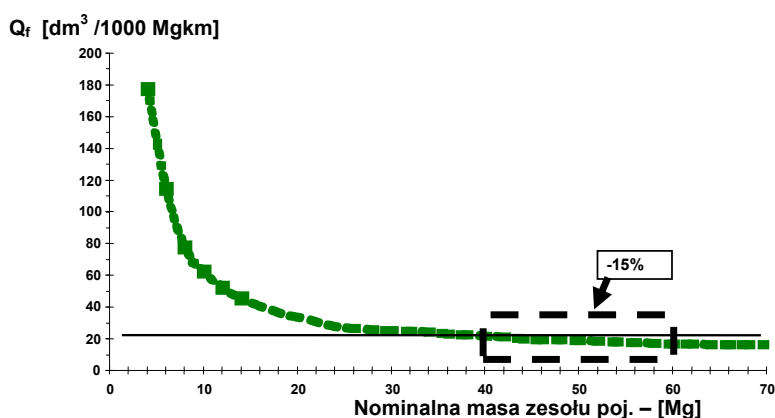
Rys. 2. Koncepcja systemu ESM zastąpienia trzech zestawów, dwoma zestawami – do przewozu tego samego ładunku

Zaprezentowany na rysunku projekt opiera się na zastosowaniu standardowych elementów – naczep o długości 13,62 m i nadwozi wymiennych o długości 7,82 m wraz z dodatkowym wózkiem pośrednim "dolly" z siodłem. Stwarza on możliwość szybkiego tworzenie zespołów pojazdów o różnej długości całkowitej, dostosowanej do potrzeb. Nadwozia wymienne i inne jednostki transportowe wykorzystywane do transportu długodystansowego w systemie modułowym pozwalają dotychczasowe krótsze zespoły wykorzystywać na obszarach miejskich, zaś dłuższe – w systemie ESM, na wyznaczonych drogach głównych (ze względu na ewentualne ograniczenia w możliwościach manewrowych. Standardowe nadwozia wymienne i naczepy powodują, że system modułowy jest również kompatybilny z systemem transportu kombinowanego stosowanym na kolei. W warunkach istniejących w Polsce należy szczególnie pieczołowicie rozważyć zastosowanie systemu ESM. Cytowana dyrektywa UE zezwala na łączenie pojazdów w dłuższe zestawy drogowe w krajach, w których zestawy takie zostaną dopuszczone do ruchu. Proponowane rozwiązanie zakłada, że długość zestawu wzrośnie do wartości 25,25 m, natomiast masa zestawu może osiągać wartość 60 ton. Przy czym maksymalnie dopuszczalne naciski na osie nie ulegają zmianie. Jak dotychczas dyrektywa UE nie przewiduje tych wartości. W świecie, takie rozwiązania są stosowane między innymi w USA, Australii. Obecnie w Europie system modułowy został dopuszczony do ruchu w Szwecji i Finlandii. Jest obecnie testowany w Holandii – wyniki są obiecujące, a dyskutowany jest w Niemczech, Anglii, Danii oraz Belgii. Doświadczenia zdobyte w tych krajach powinny być wykorzystane i ułatwić wprowadzenie w Polsce najpierw eksperymentalne tego systemu. Ponieważ może zostać przyjęty także w innych krajach Europy, najpierw należy opracować i przyjąć maksymalną długość zespołów pojazdów realizujących transport międzynarodowy w systemie ESM. Umożliwi to łatwo dostosować zestaw do przepisów obowiązujących w danym kraju, w którym obowiązuje długość o mniejszej wartości. Formowanie dłuższych zestawów drogowych musi odbywać się zgodnie z koncepcją modułową, co pozwoli uniknąć preferencji dla przewoźników z konkretnych krajów.

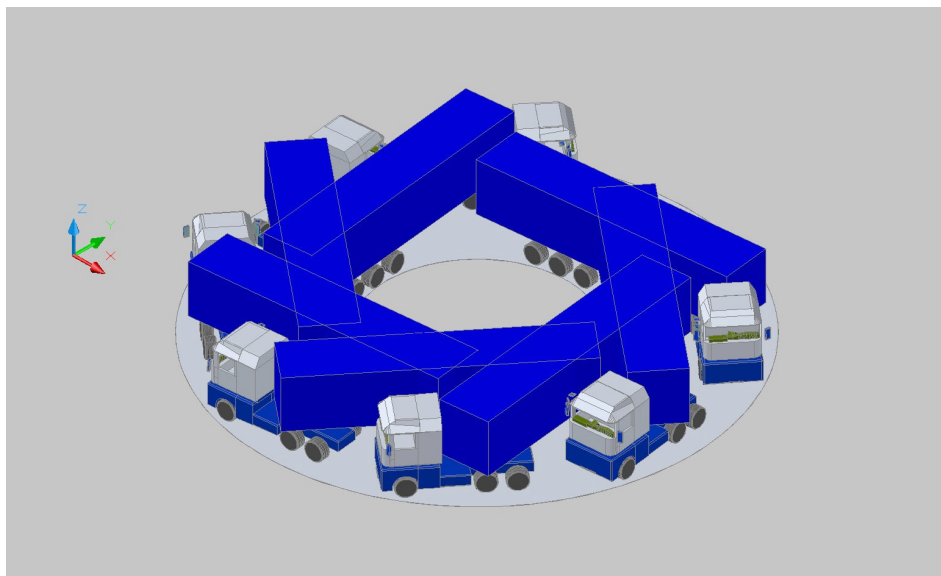
System ESM – zalety i wady

Zwiększa wydajność transportu na terenie Europy i jego konkurencyjność w sensie ekonomicznym. Zmniejsza liczbę samochodów dla zadanej ilości towarów. Niższy jest globalny i lokalny negatywny wpływ na środowisko naturalne. Usprawnienie systemu bezpieczeństwa ruchu. Zmniejsza przeciążenie dróg. Mniejsza zajętość pasów ruchu. Wspiera transport mieszany. Uwzględniony jest w dyrektywie UE 96/53/EC. Zawiera w sobie istniejące jednostki ładunkowe i pojazdy. Jest możliwa łatwa i szybka przemiana w krótsze kombinacje. System był i jest sprawdzany przez wiele lat w Holandii, Szwecji i Finlandii. Większe zespo-

ły pojazdów stwarzają możliwość niższego zużycia paliwa na tonokilometr pracy przewozowej – rysunek nr 3. W krajach Unii Europejskiej dotychczas brak harmonizacji przepisów dotyczących zwiększonych wartości limitów długości i masy zespołu pojazdów w omawianym zakresie. Dla dłuższego zespołu pojazdów, kryteria promienia skrętu i zawracania powinny ulec zmianie. Dwa pojazdy zastępują trzy, możliwość krótszych kombinacji, standardowe jednostki ładunkowe, taka sama wielkość ładunku, mniejsze całkowite zużycia paliwa, mniejsza emisja na tonokilometr, mniejsza zajętość drogi, mniejsze niszczenie dróg, mniejsze koszty jednego tonokilometra. Wydłużenie zespołu pojazdów powoduje zwiększenie wartości czasu potrzebnego do wyprzedzenia takiego obiektu. Jest to okoliczność szczególnie niekorzystna w warunkach panujących na polskich drogach. Wąskie drogi z dwoma pasami ruchu w przeciwnych kierunkach stwarzają wzrost zagrożenia wypadkami w związku ze zwiększoną wartością długości.



Rys. 3. Wykres zależności zużycia paliwa na jednostkę pracy przewozowej, od masy całkowitej zespołu pojazdów



Rys. 4. Korytarz ruchu zestawu pojazdów po okręgu, zgodny z obecnie obowiązującymi wymaganiami

Obecnie obowiązujące przepisy nakładają na konstruktorów i producentów pojazdów obowiązek takiego ich konstruowania aby zespół pojazdów zmieścił się w korytarzu, którego wewnętrzny promień ma wartość 5,3 m, natomiast zewnętrzny promień ma wartość 12,5 m – rysunek nr 4. Zespół pojazdów ESM nie jest w stanie zmieścić się w tak wyznaczonym korytarzu. Aby mógł przejechać w tym kręgu, promień kręgu wewnętrznego należy zmniejszyć do wartości 2,0 m. A zatem wymaga to przeanalizowania potrzeby zmiany przepisów w tym zakresie.

Wnioski i podsumowanie

Dwa pojazdy w systemie modułowym są w stanie wykonać pracę, którą dziś wykonują trzy samochody ciężarowe. Przy czym zachowuje się dotychczasowe ograniczenia nacisków dopuszczalnych osi w proponowanym zespole ESM. Zapotrzebowanie na transport drogowy stale rośnie. Z szacunków wynika, że w ciągu najbliższych 15 lat transport drogowy z wykorzystaniem samochodów ciężarowych powiększy swoje możliwości pracy przewozowej na terenie Europy o kolejne 50%. Wprowadzenie systemu modułowego na obszarze całej Europy pozwoliłoby zaspokoić ten popyt przy użyciu mniejszej liczby pojazdów.

Mniejsza liczba pojazdów koniecznych do zrealizowania danego zadania transportowego przyczyni się do znacznego zmniejszenia zatłoczenia dróg, a także obniżenia zużycia paliwa i emisji spalin do atmosfery. Zmniejszą się koszty jednostkowe firm transportowych oraz tempo degradacji nawierzchni drogowych, na czym wszyscy skorzystają. Należy jednak pamiętać, że dotychczas drogi projektowano i budowano przy założeniu, że zespół pojazdów będzie krótszy niż proponowana wartość długości EMS. Nie oznacza to, że zespół EMS nie będzie w stanie poruszać się po wybranych drogach.

Doświadczenia Holenderskie pokazują, że można wytypować takie drogi, na których zespół pojazdów będzie w stanie przewozić ładunki. Należy również pamiętać o potrzebie zapewnienia odpowiednich placów manewrowych i podjazdów pod magazyny i centra logistyczne dostosowanych do zwiększonej wartości długości zespołu pojazdów. W przyszłości należało będzie zmienić wymagania dotyczące projektowania i wykonania infrastruktury drogowej odpowiednio dostosowane do zwiększonych wymiarów. Szczególną uwagę należy zwrócić na zwiększenie czasu wyprzedzania wydłużonego zespołu pojazdów i zagrożenia wypadkami tym powodowane.

Transport drogowy, konieczny do rozwoju nowoczesnego społeczeństwa ma także wady. Zaproponowana koncepcja ESM jest rozwiązaniem kompromisowym i rokującym nadzieję na jej realizację. Należy stworzyć rozwiązania umożliwiające zahamowanie tempa wzrostu liczby pojazdów na drogach i związanego z tym paraliżu europejskiej i polskiej sieci drogowej.

Wprowadzenie skandynawskiego systemu modułowego na obszarze całej Europy pozwoli zmniejszyć: negatywne oddziaływanie na środowisko, zagrożenia kolizyjne i wypadkowe oraz rozładować rosnące zatłoczenie panujące na drogach.

Wydajniejsze systemy logistyczne poprawią konkurencyjność ekonomiczną gospodarki europejskiej w porównaniu do reszty świata. W przyszłości będzie potrzebna cała dostępna wydajność systemu transportowego, niezależnie od rodzaju środków transportowych. W Polsce wprowadzenie tego systemu jest możliwe po uprzednich testach eksperymentalnych w czasie których zostaną określone możliwości i ograniczenia towarzyszące wprowadzeniu tego systemu.

Założenia projektu KÖGEL

Wprowadzenie

Naczepa marki Kogel Big Maxx, typu SB 24, została zaprojektowana z założeniem przekroczenia długości całkowitej pojazdu, w stosunku do wielkość dopuszczalną o 1,3m. Pojazd w założeniach ma zoptymalizować przewóz ładunków

o stosunkowo małej gęstości, a jednocześnie nie będzie sprzeczny z wymaganiami eksploatacyjnymi na drodze.

Wszystkie pozostałe wymagania homologacyjne zostały spełnione, w tym wymagania dotyczące szerokości korytarza ruchu. Jest to konstrukcja nowatorska, której przewodnią ideą jest stworzenie nowego standardu długości naczepy, której rama umożliwia przewóz dwóch standardowych pojemników wymiennych 7,45 m lub 45' kontenera (High-Cube). W innych wariantach nadwoziowych (np. furgon), wydłużenie przestrzeni ładunkowej o 1,3 metra pozwala na pomieszczenie dodatkowego rzędu Europalet. Projekt zbudowania takiego pojazdu powstał z inicjatywy firmy Kögel Trailer GmbH&Co. Powstała naczepa o przedłużonej o 1,3m długości, jej ładowność masowa pozostała bez zmian lecz możliwość transportu objętościowego wzrosła o około 10%. W celu rozpatrzenia zastosowania naczepy przedłużonej pod możliwie wieloma aspektami i określenia związanych z tym skutków, zebrano i przeanalizowano ogólne informacje na podstawie analizy literatury dotyczącej obecnej i przewidywanej sytuacji w transporcie realizowanym samochodami ciężarowymi. Pozwoliło to na ocenę opisywanej koncepcji pojazdu oraz ewentualne interakcje z innymi uczestnikami ruchu drogowego oraz opłacalnością. Zbadano właściwości jezdne, jak również ewentualne zagrożenia w ruchu drogowym oraz kompatybilność z infrastrukturą drogową. W związku z tym przeprowadzono symulacje ważnych sytuacji drogowych. Ten sposób postępowania umożliwia szybkie i powtarzalne przeprowadzenie manewrów jezdnych oraz dostarcza bezpośrednio porównywalnych parametrów fizycznych, które pozwalają na ocenę właściwości jezdnych. W wyniku symulacji, zachowanie się zestawu z naczepą przedłużoną można porównać bezpośrednio z zachowaniem pojazdów uczestniczących obecnie w ruchu drogowym. Poszczególne manewry zostały przeprowadzone na specjalnie do tego celu przygotowanym odcinku pomiarowym.

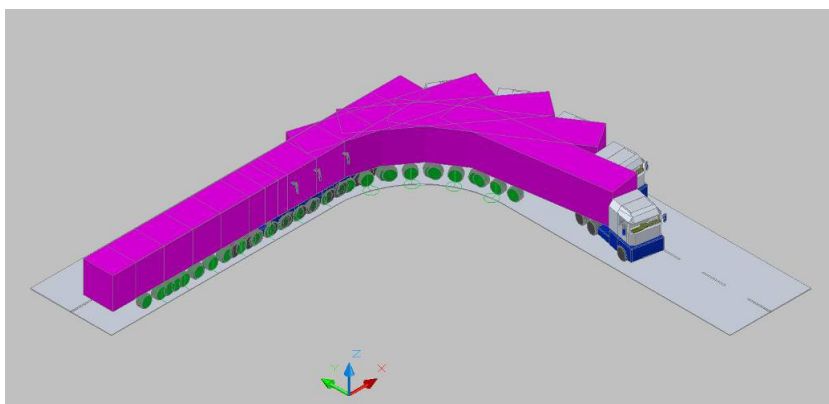
Już dziś wydajność transportu znajduje się powyżej największej przewidywanej wartości (scenariusz integracyjny). Prognoza ruchu drogowego na przyszłość wskazuje na znaczący problem wydajności. Udział drogowego ruchu towarowego (w najlepiej rozwiniętej gospodarce niemieckiej) w wydajności transportowej, wynosił w roku 2005 już 66 %, udział kolei 20 %, a udział towarów transportu morskiego 14 %. Pozostała wydajność transportowa o wartości około 100 mld (tonokilometry) [tkm] została zrealizowana przez zagraniczne przedsiębiorstwa na niemieckich szlakach komunikacyjnych. Podczas, gdy liczba pojazdów oraz wydajność transportowa w ostatnich latach wyraźnie wzrosły, sieć dróg nie została dopasowana w odpowiednim stopniu. Obowiązujące w państwach należących do Unii Europejskiej przepisy homologacyjne w zakresie dopuszczalnych wymiarów pojazdów oraz regulujące zasady przewozów były formułowane w oparciu o krotkość wymiarów gabarytowych jednostek transportowych (Europalet).

W drugiej połowie lat 90-tych ubiegłego wieku powiększono dopuszczalną szerokość pojazdów ciężarowych o 5 cm (z 2,50 m do 2,55 m) w celu ułatwie-

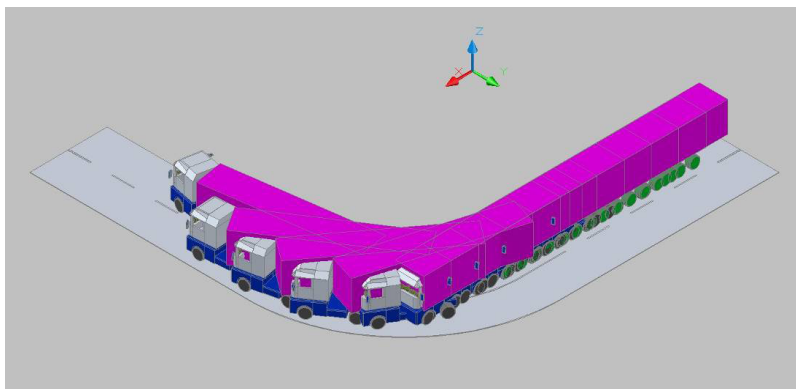
nia załadunku trzech Europalet w jednym rzędzie. Idea polegająca na wydłużeniu naczepy do wymiaru umożliwiającego przewóz dwóch standardowych pojemników wymiennych 7,45 m lub 45' kontenera (High-Cube) jest działaniem w tym samym kierunku. Należy zaznaczyć, że idea przedłużenia naczepy nie ma na celu podwyższenia jej ładowności (ani zwiększenia nacisków osi), lecz powiększenie pojemności przestrzeni ładunkowej, co pozwala na znacznie lepsze wykorzystanie taboru, ponieważ wg. badań statystycznych średnie wykorzystanie dopuszczalnej ładowności w największych pojazdach ciężarowych waha się od 60 do 70 procent.

Celem Projektu było wszechstronne przebadanie koncepcji wydłużonej naczepy w Polskich warunkach eksploatacyjnych i uzyskanie wiarygodnego materiału porównawczo-badawczego, mogącego stanowić podstawę do decyzji o ewentualnym wprowadzeniu tego typu przedłużonych naczep do normalnej eksploatacji. Ponadto celem badań, oprócz rozważenia zmiany wymagań technicznych w zakresie długości zestawu pojazdów obowiązujących w Polsce było wypracowanie stanowiska (na forum europejskim) w sprawie zmiany wymagań dyrektywy o masach i wymiarach pojazdów drogowych.

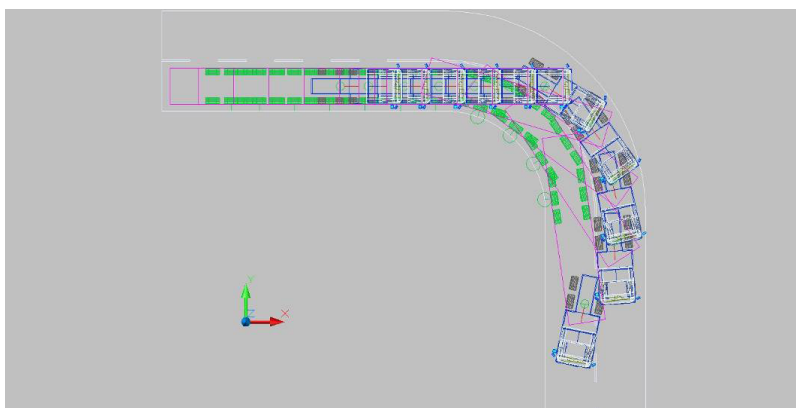
Badania symulacyjne prowadzono na modelu zespołu pojazdów i dokonywano weryfikacji występowania ograniczeń przy pokonywaniu elementów infrastruktury drogowej przy skręcie w lewo jak i w prawo. Schematy analizowanych sytuacji na drodze pokazano na rysunkach nr 5-11.



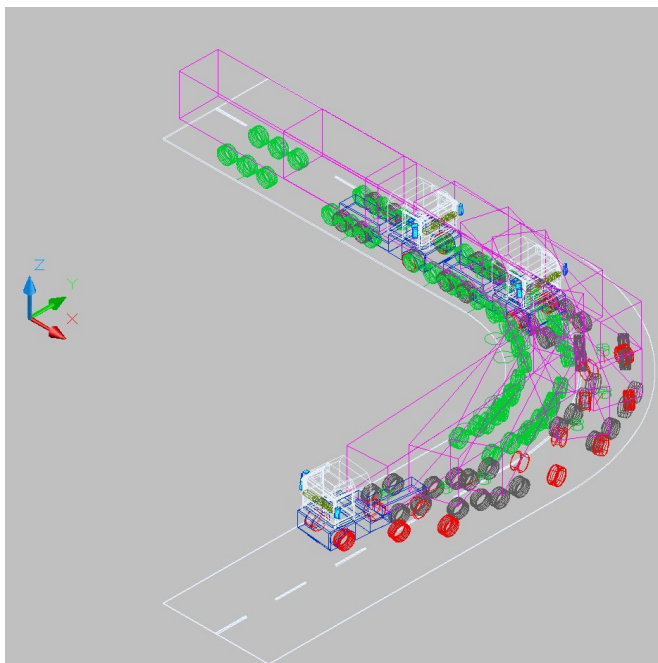
Rys. 5. Tory ruchu pojazdu z naczepą w trakcie skręcania na zakręcie (łuku drogi), widok z prawej strony – symulacja komputerowa



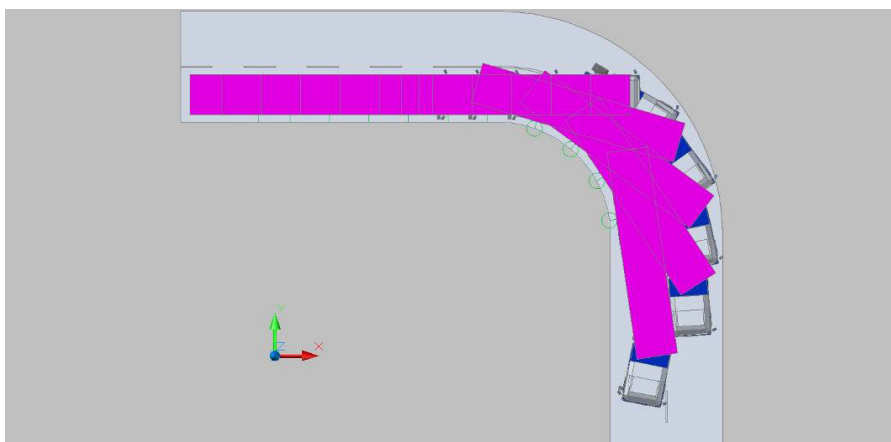
Rys. 6. Tory ruchu pojazdu z naczepą w trakcie skręcania na zakręcie (łuku drogi), widok z lewej strony – symulacja komputerowa



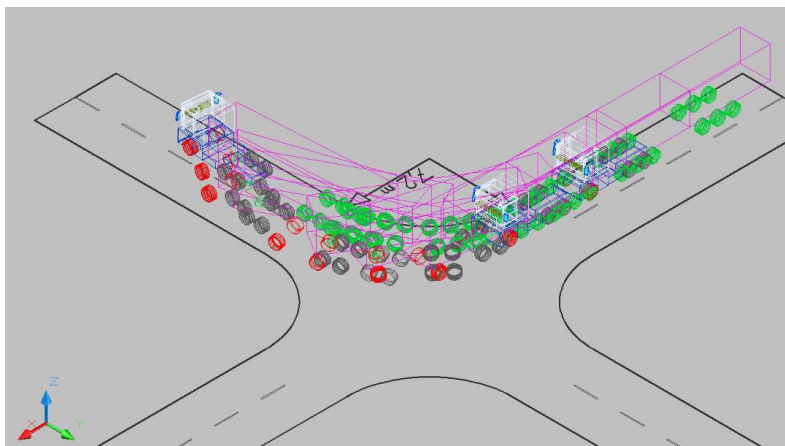
Rys. 7. Tory ruchu pojazdu z naczepą w trakcie skręcania na zakręcie (łuku drogi), widok kół z góry – symulacja komputerowa



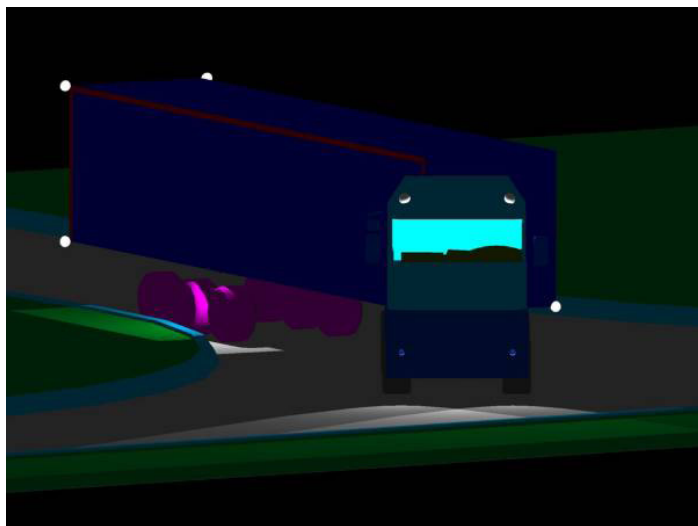
Rys. 8. Tory ruchu pojazdu z naczepą w trakcie skręcania na zakręcie (łuku drogi), widok kół z prawej strony – symulacja komputerowa



Rys. 9. Tory ruchu pojazdu z naczepą w trakcie skręcania na zakręcie (łuku drogi), widok z góry – symulacja komputerowa



Rys. 10. Tory ruchu pojazdu z naczepą w trakcie skręcania na skrzyżowaniu w prawo – symulacja komputerowa



Rys. 11. Widok na skrzyżowaniu modelu naczepy z ciągnikiem siodłowym – symulacja komputerowa

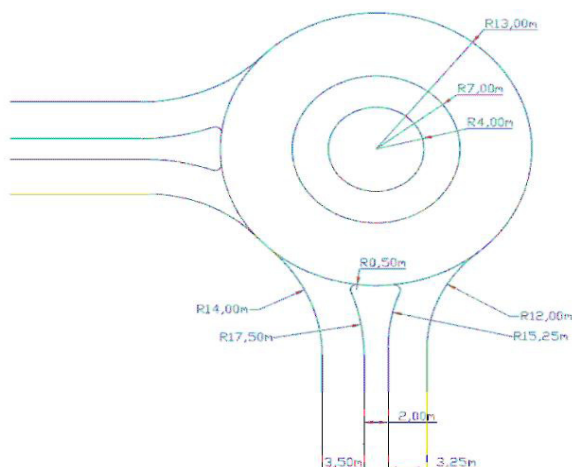
Podczas jazdy na zakrętach koła naczepy przemieszczają się po zupełnie innym torze niż koła ciągnika (rys. 5-9).

Można wyodrębnić co najmniej trzy typowe przypadki takiej sytuacji:

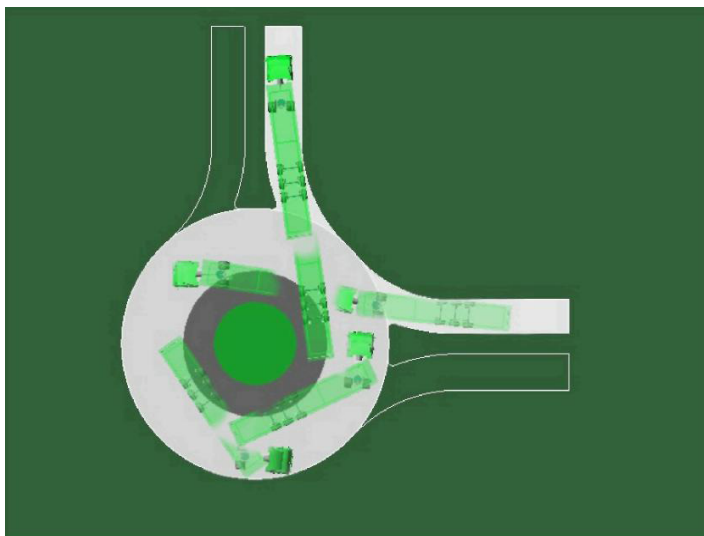
- jazda zespołu pojazdów np. na skrzyżowaniu przy skręcie w prawo lub lewo,

- omijanie pieszych lub rowerzystów, którzy poruszają się w nocy po jezdni i są nieoświetleni – dodatkowo kierujący w nocy w ciemnościach nie widzi boku naczepy,
- jazda zespołu pojazdów po łuku drogi na zakręcie.

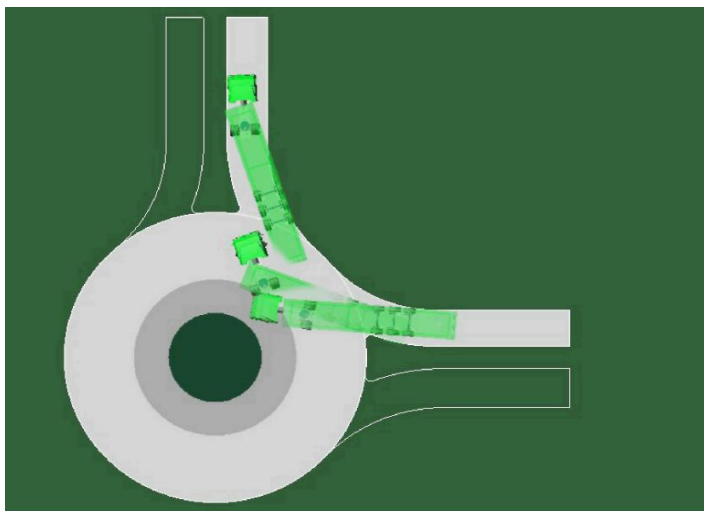
W pierwszym i trzecim przypadku kierujący "na wyczucie" prowadzi ciągnik siodłowy po takim łuku, by koła ominęły krawężnik lub inne przeszkody. W drugim przypadku jest podobnie, jednak na wąskiej drodze nadjeżdżający pojazd z przeciwka zmusza kierowcę zestawu do wcześniejszego powrotu na swój pas ruchu. Może to spowodować kolizję jego naczepy z pieszym lub rowerzystą który znajduje się w nieoświetlonej strefie. Kierowca nie jest w stanie obserwować wzajemnego położenia jego pojazdu względem pieszego lub rowerzysty.



Rys. 12. Wymiary przykładowego ronda w terenie zabudowanym z pomniejszoną wyspą centralną



Rys. 13. Symulacja przekroczenia ogranicznika pasa ruchu przy skręcie w prawo na rondzie



Rys. 14. Symulacja skrętu w prawo na rondzie przy jeździe po pięciu czwartych ronda

W badaniach symulacyjnych i rzeczywistych, sprawdzeniu poddano z jednej strony wjazd i wyjazd z ronda usytuowanego w miejscach zabudowanych, a z drugiej strony wjazd w zatokę postojową (rys. 12). **Wyniki badań właściwości jezd-**

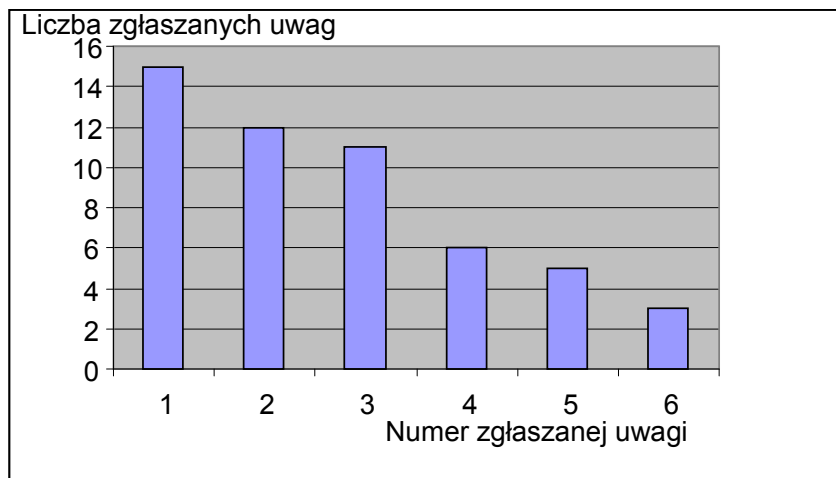
nych zostały przetestowane również w tych warunkach i porównane z wynikami jazd próbnych. Przedstawione rondo jest porównywalne z małymi rondami które są wybudowane w wielu miejscowościach. Jazdy próbne oraz symulacje pokazały, że jazda po jednej czwartej ronda, czyli przy realizacji skrętu w prawo, nie była możliwa bez kontaktu z poszerzonym pasem ruchu ograniczającym wymiar wysieki. Pełna jazda po rondzie z wyjazdem nie stanowi już problemu. **Do korzystania z rond można więc zalecić jazdę po pięciu czwartych ronda, wówczas kierowcy mogliby ominąć wąskie miejsca (rys. 13 i 14).**

Powiększona długość naczepy wymaga zwiększonej ostrożności podczas jazdy po wąskich drogach w terenie zabudowanym. **Zdania kierujących były podzielone.** Połowa oceniła właściwości jezdne na drogach bocznych jako takie same, a druga połowa jako gorsze. **Ze względu na większy rozstaw osi manewry skręcania na terenach zabudowanych wypadają również gorzej niż w przypadku normalnego zestawu,** ponieważ naczepa wgłębia się trochę bardziej w zakręt niż normalna naczepa. O poważnych problemach jednak nie było mowy. Niektórzy kierowcy twierdzą, że niebezpieczeństwo zmniejsza się, ponieważ przy częstym przewożeniu długich elementów (drewno, żelazo) drzwi tylne naczepy pozostają zamknięte – ładunek nie wystaje poza obrys naczepy. Na rysunku 15 graficznie przedstawiono wyniki uzyskane w ankietach od użytkowników badanych naczep.

- 1 Zwiększone w stosunku do pojazdu standardowego zachodzenie tyłu pojazdu przy skręcie w prawo.
- 2 Zwiększone zużycie paliwa.
- 3 Zwiększone zużycie opon.
- 4 Podatny na boczny wiatr.
- 5 Problemy z manewrowaniem na małych placach.
- 6 Problemy z brakiem długości na rampach przy bocznym załadunku.

Największe zagrożenie stwarza zwiększone w stosunku do pojazdu standardowego zachodzenie tyłu pojazdu przy skręcie.

Poniżej zamieszczono przykładowe fotografie (Fot. 1, 2) zachowania się zestawu na skrzyżowaniu w trakcie skręcania zespołu pojazdów, w których występuje sytuacja niepożądana – większe w stosunku do pojazdu standardowego zachodzenie tyłu pojazdu podczas skrętu mimo, że pojazdy spełniają ustawowe wymaganie zachowania na zakrętach.



Rys. 15. Graficzne przedstawienie uwag zgłaszanych przez ankietowanych



Fot. 1. Zestaw skręcający na skrzyżowaniu w prawo



Fot. 2. Zestaw skręcający na skrzyżowaniu w lewo

Trudności mogą wystąpić przy ciasno ustawionych pojazdach, gdyż manewr skrętu wymaga zajęcia dwóch pasów ruchu. Ankieta wśród kierowców nie pokazała jednak nadmiernie istotnych przeszkód. Poniżej na zdjęciach 3 i 4 pokazano rzeczywistą sytuację pokonywania ronda przez zespół pojazdów o zwiększonym wymiarze długości naczepy. Niebezpieczeństwa zagrażające w ruchu drogowym jego uczestnikom – wypadki i kolizje są permanentnie związane z uczestnictwem w ruchu drogowym, tym bardziej starannie należy analizować wszystkie aspekty wydłużenia naczepy.



Fot. 3. Zestaw pokonujący rondo (widok z przodu i z tyłu)



Fot. 4. Naczepa o normatywnej długości i naczepa badana, wydłużona o 1,3 m

Podsumowanie i wnioski

Uzyskane wyniki zostały szczegółowo przeanalizowane pod kątem możliwych negatywnych skutków wprowadzenia wydłużonego zestawu do ruchu na drogach w Polsce. Przeanalizowane zostały również pozytywne aspekty takiego rozwiązania. Synteza wyników badań ułatwiła i pozwoliła na podjęcie decyzji o ewentualnej propozycji zmiany wymagań w przepisach w zakresie maksymalnej długości zestawu pojazdów.

Analizy względów bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego przemawiają za stosowaniem zespołów zawierających naczepy o zwiększonej długości. Wprawdzie w porównaniu z tradycyjnymi zespołami pojazdów przewożącymi ładunki o podobnej masie lub objętości, długość całkowita zespołu ciągnik z naczepą wydłużoną (17,8 m) przekracza długość dopuszczalną określoną w aktualnie obowiązujących przepisach (16,5 m), lecz nie przekracza długości dopuszczalnej dla zespołu samochód ciężarowy z przyczepą (18,75 m). Ma to szczególne znaczenie podczas wyprzedzania takiego zespołu na drogach o jednym pasie ruchu w każdym z kierunków, ze względu na krótszy czas wykonywania tego manewru.

Długość zestawu: ciągnik + wydłużona naczepa nie jest większa od zespołu pojazdów: samochód ciężarowy + przyczepa, dlatego też można uznać, że dla innych użytkowników drogi manewr wyprzedzania nie będzie stanowił większego

problemu. Również miejsca parkingowe przystosowane do dłuższych zespołów pojazdów będą wystarczające dla omawianego zestawu.

Eksploatacja omawianych zestawów nie spowoduje zwiększenia nacisków kół na drogę, gdyż zwiększenie długości nie zwiększa maksymalnej masy pojazdu, a nawet może odciążyć drogi bez żadnych inwestycji w infrastrukturę drogową, ponieważ wzrasta wydajność pojazdów o ok. 10% i o tyle samo można spodziewać się redukcji wielkość floty transportowej.

Aspekty środowiskowe – zwiększenie objętości ładunkowej o 10% rekompensuje w zupełności zwiększone zużycie paliwa (według użytkowników średnie zużycie paliwa wzrosło o ok. 5% w stosunku do zużycia paliwa przez zestawy standardowe), umożliwia to w adekwatny sposób redukcję emisji dwutlenku węgla. Również spedytorzy, którzy mogli skorzystać z eksploatacji przedłużonej naczepy na podstawie zezwolenia specjalnego, wykazali wyraźne zainteresowanie ekonomiczne tą koncepcją.

Koncepcja wydłużonych naczep samochodowych zainicjowana przez firmę KOEGEL jest rozwiązaniem przyszłościowym i pożytecznym.

Efektem pozytywnym w zrealizowaniu tego projektu jest zmniejszenie emisji składników toksycznych i innych poprzez zmniejszenie liczby pojazdów. Ponadto obserwowane zwiększenie efektywności transportu drogowego wpływa na zmniejszenie zatłoczenia dróg i zmniejsza niebezpieczeństwo dla uczestników ruchu drogowego.

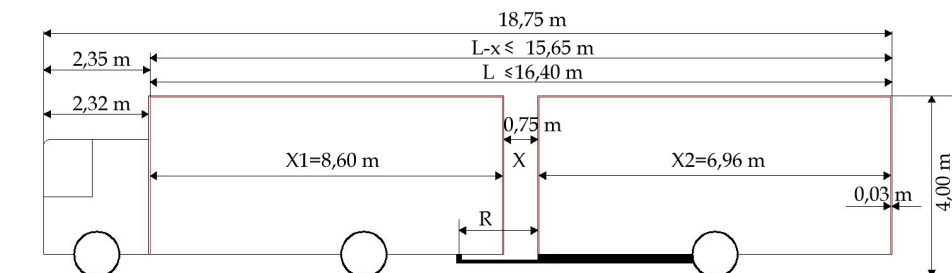
Również wyniki z badań eksploatowanych wydłużonych naczep w szczególnych warunkach polskich, pozwalają wstępnie w sposób miarodajny zabrać naszym przedstawicielom głos na forum Komisji Europejskiej w celu zaopiniowania i przeprowadzenia nieuniknionych zmian czekających infrastrukturę transportu drogowego.

Projekt wydłużenia przestrzeni ładunkowej zestawu w zakresie zwiększenia pracy przewozowej zespołu pojazdów.

Wprowadzenie

Potrzeba zwiększenia możliwości pracy przewozowej zespołu pojazdów (samochód i przyczepa) jest niekwestionowana [4, 5]. Szczególnie jest to możliwe dla ładunków o małej gęstości. Pojazdy przewożące ładunki lekkie np. styropian, puszki do napojów, itp. mają ograniczenia objętościowe będące następstwem ograniczeń gabarytowych. Wynikają one z wymagań zawartych w dyrektywie nr 96/53/WE z dnia 25 lipca 1996 r. w sprawie dopuszczalnych wymiarów i obciążeń pojazdów w ruchu krajowym i międzynarodowym [1]. Wprowadza ona szereg ograniczeń, między innymi gabarytowych. Dla w/w zespołu pojazdów określa maksymalne: długość – 18,75m, szerokość – 2,55m, wysokość – 4,00m. przekroczenie tych ograniczeń kwalifikuje pojazdy do kategorii nienormatywnych. Poruszanie się

takich pojazdów wymaga specjalnych dodatkowych pozwoleń. Są one wydawane wyłącznie w przypadku przewozu ładunków niepodzielnych.



Rys.16. Wymiary graniczne zespołu pojazdów – samochód i przyczepa, wynikające z dyrektywy 96/53/WE

Jest jeszcze jedno ograniczenie gabarytowe zawarte w w/w dyrektywie. Dotyczy ono maksymalnej długości powierzchni ładunkowej zestawu. Sformułowano je w formie dwóch warunków, które muszą być spełnione:

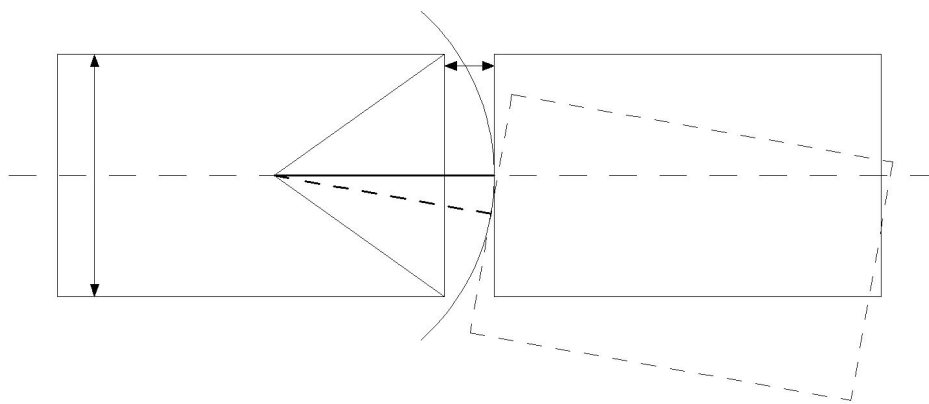
- I odległość mierzona równolegle do podłużnej osi zespołu pojazdów, między najdalej wysuniętym do przodu punktem przestrzeni ładunkowej położonej za kabiną kierującego nim a tylnym obrysem przyczepy, po odjęciu odległości między tylnym obrysem samochodu a przednim obrysem nadwozia przyczepy nie może przekroczyć 15,65m.
- II odległość mierzona równolegle do podłużnej osie zespołu pojazdów, między najdalej wysuniętym do przodu punktem przestrzeni ładunkowej położonej za kabiną kierującego nim a tylnym obrysem przyczepy nie może przekroczyć 16,40m (rys.16).

Wyniki analizy

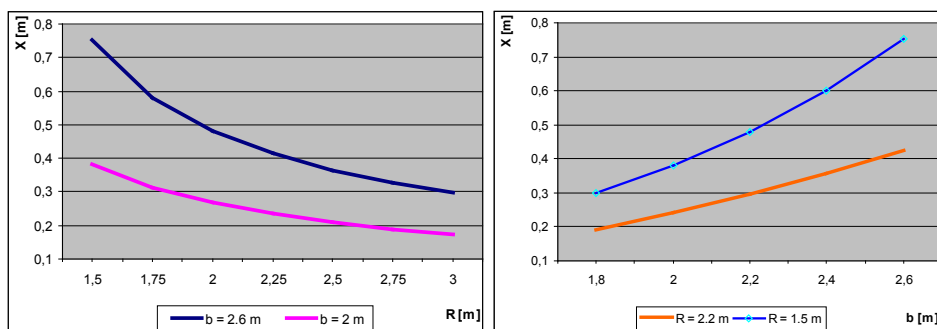
Z przytoczonych wyżej ograniczeń wynika, że wartość odległości pomiędzy tylną ścianą samochodu i przednią ścianą przyczepy nie może być mniejsza niż 0,75m. Wartość grubości skrzyni ładunkowej wynosi 0,03m. wówczas wartość długości części samochodu znajdująca się przed przednią ścianą skrzyni ładunkowej nie może być mniejsza niż 2,32m. wymaganie to zawarte w dyrektywie nr 96/53/WE z dnia 25 lipca 1966 r. w sprawie dopuszczalnych wymiarów i obciążeń pojazdów w ruchu krajowym i międzynarodowym [1], zostało sformułowane wiele lat temu. Było ono słuszne na ówczesnym poziomie rozwiązań konstrukcyjnych. Zostały implementowane do prawodawstwa krajowego [3]. Obserwowany postęp techniczny i rozwój urządzeń pozwala na zmniejszenie tych ograniczeń.

Nie spowoduje to pogorszenia warunków pracy kierowcy. Nie wystąpi również możliwość kolizji tylnej ściany samochodu i przedniej ściany przyczepy w trakcie skręcania i na ewentualnych nierównościach drogi. Producenci podwozi z kabiną wytwarzają kabiny o znacznie mniejszej długości niż 2,32m przy zachowaniu zasad ergonomii i bezpieczeństwa. Spotyka się kabiny, których długość wynosi 1,50m. W tej sytuacji jest możliwe wydłużenie powierzchni ładunkowej o 0,82m. Zajmie ona pustą przestrzeń pomiędzy krótką kabiną a ścianą przednią skrzyni ładunkowej samochodu (rys. 20).

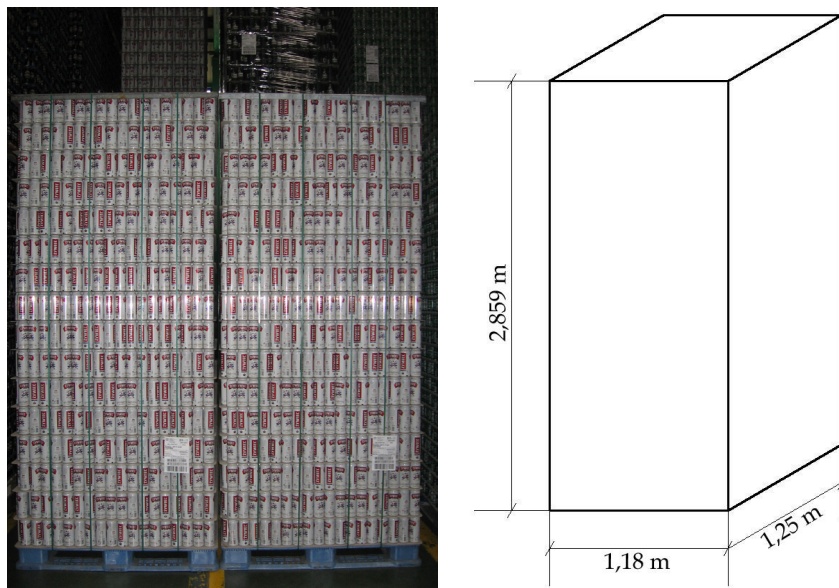
Następną kwestią jest minimalna odległość pomiędzy skrzyniami ładunkowymi zespołu pojazdów. Schemat analizowanego zagadnienia pokazano na rysunku 17. Szerokość samochodu i długość "dyszla" przyczepy centralno-osiowej oraz wsunięcia sprzęgu w głąb samochodu mają tu kluczowe znaczenie.



Rys. 17. Wymiary charakterystyczne dla połączenia sprzęgniętych pojazdów – widok z góry



Rys. 18. Wykresy zależności odległości x ścian od długości R dyszla przyczepy oraz od szerokości b samochodu



Rys. 19. Zdjęcie dwóch palet do załadunku oraz wymiary gabarytowe palety z puszkami do napojów

Ponadto w wyniku wydłużenia "dyszla" przyczepy centralno-osiowej oraz wsunięcia sprzęgu daleko w głąb pojazdu od tylnego obrysu samochodu, jest możliwe zmniejszenie wartości odstępu ścian (tylnej samochodu i przedniej przyczepy) z 0,75m do 0,50m. Wykresy obrazujące te zależności (zamieszczone na rysunku 18) przedstawiają wyniki analizy omawianego problemu. Ilustrują zależność odległości x (tylnej ściany skrzyni ładunkowej samochodu a przednią ścianą skrzyni ładunkowej przyczepy) od długości R "dyszla" przyczepy oraz szerokości b samochodu. Pozwala to również powiększyć skrzynię ładunkową samochodu lub przyczepy.

W efekcie takich działań można uzyskać powierzchnię ładunkową pozwalającą przewozić np. 26 palet z puszkami na napoje (o wymiarach: 1,25m x 1,18m rys. 19, o masie 130kg każda) zamiast 24 palet w zgodzie z dotychczasowymi wymaganiami.

Masa 24 palet wynosi 3120kg zaś 26 palet wynosi 3380kg. Jak widać decydująca jest tutaj objętość przestrzeni ładunkowej. W wyniku powiększenia powierzchni ładunkowej (przy zachowaniu zewnętrznych, dopuszczonych przepisami gabarytów zespołu pojazdów) wzrasta praca przewozowa o 8,3%.

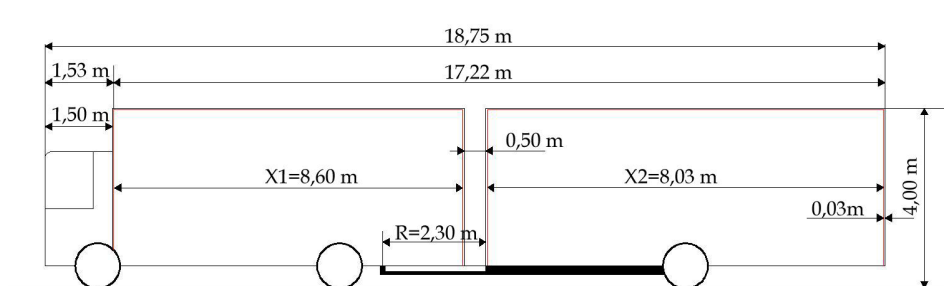
Podsumowanie i wnioski

A zatem ten sam ładunek można przewieźć mniejszą liczbą pojazdów. Zmniejsza to zużycie paliwa przypadające na jednostkę ładunku. Zmniejsza emisję dwutlenku węgla i łagodzi tym samym efekt cieplarniany. Zmniejsza emisję zanieczyszczeń toksycznych do atmosfery na jednostkę przewożonego ładunku. Zmniejsza się zajętość drogi przy przewozach tego ładunku co ma niebagatelne znaczenie przy wzrastającym zagęszczeniu pojazdów na drogach.

Pojazdy dostosowane do przewozu ładunków objętościowych (o których mówiono wyżej) same spełniają wymagania obowiązujących przepisów (rys. 20). Jedynie połączone w zespół pojazdy przekraczają ograniczenie dotyczące długości powierzchni ładunkowej. Wydaje się niezbędne że należy zmodyfikować zapis o maksymalnej długości pomieszczenia ładunkowego.

W dyrektywie nr 96/53/WE z dnia 25 lipca 1966 r. w sprawie dopuszczalnych wymiarów i obciążeń pojazdów w ruchu krajowym i międzynarodowym [1], stworzono możliwość wprowadzania krajowych wymagań innych niż zapisano w tej dyrektywie. Wymagania takie obowiązują wówczas na terenie danego kraju. Uwzględniając szczególnie warunki przewozu ładunków będących materiałami o małej gęstości, niezbędne staje się wprowadzenie zmienionych przepisów umożliwiających lepsze wykorzystanie zespołu pojazdów. Należy zadbać o to aby producenci samochodów wyposażali je w czytelne, jasne i zrozumiałe informacje dla kierującego, dotyczące wymaganej, minimalnej długości "dyszla" przyczepy. Powinny one być umieszczone w łatwo dostępnym miejscu, np. na tylnej ścianie skrzyni ładunkowej. Umożliwi to zapobieganiu zagregowania nieprawidłowo dostosowanej przyczepy do ograniczeń ciągnącego ją samochodu. To niedostosowanie mogłoby spowodować kolizję i uszkodzenie pojazdów w sytuacjach skrajnych. Produkowane obecnie przyczepy są wyposażone w "dyszel" o regulowanej długości. Umożliwia to dostosowanie przyczepy do wymagań pojazdu.

Jak już wcześniej wspomniano, rozwój urządzeń i postęp techniczny stwarzają takie możliwości bez pogorszenia systemu bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego. Jest ono bardziej przyjazne dla środowiska naturalnego. Transport drogowy, konieczny do rozwoju nowoczesnego społeczeństwa ma także wady. Zaproponowana koncepcja minimalizuje wady i jest rozwiązaniem rokującym nadzieję na jej realizację. Należy wspierać rozwiązania umożliwiające zahamowanie tempa wzrostu liczby pojazdów na drogach. Sprzyja ono zmniejszeniu narastającego paraliżu na europejskiej i polskiej sieci drogowej.



Rys. 20. Wymiary przestrzeni ładunkowej po ich modyfikacji

W artykule oceniono wymagania przepisów dotyczące wielkości przestrzeni ładunkowej w dyrektywie UE 96/53/EC. Wykazano, że należy je zmienić. Pozwoli to zwiększyć pracę przewozową zespołu pojazdów. Korzystnie wpłynie na środowisko naturalne. Zwiększa wydajność transportu na terenie Polski i jego konkurencyjność w sensie ekonomicznym. Zmniejsza liczbę samochodów dla zadanej ilości towarów. Niższy jest globalny i lokalny negatywny wpływ na środowisko naturalne. Usprawnienie systemu bezpieczeństwa ruchu. Zmniejsza przeciążenie dróg. Mniejsza zajętość pasów ruchu. Uwzględniony jest w dyrektywie UE 96/53/EC.

Literatura

1. Decree of Ministry of Infrastructure of 31st December 2003 in the matter of the technical conditions of the vehicles and the range of their necessary equipment.
2. Dyrektywa Rady 96/53/WE z dnia 25 lipca 1966 r. w sprawie dopuszczalnych wymiarów i obciążeń pojazdów w ruchu krajowym i międzynarodowym.
3. Ehrning Ulf: *The EMS concept. Transport Logistics*, AB Volvo. Seminarium Volvo Truck Corporation. – Warszawa wrzesień 2006 r.
4. Kampfraat Chris: *Ongoing test and experiences*. Ministry of Transport, The Netherlands. Seminarium Volvo Truck Corporation – Warszawa wrzesień 2006 r.
5. Kowalski K.: *Organizacja utrzymania wojskowych środków transportu*. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe nr 6/2010, Radom 2010.
6. Liščák Š.: *The problems of natural environment pollution hazard resulting from the hasty development of the road transport in the East – European countries*. Quarterly Eksploatacja i Niezawodność 1/2008, s. 61-63 nr 1/99.
7. Lundqvist Anders: *Legislative perspective and experiences of the EMS*. Swedish National Road Administration. Seminarium Volvo Truck Corporation – Warszawa wrzesień 2006 r.

8. Ottosson Charlotte: *Swedish Governments view on the EMS in Europe. Swedish Ministry of Industry*. Seminarium Volvo Truck Corporation – Warszawa wrzesień 2006 r.
9. Olejnik K.: *IV Conference LOGITRANS 2007 r. in Szczyrk*, „Estimation of the project of Modular European System in the conditions of road transport in Poland”.
10. Pilskog Lennart: *EU road transport situation*. Seminarium Volvo Truck Corporation – Warszawa wrzesień 2006 r.
11. Stokłosa J., Cisowski T.: *Intermodal transport for short and medium distance. Quarterly*, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, 3(39)2008.
12. *Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r.: Prawo o ruchu drogowym – tekst jednolity*. Dz. U. 108 / 2005 poz. 908.

Roman Rak

*prof., PhD, Iris Ident s.r.o, Novodvorska 1010/14,
142 00 Prague – 4, Czech Republic,
email: roman.rak@irisident.cz*

Paneuropen project eCALL – information and forensic aspects of car emergency

Abstract

In the near future, your new car will have an electronic safety system automatically calling emergency services in case of a serious accident. Even if you are unconscious, the system will inform rescue workers of the crash site's exact whereabouts, and rescuers will be on their way within minutes. The system, which has been baptised “eCall”, is going to work all over the European Union. It will soon be rolled out across the EU and will further incorporate Iceland, Norway and Switzerland.

As soon as the eCall device in your car senses a severe impact in an accident, it automatically initiates a 112 emergency call to the nearest emergency centre and transmits the exact geographic location of the accident scene and other data. With the same effect, eCalls can also be made manually, at the push of a button. This is convenient if, for instance, you become witness to an accident. Whether the call is made manually or automatically, there will always be a voice connection between the vehicle and the emergency call centre in addition to the automatic data link. This way, any car occupant capable of answering questions can provide the call centre with additional details of the accident.

This article describes the eCALL project from the point of view of car identification and in relation to car's registration information systems; of forensic and security issues, including stolen cars.

Keywords: eCALL, EUCARIS, Vehicle Identification Number, VIN decoder, HeERO

1. Introduction: Basic Objectives and Principles of the eCALL Project Function

One of the European Commission's main tasks called “eSafety” within the “Intelligent Car” flagship initiative for the upcoming period is the introduction of the so-called eCALL project on a pan-European scale. A general objective of this pro-

ject is to provide vehicles with automatic electronic (“e”) calling (“CALL”) to operation centres of the Integrated Rescue System (IRS, emergency call number 112) “for help” in case of a traffic accident or the endangerment of the people in the car, and to ensure the shortest possible time of arrival of an adequately equipped and prepared rescue team.

The call for help will be realised by means of special electronic units in the vehicles (so-called OBU¹ or, synonymously, IVS²), which all newly manufactured vehicles will be equipped with from 2015, and it will also be possible to install these units into older vehicles.

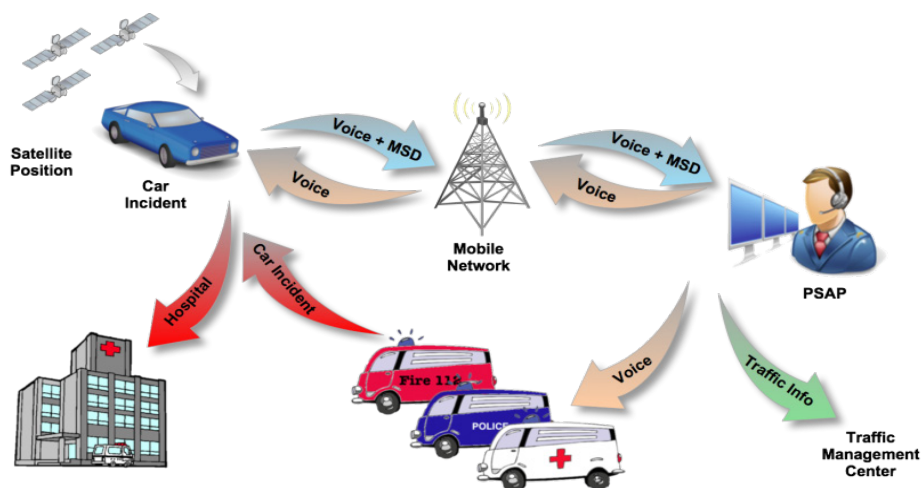
Every vehicle will be localised by means of GPS and the basic information about the vehicle in emergency will be transferred to the IRS operation centre in the unified telecommunication and data standard obligatory for the EU by means of so-called MSD standards – *Minimum Set of Data*, containing information about the place and time of the accident, telecommunication parameters and essential vehicle data (VIN³, vehicle category⁴, fuel used, indication of the activation method of the equipment – i.e. automatically or manually, number of seat belts fastened at the time of the accident). Every vehicle will also be automatically equipped with a voice call communication device (“mobile phone”), so the connection between the vehicle in emergency and the respective IRS operation centre will be established immediately by means of the emergency number 112. In this way any of the people in the car will be able to provide the emergency call receipt desk with additional details about the accident. Similarly, a witness to an accident will be able to call for help for another person involved in the accident from their own car.

¹ OBU – On Board Unit.

² IVS – In Vehicle System.

³ VIN – Vehicle Identification Number.

⁴ Whether a passenger car, lorry, motorcycle, bus etc.



Pict. 1. Basic eCALL project process

The entire project will be working on a pan-European basis, i.e. for example Czech rescue services will be able to provide assistance to any vehicle involved in an accident within the territory of the Czech Republic (and registered in the Czech Republic), as well as provided assistance to all citizens of the Czech Republic in their cars abroad.

Measures to reduce the number of victims and serious injuries on European roads are inevitable! In 1.15 million traffic accidents in the road network of the EU alone in 2009 approximately 35,000 people died and approximately 1.5 million were injured.



Pict. 2. Manual SOS button in a BMW car for communication with a Public single answering point (PSAP)

Immediate notification about the accident and the knowledge of the exact position of its occurrence reduces the time necessary for the provision of effective assistance by 50% outside cities and by 40% in cities. Thanks to this time saving it is expected that the eCall system will save up to 2,500 human lives in the European Union every year and reduce the serious consequences in tens of thousands injured. Every minute the professional medical assistance for the seriously injured person arrives sooner, it increases the chances of saving the person's life by up to 10%.

Thanks to the eCall system the timely treatment of people involved in an accident leads to the faster recovery of the injured. Faster arrival to the site of the accident will enable liquidating the consequences of the accident sooner, which reduces the risk of secondary accidents, reduces traffic jams, prevents the increase of fuel consumption and, on the contrary, decreases the CO₂ emissions.

In simple financial terms it can be said that the yearly economic loss of the EU caused by traffic accidents amounts to more than EUR 160 thousand million. If all cars were equipped with the eCall system, it would be possible to save up to EUR 20 thousand million a year⁵.

⁵ <http://www.heero-pilot.eu/view/cs/ecall.html>

2. HeERO Pilot Project

A pilot project called HeERO (*Harmonised eCALL European Pilot*) is currently running in several selected European countries (Germany, Finland, Greece, Croatia, Italy, the Netherlands, Romania, Sweden) as well as in the Czech Republic. The project is scheduled for the period from 1 January 2011 to 31 December 2013. The objective is to provide the basic preconditions for the project and to test the pilot project technologies in practice. The project will subsequently be expanded to all European countries.

It is a great honour for our republic to have been selected for this pan-European project as a country having one of the best integrated rescue systems (IRS – phone No. “112”) in the world, with a developed automotive market and, last but not least, with relatively high quality information systems in general, including the administration. All countries for the pilot project were selected as a statistically representative (mixed) reality for the conditions of the project. It is no secret that many car brands are already technically prepared for a project of this kind, or very close to its implementation, so the health and life saving effects may be quite quick and significant.



Pict. 3. eCALL pilot project member countries (dark colour) on the map of Europe.

3. Connection with Information Systems and Vehicle Issues

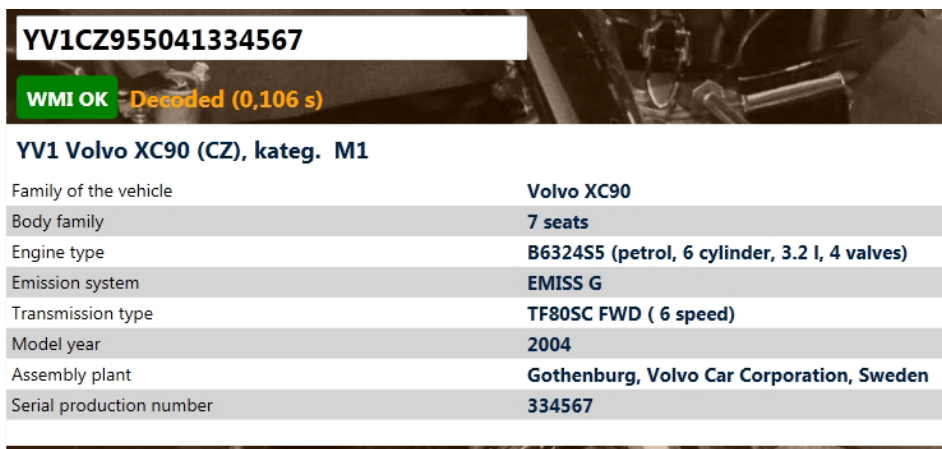
Besides the determination of the vehicle position (which is displayed on the “digital map” in the operation centre) the system should be connected primarily to state information systems, i.e. specifically to national (central) vehicle registers (soon, again, by means of the pan-European project and EUCARIS⁶ technologies – *European Car Information system*) at home as well as in the EU countries. This will make additional supplementary technical data about the crashed vehicle accessible, so the operating officer will be immediately informed e.g. about the type, category and additional technical data (dimensions, weight etc.) of the vehicle, and it will in no way matter what territory the vehicle comes from. The available information will then be utilised for the optimisation and higher efficiency of emergency units (technical equipment, its quantity, specifics etc.), so the solution of e.g. mass accidents, chain accidents, accidents at night where there are, for example, no witnesses available to call for help for the seriously injured or stressed people involved in the accidents etc., will be automated, i.e. the vehicle will be able to call for the adequate rescue service on its own at the activation of airbags or after pressing the emergency button on the dashboard. The information and communication technologies will also help to eliminate language barriers, seeing that many people have died on the roads in the past only because they were not able to explain their position. For more information see, for example, the website of the project: <http://www.heero-pilot.eu/view/en/home.html>.

4. Crucial Role of the Vehicle Identification and Consequences for the Work of Safety and Rescue Services, Investigators, Forensic Engineers

One of the decisive factors for the technological solution of the entire eCALL project, besides telecommunication and data transfer technologies, and special SW (equipping the IRS operation centres with special SW, such as emergency call receipt and answering, graphic visualisation of the site of the accident in maps etc.), is the vehicle identification according to the VIN (*Vehicle Identification Number*).

The VIN identifier enables determining the basic type-identification data of the vehicle (the brand, basic model, engine type and capacity, power, body shape, year of manufacture, manufacturing plant etc.).

⁶ <https://www.eucaris.net/>



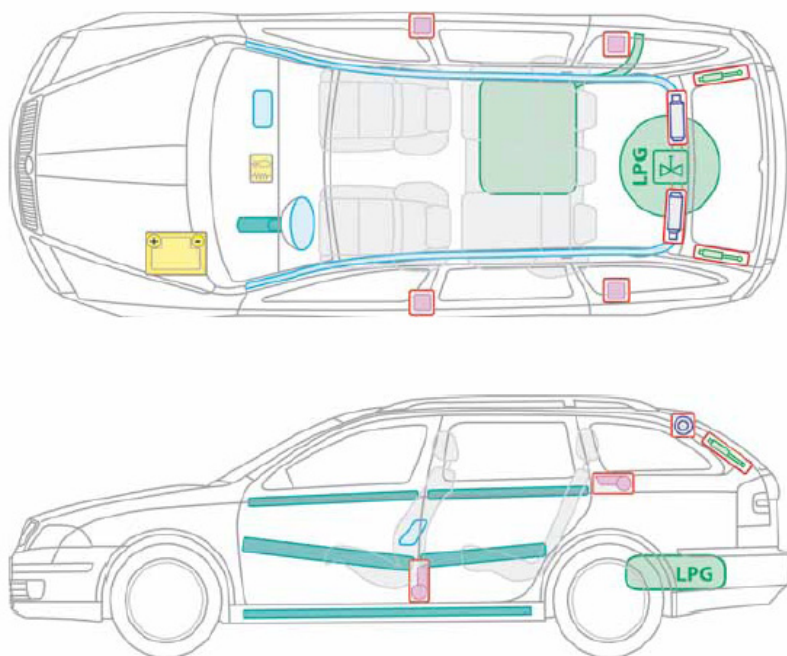
Pict. 4. Basic VIN information for a Volvo XC90 car

At the same time, in the IT terminology, the VIN is the only primary identification key for the access to additional follow-up vehicle records, from where it is possible to get additional needed data – the registration number of the vehicle, its colour (which is a very important visual identifier for the rescue unit when they arrive at the site of the accident), dimensions, weight, transport area capacity (to provide adequate recovery equipment or necessary capacities for the safe re-loading of the transported material from the crashed vehicle and its haulage from the site of the accident).

5. Conclusion

The automatic and subsequent follow-up of the eCALL project to additional information systems will bring further positive aspects:

Firstly, this involves the possibility to connect the VIN information on the crashed vehicle with the special type documentation about the vehicle (pictures, diagrams, drawings, text information). Thanks to this, the rescue units will know, even before they arrive at the site of the accident, where the critical construction elements of the vehicle are that may define or limit the “technology” of the rescue action. The documentation states, for example, where the given vehicle type has safety struts in the body structure (usually the doors), which must be avoided when cutting people free from the vehicle, and the location of the fuel tank and fuel supply shut-off valves, batteries, electronic equipment, control systems, airbags gas generators (some airbags may have not been activated during the accident and could injure the rescuer if handled inexpertly, etc.).



Pict. 5. Security elements and components that can decide the “emergency technology approach” in a crashed Skoda Octavia car

Another positive is the connection between central vehicle registers in each country, and further with EUCARIS. IRS bodies will have information as to whether or not the just crashed vehicle is marked as stolen or missing (or otherwise troublesome). This enables, on one hand, immediate co-operation with the police in finding, and subsequently securing, a stolen vehicle that has been involved in an accident. On the other hand, rescue units (fire brigade, medical service) will be informed in time that the vehicle has been stolen, and that it is therefore possible for the people in the vehicle to behave in a “non-standard” manner during the event, i.e. they will try to escape from the site, will not cooperate or will even endanger the rescuers.

Records from the “black box” of the vehicle may tangibly help with the investigation of the traffic accident. Besides the position (coordinates) and time of the accident, they also store detailed specific information about the kinematics of the accident process, as well as on the operation of all key systems and/or components of the vehicle (turning of the steering wheel, intensity and time

of braking, pressing of the gas or clutch pedal, activation of the ABS⁷, ESP⁸ systems of the vehicle etc.).

The data about the time and place of the accident, the method of rescue system activation (automatically after the activation of airbags or manually upon pressing the call button) may also help the police and the insurance companies in the investigation of car insurance fraud. Many traffic accidents nowadays are feigned and happened elsewhere at another time than stated by the insured person during the fraud. The archive information may also help to systematically disentangle such facts.

If the open information policy is adopted, the data from the accidents (that will be archived) may also give the purchaser of a second-hand car the information as to whether or not the car has been crashed (and hence repaired) in the past and thus evaluate the price of the car. The information about whether the airbags opened during the accident may help to create the most essential idea that there has been an accident. Many heavily crashed vehicles are repaired now, but in fact an inexpertly repaired vehicle may not correspond to the original construction characteristics from the operational and safety view, thus endangering other road users. The information that the vehicle has been involved in an accident should be crucial for the STK⁹, so that they can focus on these facts during the inspection.

The archive of traffic accidents, including the data from the eCALL project in each country (especially the exact position of the vehicle, date and time of the accident, VIN – i.e. the basic type identification of the vehicle at least on the level of the vehicle model) also provide unprecedented possibilities for computer statistics of vehicle accidents related to particular highways (visualisation on maps), and thus contribute analytically and very quickly to the optimisation of dangerous traffic locations, etc.

6. Bibliography

1. RAK, R. a kol: *Krádeže vozidel – Odhalování, vyšetřování a prevence*, Akademické nakladatelství CERN s.r.o., Brno, 2001, ISBN 80-7204-218-1.
2. MORAVČÍK, L.: *Originality check of vehicle as a new trend in reducing of vehicle thefts*, In: New trends in national security: Proceedings of the 7th international conference: 7th March 2012, Brno, Czech Republic.
3. MORAVČÍK, L.: *eCALL – projekt pre bezpečnejšie vozidlá (eCALL – project for safety vehicles)*, In: *Sprievodca svetom dopravcu*, No 4/2012, ISSN 1338-1881.

⁷ Anti-lock Braking System.

⁸ Electronic Stability Programme.

⁹ Technical Inspection Station.

4. Council Decision 2004/919/EC of 22 December 2004 on tackling vehicle crime with cross-border implications.
5. Act of the Slovak republic no. 725/2004 Coll. on conditions of vehicle operation in road traffic, as amended.
6. Council Directive 1999/37/EC of 29 April 1999 on the registration documents for vehicles, as amended.
7. Oznámenie Ministerstva zahraničných vecí Slovenskej republiky č. 17/2011 Z. z. – Zmluva o európskom informačnom systéme vozidiel a vodičských preukazov (EUCARIS – European Car and Driving License Information System)
8. The European Commission Portal for eCALL: http://ec.europa.eu/information_society/activities/esafety/ecall/index_en.htm.
9. The EUCARIS (European Car and Driving License Information System) Portal: <https://www.eucaris.net>.
10. The Project HeERO Portal: <http://www.heero-pilot.eu/>.
11. The Ministry of Transport, Construction and Regional Development of the Slovak republic Portal, department BECEP: <http://www.becep.sk/index.php/>.

Paweł Drożdżel*, Henryk Komsta**, Iwona Rybicka***

**Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny;
20-618 Lublin; ul. Nadbystrzycka 36.
Tel: + 48 81 538-42-58, Fax: + 48 538-42-58,
E-mail: p.drozdzziel@pollub.pl*

***Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny;
20-618 Lublin; ul. Nadbystrzycka 36.
Tel: + 48 81 538-41-48, Fax: + 48 538-42-33,
E-mail: h.komsta@pollub.pl*

****Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny;
20-618 Lublin; ul. Nadbystrzycka 36.
E-mail: ik.rybicka@gmail.com*

Analiza uszkodzeń układów bezpieczeństwa w pojazdach komunikacji zbiorowej na przykładzie trolejbusów Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie

[Analysis of safety systems damage in public transport vehicles on the example of trolleybuses the Municipal Transport Company in Lublin]

Streszczenie

W artykule zaprezentowano analizę statystyczną związaną z naprawami układów bezpieczeństwa pojazdów komunikacji miejskiej. Zaliczamy do nich układy: kierowniczy, hamulcowy i zawieszenia. Badaną grupą pojazdów stanowiły trolejbusy użytkowane przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Lublinie. Informacje o naprawach dotyczyły okresu od grudnia 2009 r. do marca 2012 r.

Słowa kluczowe: trolejbusy, bezpieczeństwo ruchu drogowego, komunikacja miejska

Abstract

The article presents the statistical analyzes associated with the repair of selected vehicle safety systems of public transport vehicles. These include steering systems,

brakes and suspension. The test group of vehicles were operated by trolleybuses from the Municipal Transport Company in Lublin. Information related to a period from December 2009 to March 2012.

Keywords: trolley buses, road traffic safety, public transport

Wstęp

Bezpieczeństwo ruchu drogowego można kształtować oddziałując na grupy czynników tworzących ruch drogowy i wpływających na powstawanie zdarzeń drogowych, tj. na pojazd, użytkownika drogi i środowisko drogi. Dzięki znacznemu postępowi technicznemu współczesne samochody są coraz bardziej niezawodne, charakteryzują się coraz lepszymi cechami a ich użytkownicy, co jest istotne coraz bardziej dbają o ich stan. Ma to zapewne bezpośredni wpływ na stosunkowo korzystne statystyki, dotyczące wad pojazdu jako przyczyn zdarzeń drogowych [1].

Przyjęto rozróżniać dwa podstawowe rodzaje bezpieczeństwa samochodu:

- bezpieczeństwo czynne,
- bezpieczeństwo bierne.

Bezpieczeństwo czynne to wszystkie elementy wyposażenia i konstrukcji pojazdu, które zapobiegają ewentualnej stłuczce lub wypadkowi. Najważniejsze elementy systemu bezpieczeństwa czynnego to: kierowca (jego doświadczenie, świadomość, refleks, trzeźwość, wyobraźnia, umiejętności – najczęściej to właśnie od jego poczynań zależy, czy w ogóle dojdzie do niebezpiecznego zdarzenia drogowego), konstrukcja nadwozia i podwozia pojazdu (odpowiednio duże szyby i lusterka zapewniające dobrą widoczność, sprawne i efektywne wycieraczki oraz oświetlenie, aerodynamika zapewniająca odpowiedni docisk oraz zawieszenie, układ kierowniczy i ogumienie zapewniające precyzyjną kierowność pojazdu, ergonomia wnętrza pojazdu umożliwiającą nieabsorbującą obsługę), wszelkiego rodzaju elektroniczne systemy wspomagające kierowcę w sytuacjach kryzysowych (ABS, BAS, ESP, itd.) oraz sprawność i niezawodność pojazdu warunkujące prawidłowe funkcjonowanie wszystkich elementów składowych samochodu [2].

Niniejszy artykuł prezentuje analizę uszkodzeń układów bezpieczeństwa taboru trolejbusowego Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie. Pierwsza część zawiera liczebność i rodzaj awarii, które wystąpiły w badanej grupie pojazdów w układach: hamulcowym, kierowniczym i zawieszeniu. W drugiej części ocenie poddano układ hamulcowy, kierowniczy i zawieszenia i wykazano jaką liczbą usterek przypada na kolejne miesiące użytkowania wyżej wspomnianej grupy badawczej pojazdów.

2. Rodzaje uszkodzeń układów bezpieczeństwa

Szczegółowe wymagania określone w przepisach [3] dotyczą m.in.: układu hamulcowego, ogumienia, foteli i pasów bezpieczeństwa. Rodzaje uszkodzeń układów bezpieczeństwa zostały wybrane z grup awarii, które wystąpiły w okresie od grudnia 2009 roku do marca 2012 roku w pojazdach komunikacji miejskiej. Układy te podzielono na trzy grupy:

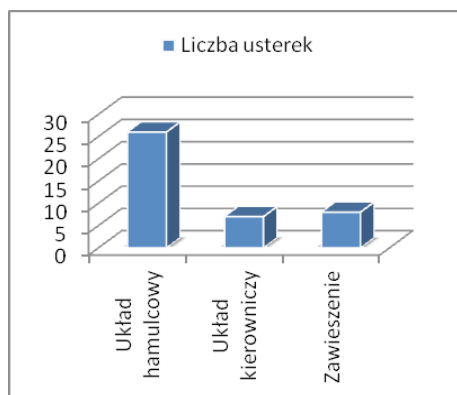
1. Układ hamulcowy, który składa się z:
 - bębny hamulcowe;
 - klocki hamulcowe;
 - szczęki hamulcowe;
 - tarcze hamulcowe,
 - okładziny szczęk hamulcowych,
 - główny zawór hamulcowy;
 - siłownik hamulca mostu;
 - siódło hamulca;
 - wałek rozpieracza, zawór hamulca ręcznego;
 - system ABS.
2. Układ kierowniczy, który dzieli się na:
 - kolumna kierownicza;
 - pompa wspomagania układu kierowniczego;
 - wspomaganie układu kierowniczego;
 - drążek podłużny układu kierowniczego;
 - końcówka drążka układu kierowniczego;
3. Zawieszenie w skład którego wchodzi:
 - amortyzatory;
 - sworzeń amortyzatora mostu;
 - gumy amortyzatora mostu;
 - tuleja sworznia;
 - resory;
 - wieszak stabilizatora;
 - drążek stabilizatora [4].

3. Analiza liczby uszkodzeń układów bezpieczeństwa

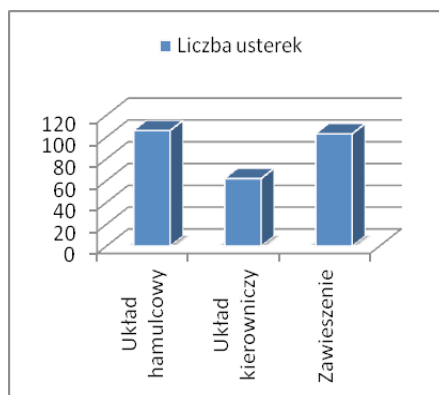
Analizie poddano liczbę uszkodzeń układów bezpieczeństwa na wybranych markach trolejbusów MPK Lublin od grudnia 2009 roku do pierwszego kwartału 2012 roku. Badaną grupę pojazdów można podzielić na dwie grupy tj. trolejbusów wyprodukowanych w latach 1984-1999 oraz trolejbusów wyprodukowanych po 2005 roku. Pierwszą grupę pojazdów stanowią: Jelcz PR 110 – 25 sztuk i Jelcz 120MT – 5 sztuk. Druga grupa to: Sam M120M – 3 sztuki i Solaris Trollino – 10 sztuk [4].

Na rysunkach od 1 do 4 przedstawiono wykresy obrazujące ilość awarii przypadającą na poszczególne układy bezpieczeństwa dla danego modelu trolejbusu.

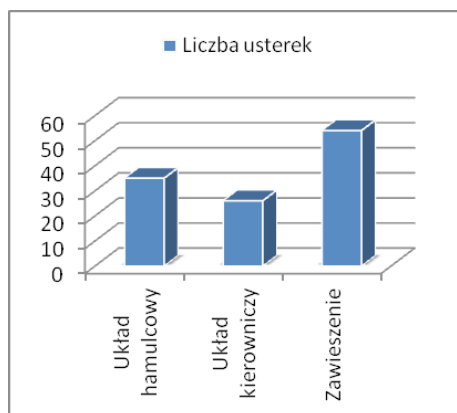
a)



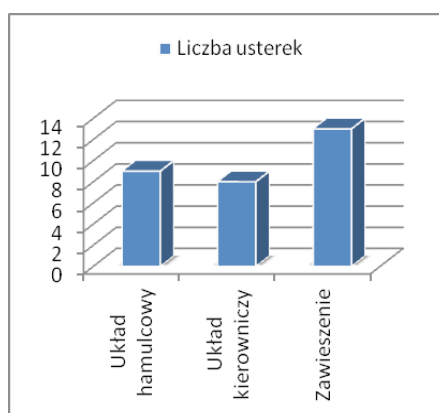
b)



c)



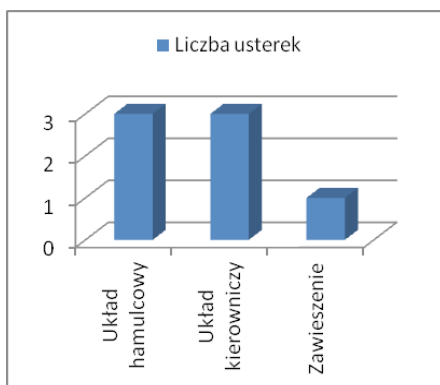
d)



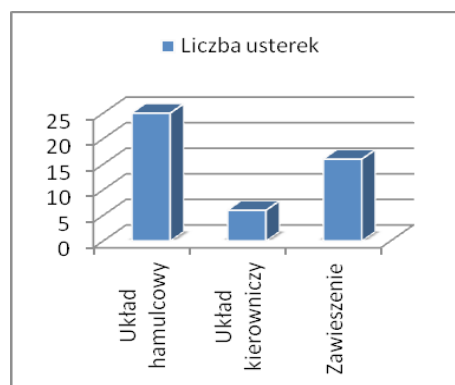
Rys. 1. Zestawienie uszkodzeń układów bezpieczeństwa trolejbusu marki Jelcz PR 110: a) grudzień 2009 roku, b) 2010 rok, c) 2011 rok, d) I kwartał 2012 roku [4]

Jak wynika z rys. 1a najwięcej awarii w miesiącu grudniu 2009 roku przypada na układ hamulcowy, pozostałe układy wykazały znacznie mniejszą awaryjność. Od 2010 roku do pierwszego kwartału 2012 roku (rys. 1b, 1c, 1d) gdzie ilość usterek w poszczególnych układach uległa spadkowi, co wiąże się z systematycznymi naprawami jak również z wycofywaniem najbardziej już wyeksploatowanych trolejbusów.

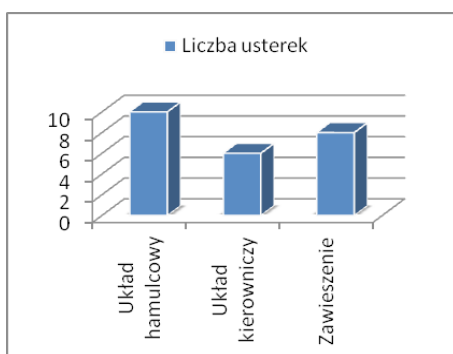
a)



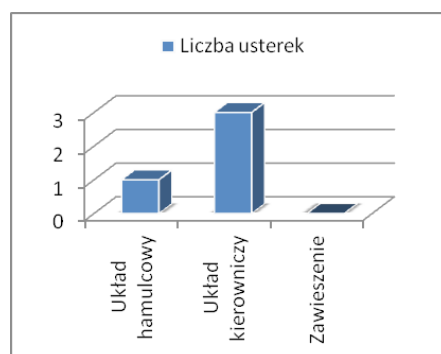
b)



c)



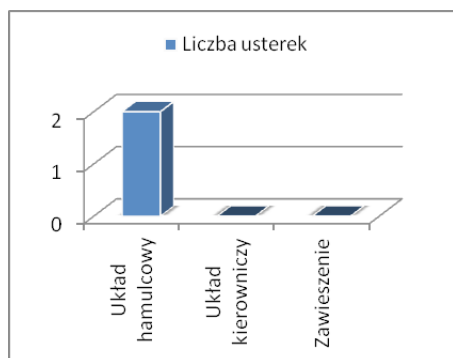
d)



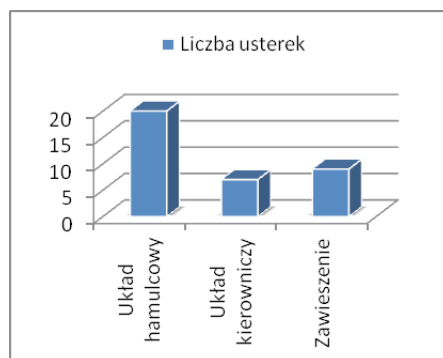
Rys. 2. Zestawienie uszkodzeń układów bezpieczeństwa trolejbusu marki Jelcz 120MT: a) grudzień 2009 roku, b) 2010 rok, c) 2011 rok, d) I kwartał 2012 roku [4]

W grudniu 2009 roku awaryjność wszystkich układów (rys. 2a) jest niska. W przypadku analizowania danych z 2010 roku (rys. 2b) w układzie hamulcowym wystąpiło 25 usterek, w układzie kierowniczym tylko 6 a w zawieszeniu 16. W 2011 roku (rys. 2c) liczba awarii uległa spadkowi ale tylko w układzie hamulcowym i zawieszeniu, natomiast w układzie kierowniczym pozostała na tym samym poziomie. Pierwsze trzy miesiące 2012 roku (rys. 2d) to jedna awaria w układzie hamulcowym, 3 w układzie kierowniczym i brak usterek w zawieszeniu.

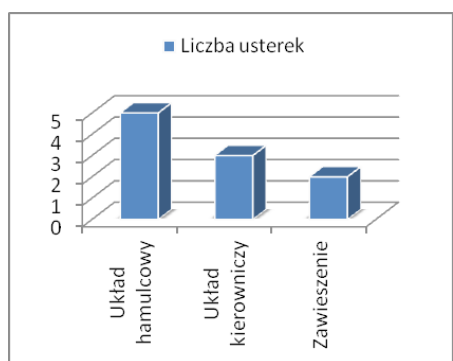
a)



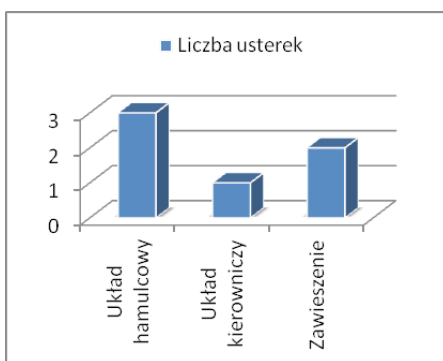
b)



c)



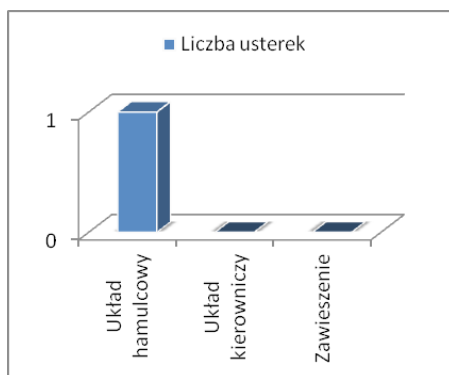
d)



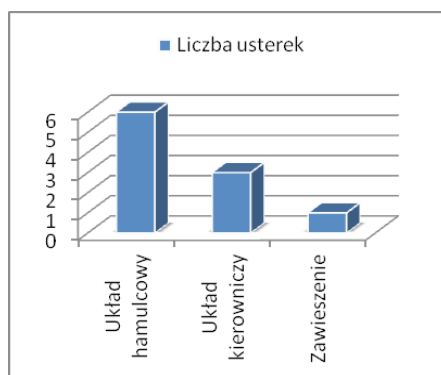
Rys. 3. Zestawienie uszkodzeń układów bezpieczeństwa trolejbusu marki SAM M120M: a) grudzień 2009 roku, b) 2010 rok, c) 2011 rok, d) I kwartał 2012 roku [4]

Na rysunkach 3b i 3c gdzie analizowano cały rok 2010 i 2011 układ hamulcowy wykazał największą ilość awarii. Jednak z upływem czasu liczba usterek wyżej wymienionego układu jest mniejsza w przypadku 2011 roku (rys. 3c). Pozostałe układy posiadają małą awaryjność, co jest dobrym wynikiem, jeżeli na okres dwóch lat eksploatacji tej marki liczb usterek w układzie kierowniczym wynosi 10 a w zawieszeniu 11.

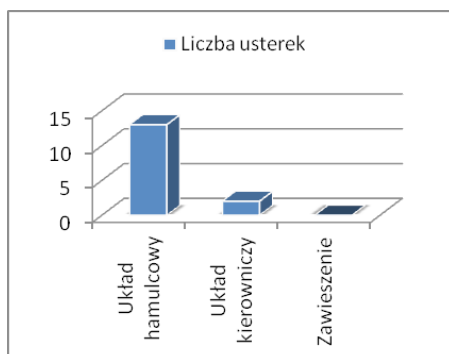
a)



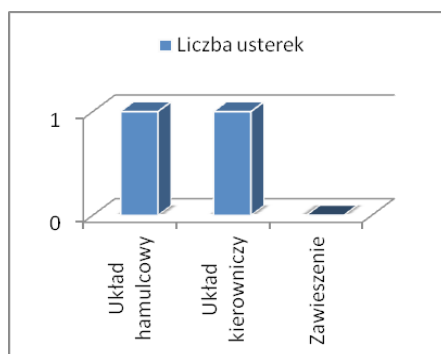
b)



c)



d)



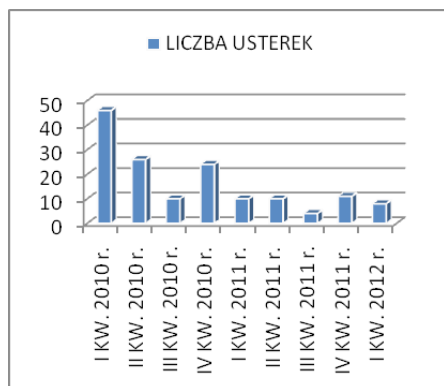
Rys. 4. Zestawienie uszkodzeń układów bezpieczeństwa trolejbusu marki Solaris Trollino: a) grudzień 2009 roku, b) 2010 rok, c) 2011 rok, d) I kwartał 2012 roku [4]

W zestawieniu uszkodzeń układów bezpieczeństwa najlepiej wypadła marka trolejbusu Solaris Trollino. Ilość usterek w każdym rozpatrywanym okresie jest niska.

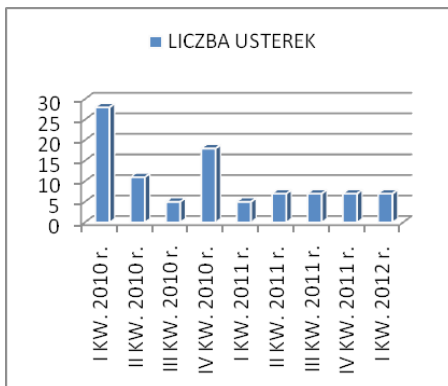
4. Analiza układów

Ocena układów bezpieczeństwa polegała na zliczeniu wszystkich uszkodzeń danego modelu pojazdu, które nastąpiły w przedziale od 2010 roku do marca 2012 roku.

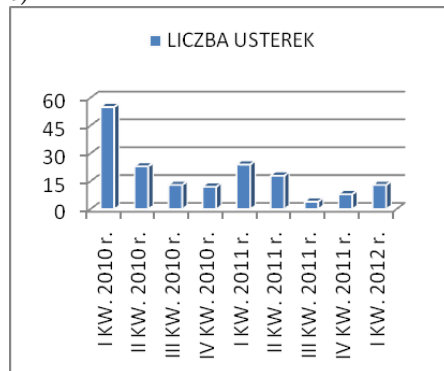
a)



b)



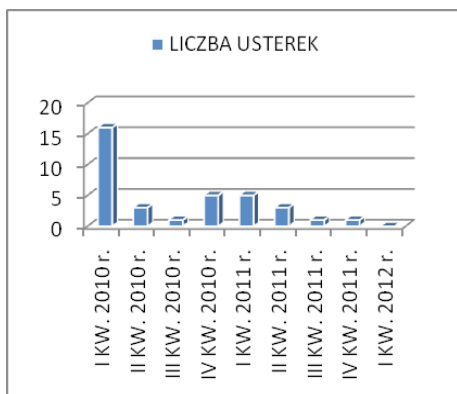
c)



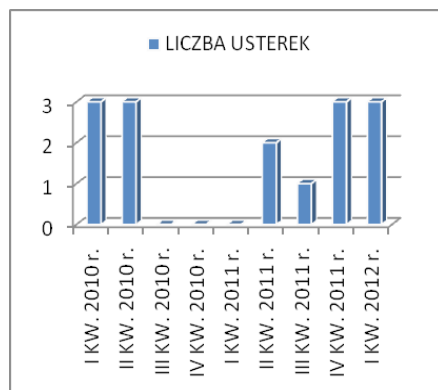
Rys. 5. Zestawienie kwartalne awarii pojazdu marki Jelcz PR 110: a) układ hamulcowy, b) układ kierowniczy, c) zwieszenie [4]

Na rysunku 5 w I kwartale 2010 roku i na przełomie IV kwartału i I kwartału we wszystkich układach bezpieczeństwa ilość usterek jest największa, co powiążane jest, że w okresie zimowym warunki atmosferyczne wpływają na liczbę napraw. Najkorzystniej wypadły III kwartały w każdym układzie, jest to pora wakacyjna gdzie na ulice miast wyjeżdża mniej trolejbusów.

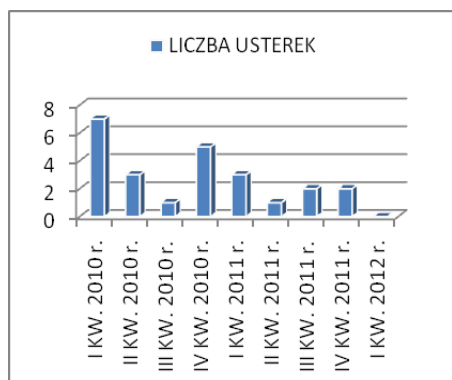
a)



b)



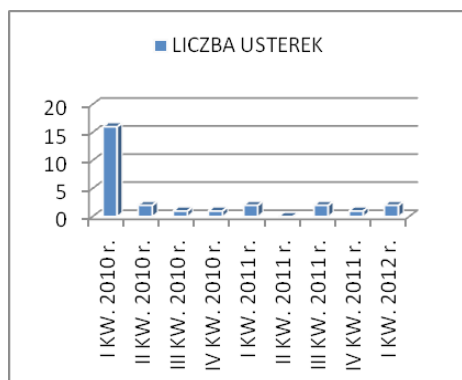
c)



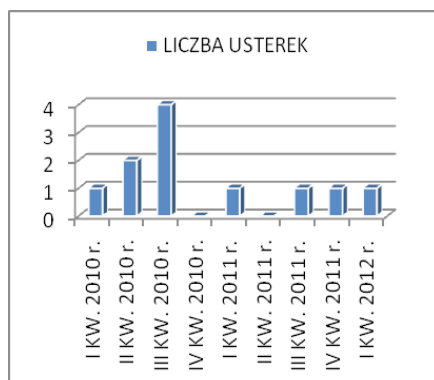
Rys. 6. Zestawienie kwartalne awarii pojazdu marki Jelcz 120MT: a) układ hamulcowy, b) układ kierowniczy, c) zawieszenie [4]

Analiza zestawień układów bezpieczeństwa (rys. 6) w Jelczu 120MT pozwala zaobserwować przebieg awaryjności tej marki trolejbusu. W układzie hamulcowym (rys. 6b) tylko ilość usterek w I kwartale odbiega od pozostałych, gdzie następne badane okresy mają tendencję spadkową. W przypadku zawieszenia (rys. 6c) awarie występują z jednakową intensywnością z delikatnymi spadkami w okresie letnim. Liczba usterek układu kierowniczego (rys. 6b) w czasie badanego okresu jest niska od 3 do 1 awarii natomiast od III kwartału 2010 roku do I kwartału trolejbus wykazał się bezawaryjnością.

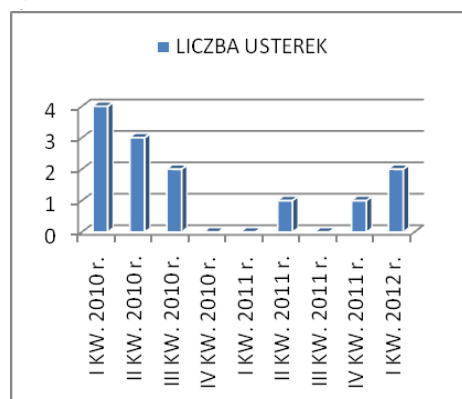
a)



b)

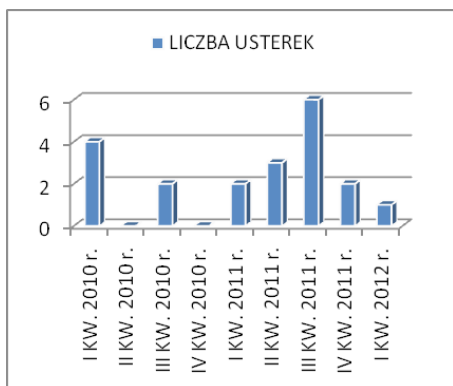


c)

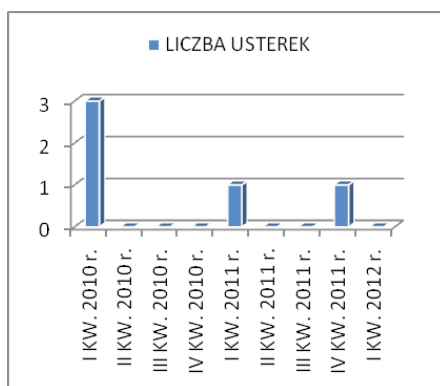


Rys. 7. Zestawienie kwartalne awarii pojazdu marki SAM M120M: a) układ hamulcowy, b) układ kierowniczy, c) zawieszenie [4]

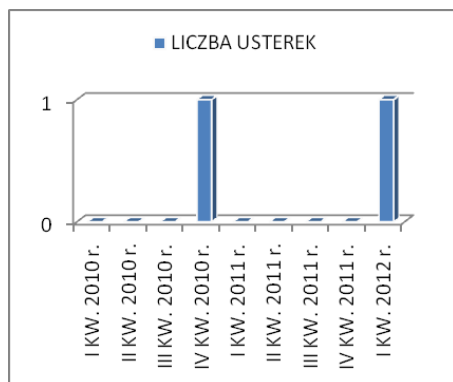
a)



b)



c)



Rys. 8. Zestawienie kwartalne awarii pojazdu marki Solaris Trollino: a) układ hamulcowy, b) układ kierowniczy, c) zawieszenie [4]

Najmłodszy z badanej grupy pojazdów Solaris Trollino wykazał się najmniejszą liczbą usterek. W układzie hamulcowym (rys. 8a) awarie występują sporadycznie. Natomiast w układzie kierowniczym (rys. 8b) i zawieszeniu (rys. 8c) w większości kwartałów awaria nie występuje. Pod względem awaryjności tuż za Solarisem Trollino plasuje się SAM M120M, gdzie ilość usterek w układach bezpieczeństwa (rys. 7) jest tak samo niska.

Wnioski

Bezpieczeństwo to zespół czynników wpływających do zmniejszenia ryzyka kolizji, jak i wypadków drogowych. Zaliczyć do nich możemy następujące cechy

pojazdu jak: konstrukcja pojazdu, układ hamulcowy wraz z układami wspomagającymi, układ kierowniczy i zawieszenie. Na bezpieczeństwo wpływa również stan techniczny wyżej wymienionych elementów.

W artykule przedstawiono analizę uszkodzeń układów bezpieczeństwa w transporcie pasażerów komunikacji miejskiej. W analizie uwzględniono układ hamulcowy, kierowniczy i zawieszenie taboru pojazdów użytkowanych przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Lublinie. Najwięcej awarii w układzie hamulcowym jak również w zestawieniu uszkodzeń zawieszenia w 2011 roku i w pierwszym kwartale 2012 roku przypada na najstarszą markę trolejbusu badanej grupy jelcza PR 110. W pozostałych markach pojazdów usterki występują znacznie rzadziej. Analiza wyników zestawień kwartalnych obrazuje, że w przypadku pierwszej grupy awarie występują przez cały rozpatrywany okres, warto jednak zaznaczyć iż z biegiem czasu ilość usterek znacznie się zmniejszyła. Natomiast w drugiej badanej grupie trolejbusów możemy zobaczyć kwartały w których jest mała ilość awarii oraz gdzie usterka nie nastąpiła.

6. Bibliografia

1. Wicher J.: *Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*. Warszawa, WKiŁ 2002.
2. <http://www.autocentrum.pl/motoslownik/bezpieczenstwo-czynne/>.
3. Rozporządzenie Ministra Transportu i gospodarki Morskiej z 1.04.99 w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz ich niezbędnego wyposażenia (Dz. U nr 44, poz. 432).
4. Materiały wewnętrzne Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie.

Jan Wrona*, Rafał Wrona**

**Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie*

***Politechnika Lubelska*

Straty mechaniczne tłokowych silników spalinowych

Streszczenie

Opracowanie jest kolejnym etapem badań nad poprawą wskaźników ekonomicznych silników spalinowych. Problem dotyczy strat mechanicznych silnika spalinowego jako jednego z głównych składników sprawności ogólnej maszyn cieplnych. Poddano analizie ogólny bilans strat mechanicznych oraz wpływ składników decydujących o poziomie strat mechanicznych. Przyjęto uogólniony model bilansujący straty mechaniczne, który będzie poddany analizie teoretycznej i zostanie zweryfikowany eksperymentalnie.

Abstract

The article constitutes the next stage of the research aimed at improving the economic indicators for combustion piston engines. The problem discussed here refers to mechanical losses in a combustion engine being one of the major elements that contribute to the overall engine efficiency.

The author analyzed the general balance of mechanical losses and evaluated the effects of the factors determining the loss level. In the analysis a generalized mechanical loss balance model was adopted. This model will become subject to a theoretical analysis and further on will be verified experimentally.

Wstęp

Podstawowym uzasadnieniem podjętych badań jest kwestia istnienia sprawności mechanicznej silników spalinowych jako składnika sprawności ogólnej oraz problem jej zmian w zależności od cech konstrukcyjnych i eksploatacyjnych parametrów silników spalinowych. Powszechnie szacuje się, że straty mechaniczne absorbują od kilku procent w warunkach znamionowych do kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu procent w warunkach rzeczywistych energii dostarczanej w postaci paliwa do silników spalinowych. Jeśli zatem chcemy poprawić ekonomię pracy silników spalinowych, szczególnie w najczęściej użytkowanych warunkach pracy silników samochodowych, to zasadne jest podjęcie działań w kierunku zmniejszenia ich strat mechanicznych.

Podjęmowane dotychczas liczne próby zmian i modyfikacji konstrukcji silników spalinowych inspirowane były potrzebą poprawy efektywności pracy silników spalinowych. Jak wykazało doświadczenie działania konstruktorów zmierzające do lepszego wykorzystania energii cieplnej zawartej w paliwie okazały się mało skuteczne. Podobnie podejmowany problem poprawy bilansu cieplnego poprzez hermetyzację komór spalania w celu większego wykorzystania energii cieplej procesu roboczego nie przyniosły oczekiwanych rezultatów. Wynika to między innymi z nieustalonych warunków pracy tłokowych silników spalinowych, które w sposób istotny wpływają na poziom strat mechanicznych. Rodzi się zatem pytanie, czy straty mechaniczne silników spalinowych można kontrolować i minimalizować w celu poprawy sprawności ogólnej silników spalinowych, zarówno poprzez właściwy dobór par ciernych oraz warunków ich pracy. Odpowiedź na tak sformułowane pytanie może być uzyskana jeśli poznamy dokładnie poziom strat mechanicznych, ich skład ilościowy i jakościowy. Hipotezą roboczą działań autorskich jest więc analiza ogólna i strukturalna poszczególnych udziałów strat mechanicznych, które decydują o poziomie całkowitych strat mechanicznych tłokowych silników spalinowych. Pogłębiona i szeroka analiza strat mechanicznych w rzeczywistych warunkach pracy silników spalinowych, zmiennych obciążeniach i stanów cieplnych oraz zróżnicowanych zapotrzebowań na moc silnika, może dać przesłanki konstrukcyjne i eksploatacyjne zmierzające do obniżenia strat mechanicznych i poprawy sprawności ogólnej silników spalinowych, a to prowadzi do zwiększenia ich wskaźników ekonomicznych. Podjęty przez autorów obszar badań teoretycznych i eksperymentalnych nad w/w zagadnieniem będzie publikowany po kolejnych etapach badań teoretycznych i eksperymentalnych.

Straty mechaniczne silników spalinowych i sposoby ich definiowania

W literaturze technicznej straty mechaniczne ujęte są w postaci sprawności mechanicznej, którą definiuje się jako:

$$h_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{p_e}{p_i},$$

gdzie:

N_e – moc efektywna silnika,

N_i – moc indykowana,

p_e, p_i – średnie ciśnienie efektywne i średnie ciśnienie indykowane silnika spalinowego.

Można też wymienione wyżej zależności przedstawić jako

$$h_m = \frac{N_e}{N_e + N_{str}}$$

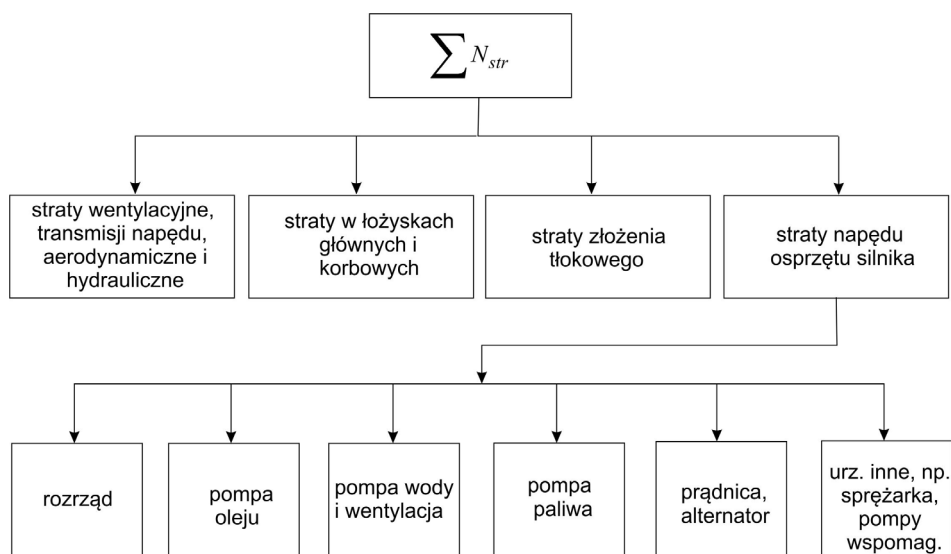
gdzie:

N_{str} – jest sumą poszczególnych składników strat mechanicznych.

Sumę strat mechanicznych można też zapisać w postaci:

$$SN_{str} = S DN_{str}.$$

Bilans strat mechanicznych silnika spalinowego ilustruje rys. 1.



Rys. 1. Bilans strat silnika spalinowego [2].

Głównymi składnikami strat mechanicznych silników spalinowych są;

- straty związane z wymianą ładunku (czynnika roboczego),
- straty tarcia w węzłach kinematycznych,
- straty związane z napędem mechanizmów pomocniczych i dodatkowych,
- straty wentylacyjne i aerodynamiczne.

Miarą strat mechanicznych może być:

- praca tracona na pokonanie oporów mechanicznych (L_m),
- moc tracona na pokonanie oporów mechanicznych (N_m),
- średnie ciśnienie strat mechanicznych (p_t),
- moment strat mechanicznych (oporów mechanicznych) (M_m),

- sprawność mechaniczna (h_m).

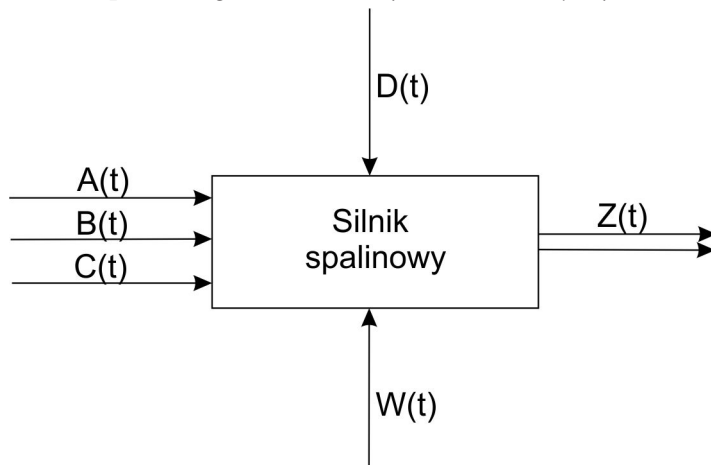
Decydujący wpływ na poziom strat mechanicznych ma mechanizm korbowo-tłokowy absorbujący około 60-70% strat tarcia [1], dlatego zmiany konstrukcyjne elementów silnika (zmniejszenie liczby pierścieni, kształt tłoka, dobór łożysk wału korbowego) oraz zmiany sposobu napędu osprzętu silnikowego lub eliminacja nadmiernej ilości części współpracujących ciernie prowadzą do obniżenia strat mechanicznych [5]. Nadal jednak istnieją możliwości natury konstrukcyjnej czy eksploatacyjnej prowadzące do poprawy bilansu strat mechanicznych tj. do ich zmniejszenia, a tym samym prowadzi to do zwiększenia sprawności ogólnej tłokowych silników spalinowych.

Aktualnie widoczne są działania firm specjalizujących się w produkcji elementów silnikowych lub całych zespołów i mechanizmów takich jak: Ricardo, Mahle, K. Schmidt czy Alcan, których produkty charakteryzują się zmniejszonym poziomem oporów tarcia oraz zwiększonymi wskaźnikami ekonomicznymi silników spalinowych. Największy postęp technologiczny i konstrukcyjny w rozwoju elementów silnikowych widoczny jest w produkcji tłoków i mechanizmów korbowych, które absorbują najwięcej strat mechanicznych w ogólnym ich bilansie. Autorzy referatu podjęli działania teoretyczne i eksperymentalne, pozwalające na analityczną ocenę poziomu strat mechanicznych oraz przeprowadzają badania eksperymentalne w celu weryfikacji ilościowej poszczególnych składników strat mechanicznych, a także poddają ocenie wpływ wybranych parametrów eksploatacyjnych na poziom strat mechanicznych. Dotyczy to między innymi wpływu prędkości obrotowej wału korbowego silnika, stopnia doładowania czy stanu cieplnego silnika i oleju smarującego na straty mechaniczne. W literaturze naukowej publikowane są metody obliczeniowe poszczególnych składników strat mechanicznych lub też oceniany jest sumaryczny poziom strat mechanicznych w zależności od parametrów konstrukcyjnych silników lub wybranych parametrów eksploatacyjnych pracy silnika spalinowego. Są także przykłady budowy stanowisk do badań strat mechanicznych w poszczególnych węzłach kinematycznych lub na stanowiskach laboratoryjnych, gdzie badany jest częściowy lub całkowity poziom strat mechanicznych metodami elektrycznymi lub metodą obcego napędu dla różnych stanów cieplnych silnika. W niektórych ośrodkach uczelnianych badane są opory wewnętrzne silnika w niskich temperaturach.

Uogólniony model strat mechanicznych silnika spalinowego

Analizując możliwość zastosowania różnych modeli, które pozwalają na teoretyczny opis zachowania się strat mechanicznych silnika w różnych warunkach jego pracy podjęto badania, pozwalające na uzyskanie informacji o aktualnym poziomie strat mechanicznych silnika spalinowego. W tym celu wykorzystano model mate-

matyczny, który pozwala na ocenę ilościową i jakościową poziomu strat mechanicznych. Badania te pozwolą także na ocenę wpływu strat mechanicznych na ogólną sprawność silnika spalinowego. Zastosowany model ilustruje rysunek 2.



Rys. 2 Straty mechaniczne w ujęciu modelowym [3]

gdzie:

$A(t)$ – cechy konstrukcyjne silnika spalinowego,

$B(t)$ – kinematyczne i eksploatacyjne czynniki wpływające na straty mechaniczne,

$C(t)$ – termiczne i fizyczne parametry wpływające na straty mechaniczne,

$W(t)$ – bieżący stan techniczny silnika (jego zużycie),

$D(t)$ – czynniki zewnętrzne atmosferyczne,

$Z(t)$ – sprawność mechaniczna silnika jako chwilowy parametr sprawnościowy silnika w czasie (t).

Silnik spalinowy jest technicznym obiektem energetycznym, na który w procesie eksploatacji oddziałują różne czynniki konstrukcyjne i eksploatacyjne oraz procesy fizycznego starzenia się, a zwłaszcza procesy tribologiczne i zużyciowe [4]. Wymienione wyżej parametry zależne są od sposobu użytkowania i obsługi silnika spalinowego. Dlatego bieżący poziom oceny strat mechanicznych silnika spalinowego powinien uwzględniać w/w czynniki natury konstrukcyjnej i eksploatacyjnej silnika spalinowego. Wynika to również z doświadczeń, że o aktualnym stanie technicznym silnika decyduje nie tylko eksploatacja i stopień jego zużycia wynikający najczęściej z przebiegu pracy ale także cechy konstrukcyjne i procesy starzenia się obiektu technicznego jakim jest silnik spalinowy. Straty mechaniczne silnika mogą też być znaczącym parametrem, który decyduje o wpływie silni-

ka na środowisko naturalne lub też może wskazywać zasadność lub nie dalszego użytkowania silnika spalinowego. Złożoność wpływu różnych czynników na poziom strat mechanicznych uzasadnia realizację prac nad tym zagadnieniem, które mogą prowadzić do poprawy ogólnej sprawności silnika spalinowego. Niniejsze opracowanie stanowi kolejny etap prac nad poprawą ekonomicznych wskaźników pracy silnika spalinowego.

Literatura

1. Niewiarowski K.: *Tłokowe silniki spalinowe*. WKiŁ 1983 r tom I.
2. Wrona J.: *Analityczny model strat mechanicznych silnika spalinowego*, Mat. Konf. Kraków 1992r.
3. Niziński St., Żurek J.: *Logistyka ogólna*. WKiŁ 2011 r.
4. Włodarski J. K.: *Tłokowe silniki spalinowe procesy trybologiczne*. WKiŁ 1982.
5. Jędrzejowski J.: *Mechanika układów korbowych silników samochodowych*. WKi Ł 1986r.