

IMPLEMENTATION OF MODULAR TRUCKS INTO ROAD TRANSPORT

KONCEPCJA WDROŻENIA ZESPOŁÓW MODUŁOWYCH W TRANSPORCIE DROGOWYM

Łukasz Muślewski¹⁾, Bogdan Landowski¹⁾, Maciej Woropay²⁾,
Klaudiusz Migawa¹⁾

¹⁾University of Science and Technology, Bydgoszcz, Poland

²⁾University of Bydgoszcz, Poland

Abstract: *In this article, an analysis of modular truck application in the road transport in Poland has been made. Terminology has been unified. Classification and law regulations applicable in different European countries and all over the world have been discussed. An analysis of existing solutions has been made and an optimal variant for road freight transport, including the condition and parameters of the road infrastructure in Poland, has been proposed. The study presents initial conceptual assumptions of this project as well as advisability of using these modular trucks, on the basis of a selected research object – the analyzed transport company. On this example, an analysis of costs and potential profits to be generated from transport services performed using the proposed modular trucks and with reference to costs borne by the investigated company with the use of currently operated transport means, has been made.*

Keywords: *road transport, modular trucks, efficiency, costs of operation*

Streszczenie: *W niniejszym artykule zrealizowano analizę i ocenę zastosowania systemów modułowych w transporcie drogowym w Polsce. Dokonano ujednoczenia terminologii, klasyfikacji oraz uwarunkowań prawnych obowiązujących w innych krajach europejskich i na świecie. W pracy dokonano analizy funkcjonujących rozwiązań i zaproponowano wybór optymalnego wariantu dla samochodowego transportu towarowego w Polsce, z uwzględnieniem stanu i parametrów krajowej infrastruktury drogowej. W opracowaniu opisano wstępne założenia koncepcyjne w tym obszarze, jak również dokonano analizy celowości zastosowania niniejszych zestawów modułowych na przykładzie wybranego obiektu badań - analizowanego przedsiębiorstwa transportowego, stanowiącego obiekt badań. Na jego przykładzie dokonano analizy kosztów i szacunkowych zysków z realizowanych procesów transportowych, z wykorzystaniem proponowanych zespołów modułowych, w odniesieniu do kosztów ponoszonych przez badane przedsiębiorstwo z zastosowaniem obecnie eksploatowanych środków transportowych.*

Słowa kluczowe: *transport drogowy, zestawy modułowe, efektywność, koszty eksploatacji*

1. Introduction

Load capacity of vehicles is a functional quality significant in transport of loads with relatively high density. It is limited by administrative regulations on the maximum authorized weight of vehicles. The major legal act which regulates parameters of vehicles authorized to run on the roads of the European Union is Directive 96/53. It imposes limitation on the total weight of vehicles to be 40 tones and length of the modular truck to be 18.75m. However, it needs to be emphasized that each country has the possibility to introduce departures from this Directive. Allowing longer and heavier vehicles to run the roads only on the territory of one's own country is possible in reference to the so called modular concept of transport and without violation of competition rules in the transport sector. The number of countries which decided to introduce departures of this kind is constantly increasing and the leaders of such implementations are Scandinavian countries. Having in mind general benefits and threats related to such solutions the authors of this study have made an analysis of possibilities and advisability of implementation of road transport modular trucks into the Polish road transport

2. Analysis of types of modular road trucks used in the world

Transport of loads by vehicles longer and heavier than the standard ones is connected with the problems of inter-branch competition in transport. Comparing the European Union road transport with the road transport of the North America, Australia or North Asia it is easy to notice its specificity [22-25]. Europe is a much more populated continent with very dense road infrastructure characterized by many restrictions related to technical road parameters [7]. However, the purpose of increasing load capacity of trucks is of key importance in terms of effective competition with railroad and water transport. Each cubic meter or tone of cargo to be placed in the truck means reduction of transport unit costs, and these costs have always been in favor of railroad and ships. During the last half century the authorized maximum weight of vehicles has increased from 10 to 30 tons, that is even by 50% [4]. This was possible due to such solutions as the so called "modular transport concept", which provides the possibility of replacing an oversize vehicle or combination vehicles with an oversize truck train built from vehicles, semi-trailers or trailers that comply with the norms. In other words, a member state of the EU allowing use of vehicles longer than those indicated in the Directive has also to give permission for use of longer road trains built from modules (vehicles, trailers or semi-trailers) which comply with the norms. Many countries have taken advantage of the possibility of using these departures which is reflected by the data from table 1 [7].

Tab.1 Maximum vehicle weights and dimensions in selected countries of the European Union [7].

| Country | Vehicle maximum total weight [t] | Height [m] | Width [m] | Length [m] | |
|-----------------|----------------------------------|---------------|-------------|---------------------|--------------|
| | | | | Articulated vehicle | Road train |
| 96/53 Directive | 40.00 | 4.00 | 2.55 | 16.50 | 18.75 |
| Belgium | 44.00 | 4.00 | 2.55 | 16.50 | 18.75 |
| Czech | 48.00 | 4.00 | 2.50 | 16.50 | 18.75 |
| Denmark | 48.00 | 4.00 | 2.55 | 16.50 | 18.75 |
| Finland | 60.00 | 4.20 | 2.60 | 16.50 | 25.25 |
| France | 40.00 | Not specified | 2.55 | 16.50 | 18.75 |
| Holland | 50.00 | 4.00 | 2.55 | 16.50 | 18.75 |
| Ireland | 44.00 | 4.00 | 2.55 | 16.50 | 18.75 |
| Luxemburg | 44.00 | 4.00 | 2.55 | 16.50 | 18.75 |
| Germany | 40.00 | 4.00 | 2.60 | 16.50 | 18.75 |
| Poland | 40.00 | 4.00 | 2.60 | 16.50 | 18.75 |
| Sweden | 60.00 | Not specified | 2.55 | 25.25 | 24.00 |
| Great Britain | 44.00 | Not specified | 2.55 | 16.50 | 18.75 |
| Italy | 44.00 | 4.00 | 2.55 | 16.50 | 18.75 |

In different countries and on different discussion forums such vehicles are referred to as: Gigaliners, Megatrucks, Jumbotrucks, Monstertrucks, Longer and Heavier Vehicles (LHV), EuroCombi, Öko-Kombis, European Modular System (EMS) [3,7-9,17-21]. These truck trains are formed from standard vehicles such as:

- truck tractors (module A),
- 13.6m long two or three axle (module B),
- 7.82m long two or three axle trailers with the axle central location (module C),
- three axle semi-trailer with special structure (module D),
- three or four axle truck (module E),
- three axle trailers (module F),
- two axle with the so called 'dolly' (module G) [1].

The above listed modules are components of differently combined vehicles. There are five configurations of truck trains (figure 1) [7]:

- a) A + B + C,
- b) A + D + B,
- c) E + F,
- d) E + G + B,
- e) E + C + C.

Their graphic representation is as follows:

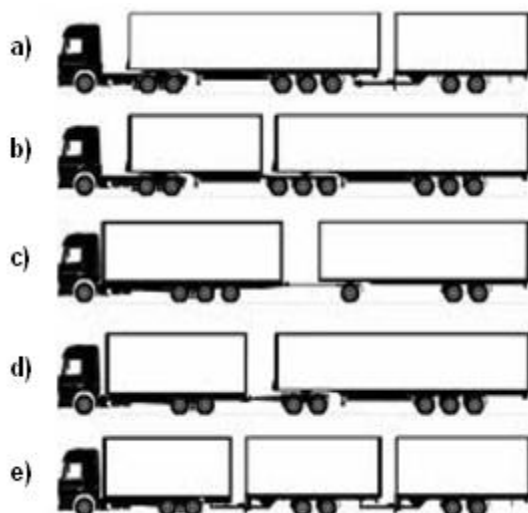


Fig.1 The most commonly used solutions of truck trains in Europe [7]

However, when it comes to the worldwide transport it needs to be stressed that the largest road trains are used in Australia (the largest and heaviest vehicles allowed to move on the roads whose weight approaches 200t.), Canada, USA and Mexico. Road trains are used for transport of all kinds of cargo including livestock, fuel, mineral ores and package cargo and their cost efficiency has largely contributed to economic development of more distant regions.

3. Infrastructural aspects of road modular trucks in Poland

According to the function, Polish roads are divided into the following categories:

- a) national roads (class A, S, GP, exceptionally G),
- b) province roads (class G, Z, exceptionally GP),
- c) district roads (class G, Z, exceptionally L),
- d) local roads (class L, D, exceptionally Z) [12].

Maximum authorized load of a single axle on the surface of a given class road are presented in table 2.

Tab. 2. Maximum authorized load of the vehicle axle on the road surface [12].

| Road class | Authorized vehicle axle load (t) |
|-------------------|---|
| A, S | 11.5 |
| GP | 11.5, 10* |
| G, Z, L, D | 10, 8* |

* Permitted during road resurface or maintenance works.

On national roads the maximum authorized axle load can differ from section to section. In Poland such a road is, e.g. DK5. Due to the dimensions and total authorized weight, EMS would move only on the main roads, that is freeways, expressways and national ways.

In connection with an increased number axles, the load they exert is similar to standard trucks. Road modular trucks with total authorized weight up to 60t, with 7 axles exert load close to 8.57t per one axle. Comparing this value with the load exerted on the axle by standard trucks the difference is small. In a DCM 40 truck with five axles, the mean load on one axle is 8t. Therefore, from the point of view of the axle load, EMS could be authorized to run on the main roads. Other elements of road infrastructure in Poland, which theoretically could be an obstacle to implementation of EMS are bridges and viaducts. Increasing the authorized maximum weight of trucks would not have a negative influence on infrastructure of these objects as in this case this is also the axle load which is the main indicator. If the weight was properly distributed on particular axles such a truck would not pose a threat to the above mentioned structures. It is worth noticing that oversize transport means whose total weight significantly exceeds 40t already move on structures like that and they cause no damage to them [6].

The biggest problem for the Polish road infrastructure to be solved after implementation of EMS into the road traffic are crossroads and roundabouts. Currently, 16.5m and 18.75m long standard trucks have problems to go through crossroads as the turn radius of seweried entries of class G, GP, Z and D roads is 10m, and for unseweried entries of class G and Z roads is 8m [12].

However, according to the rules of unseweried crossroads, 16.5m, 18.75m and 25.25m long vehicles equipped with turning axles with minimum turning radius is 12.5m and 14.5m can go through each crossroad which have drive-in isles. The only obstacle for 25.25m long vehicles are seweried crossroads without drive-in isles. On the national roads the crossroads of this type occur rarely but it is recommended to restructure them. A ‘dolly’ truck whose turning system is active is a good solution for trucks with turning axles. Thanks to this the EMS have no difficulty to go through crossroads as such a system makes the truck train drift away along the inner radius by about 5.3m whereas the semi-trailer follows smoothly the main truck (Fig.2) [5, 15].

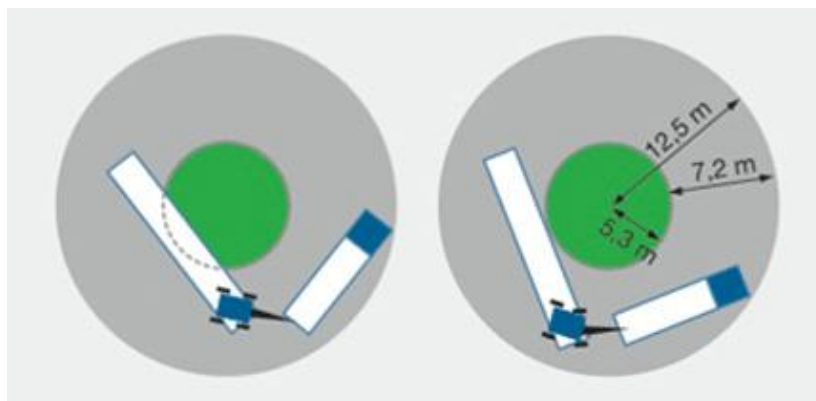


Fig.2 Distance the EMS equipped with a dolly truck covers while driving through a roundabout [15]

For the purpose of driving through roundabouts situated within the national roads whose inner isle radius is 5m, the EMS should be technically adjusted by being equipped with:

- a dolly truck with an active turning system,
- semi-trailer with one articulation point with a turning axle,
- if there are none of the above mentioned elements there should be two points of articulation.

The EMS moving on the remaining roads, that is, motorways and expressways will not have any problems with going through these objects because their central islands have long diameters and long exit radiuses [6].

Safety of road traffic

Analyzing data from the vehicles used in Holland it was found that in the years 2007-2010 there were 19 accidents with involvement of the EMS. This is a very small percent of all the accidents that were reported on the road in that period. In regard to the number of casualties there was only one road event like that. In the remaining collisions only material losses were reported. There were no accidents with participation of pedestrians or cyclists. Accident rate with participation of the EMS is very small whereas the average distance they cover is longer as compared to standard trucks [11].

After having analyzed the causes of all accidents with participation of the EMS it can be said that the collisions were caused by passenger car drivers. At the same time the legal regulations on the use of the EMS should provide safety of transport services performance. A vehicle of this type should have the following equipment:

- technologically braking systems,
- axle load measurement system,
- set of mirrors consistent with the newest European rules,
- side protection between the wheels,
- side light marking,
- rear information sign about the combination contour and length.

Additionally, having performed an analysis of the time necessary to overtake the EMS it was found that while overtaking a standard truck going at the speed of 80 km/h, a passenger vehicle moving at 100 km/h travels a distance of 565 m from the beginning to the end of the maneuver. In turn, while overtaking the EMS a vehicle going at the speed of 80 km/h it covers a distance of 597m. Thus, comparing these two cases it can be observed that the difference is not significant.

Energy efficiency of modular systems

On the basis of operational data obtained from Holland it was found that in effect of implementation of truck trains in this country CO₂ and NO_x have been reduced:

- from 63 to 56g per ton-kilometer CO₂ – it accounts for 11% of CO₂ reduction,
- from 0.4 to 0.37g per ton of NO_x – which accounts for 14% of NO_x reduction.

A test performed with the use of 11000 EMS vehicles revealed that reduction of exhaust fumes for NO_x is 4% and 6% for CO₂. It was estimated that the European Modular System can travel 41% more ton-kilometers per one liter.

Also in Germany, introduction of the EMS has had a positive influence on the environment. Reduction of CO₂ and NO_x was 33% [11].

Using this data the authors of this study performed estimation of energy efficiency for some routes in Poland. It was assumed that the EMS would be moving along A1, A2, A4 and S4 roads for which the following data was established:

- average 24 hours average traffic on these routes is 18763 vehicles per 24 hours whereas a yearly traffic – 54566,
- the share of trucks is 15%,
- the share of truck tractors is 8%,
- the average transport distance accounts for 230km of the road transport distance [10].

Thus, it was found that for almost all analyzed cases, CO₂ emitted by the EMS was lower [10] than for standard trucks. Only EMS 40t, is an exception whose fuel consumption rises for transport of heavier loads.

4. Advisability of road modular systems implementation on the example of a selected transport company

An analysis of advisability of implementation of the EMS into the national road transport was performed on the basis of a selected transport company providing transport services in a 'linear' system between selected logistic centers [2,6].

The analyzed company is located in the Wielkopolskie Province. It provides services connected with transport of shipments to 17 departments all over Poland. Currently delivery of shipments is performed by means of a truck tractor with a side open semi-trailer type which can accommodate 33 Euro pallets. The rate accepted for each transport is 2.90 PLN for one vehicle kilometers traveled. Now the cargo is delivered to 5 out of 17 divisions in the amount exceeding 33 euro pallets which causes increased demand for vehicles. The proposed changes are supposed replace vehicles which provide transport services along these five routes with EMS vehicles. Analyzing legal restrictions and all aspects connected with the infrastructure it is proposed to introduce EMS trucks in D configuration (Fig. 1), consisting of a truck with load capacity for 19 palletes and a semi-conductor for 33 palletes. These vehicles will move over the following roads:

- Leszno: DK36, E261,
- Łódź: DK36, DK25, DK12, E67, DK14,
- Gdańsk: DK36, E261, E75, E77, DK89,
- Częstochowa: DK36, E261, E67, DK74, DK45, DK43,
- Kraków: DK36, E261, E67, E40, E77.

The rate equal to 3.80pln was estimated for one vehicle kilometer traveled. In order to determine costs of transport for currently used trucks and for the proposed oversize vehicles, the number of kilometers between particular divisions was taken into consideration. The costs of transport for both types of vehicles are presented in table 3.

Implementation of modular trucks into road transport
Koncepcja wdrożenia zespołów modułowych w transporcie drogowym

Tab. 3 Cost of transport performed by standard vehicles and by the EMS.

| Division | Transport cost (standard) | Transport cost (EMS) |
|-----------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Leszno | 230.54 pln | 149.47 pln |
| Łódź | 1239.80 pln | 834.80 pln |
| Gdańsk | 2317.40 pln | 1841.47 pln |
| Częstochowa | 1332.68 pln | 988.18 pln |
| Kraków | 2190.62 pln | 1400.41 pln |

The mean value of a palette/kilometer was calculated for particular divisions (table 4). Calculations were performed using dependence:

$$K_p / L_k / L_p = P_k \quad (1)$$

where:

K_p – transport cost of a given number of palettes,

L_k – number of kilometers between departments,

L_p – number of transported palettes,

P_k – value of palette/kilometer.

Tab. 4 Mean values of palette/kilometer for particular routes.

| Division | Standar trucks | EMS |
|-----------------|-----------------------|------------|
| Leszno | 0.124 pln | 0.080 pln |
| Łódź | 0.137 pln | 0.089 pln |
| Gdańsk | 0.119 pln | 0.083 pln |
| Częstochowa | 0.114 pln | 0.075 pln |
| Kraków | 0.144 pln | 0.092 pln |

Transport cost of one palette transport between the divisions are presented in table 5.

Tab. 5 Cost of transport of one palette.

| Division | Standard trucks | EMS |
|-----------------|------------------------|------------|
| Leszno | 4.70 pln | 3.05 pln |
| Łódź | 28.18 pln | 18.97 pln |
| Gdańsk | 45.44 pln | 36.11 pln |
| Częstochowa | 25.63 pln | 19.00 pln |
| Kraków | 48.68 pln | 31.12 pln |

The analyze company transports shipments systematically for 5 days a week. Transport costs for a week, quarter, and month are presented in tables 6 and 7 and the results are presented in the graphic form in figure 3.

Tab. 6 Costs of transport by a standard system in different time periods.

| Department | Week | Month | Quarter |
|-------------------|--------------|---------------|----------------|
| Leszno | 1152.70 pln | 4610.80 pln | 13832.40 pln |
| Łódź | 6199 pln | 24796 pln | 73488 pln |
| Gdańsk | 11587 pln | 46348 pln | 139044 pln |
| Częstochowa | 6663.40 pln | 26653.60 pln | 79960.80 pln |
| Kraków | 10953.10 pln | 43812.40 pln | 131437.20 pln |
| Total | 36555.20 pln | 146220.80 pln | 438662.40 pln |

Tab. 7 Transport costs by EMS in different time periods.

| Division | Week | Month | Quarter |
|----------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Leszno | 747.35 pln | 2989.40 pln | 8968.20 pln |
| Łódź | 4174 pln | 16696 pln | 50088 pln |
| Gdańsk | 9207.35 pln | 36829.40 pln | 110488.20 pln |
| Częstochowa | 4940.90 pln | 19763.60 pln | 59290.80 pln |
| Kraków | 7002.05 pln | 28008.20 pln | 84024.60 pln |
| Total | 26071.65 pln | 104286.60 pln | 312859.80 pln |
| Savings | 10483.55 pln | 41934.20 pln | 125802.60 pln |

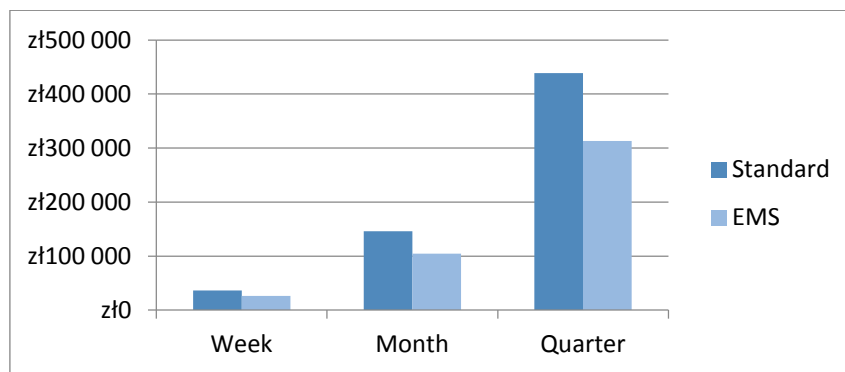


Fig. 3 Diagram of transport costs generated by the EMS and standard trucks in different time periods

Analyzing the above results it can be noticed that implementation of modular systems into the considered company brings savings in the amounts:

- 10483.55 PLN for weekly transport of shipments during one week,
- 41934.20 PLN for transport of shipments during one month,
- 125802.60 PLN for transport of shipments during one month.

The proposed changes reduce transport costs by 28.7%.

4. Conclusions

Constantly increasing demand for road transport services inseparably connected with the society economic growth has an adverse effect on the environment including: noise production, exhaust fumes emission, street congestion and road accidents. Occurrence of these negative phenomena need to be minimized. The concept of modular truck transport is a solution which allows to prevent or reduce these phenomena. Using a smaller number of vehicles to provide transport services reduces the possibility of accident related threats, road congestion, fuel consumption as well as emission of exhaust gases into the atmosphere.

The analysis of the Polish road infrastructure carried out in this study has revealed that the modular systems could be authorized to run on the motorways, expressways and some selected main roads.

It is recommended to change requirements concerning design and construction of the road infrastructure to adjust it to increased dimensions of the vehicles.

On the example of the company analyzed in this study it can undoubtedly be stated that replacing standard trucks with modular trucks of EMS type brings measurable profits such as: reduction of the number of vehicles in service thereby relieving the traffic and decreasing the number of drivers, without deteriorating the road safety, and reduction of the negative impact on the environment.

5. References

- [1] Akerman I., Jonsson R., European Modular System for road freight transport - experiences and possibilities, Rapport 2007:2E, Sztokholm 2007.
- [2] Błajda Ł., Analiza i ocena celowości wdrożenia drogowych zespołów modułowych w Polsce.
- [3] Lińčák N., Olejnik K., Woźniak G., Propozycje i ocena możliwości zwiększenia rzeczywistej pracy przewozowej środków transportu drogowego, Motor Transport Institute, Warszawa 2012.
- [4] Lumsden K., Truck Masses and Dimensions - Impact on Transport Efficiency, Department of Logistics and Transportation, Chalmers University of Tehchnology, Gothenburg 2004.
- [5] Milewski D., Wiśnicki B., Wpływ kosztów eksploatacji wielkogabarytowych zestawów drogowych na rynek transportowy w Polsce, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Problemy Transportu i Logistyki, 26/2014.
- [6] Muślewski Ł., Lewalski M., Woropay M., Analysis and evaluation of application of car modular systems in polish road transport, Journal of Kones, 22(4)/2015.
- [7] Poliński J., Konkurencja pociągów drogowych dla transportu kolejowego w Europie, Przegląd Komunikacyjny, 5/2014.
- [8] Raczyński J: Wizja megaciężarówek - kolejowe przewozy towarowe wobec kolejnych zagrożeń, Rynek Kolejowy, 10/2007.
- [9] Wiśnicki B., Galor W., Uwarunkowania przewozu ładunków pojazdami niestandardowymi w Europie, Logistyka, 2/2010.
- [10] Załoga E., Milewski D., Kwarciański T., Wpływ planowanej przez Komisję Europejską zmiany dyrektywy rady 96/53/we z dnia 25 lipca 1996 r. ustanawiająca dla niektórych pojazdów drogowych poruszających się na terytorium wspólnoty maksymalne dopuszczalne wymiary w ruchu krajowym i międzynarodowym oraz maksymalne dopuszczalne obciążenia w ruchu międzynarodowym na sektor transportu w Polsce. Ekspertyza, Szczecin 2012.
- [11] Longer and Heavier Vehicles in the Netherlands. Facts, figures and experiences in the period 1995-2010, Ministry of Transport, 2010.
- [12] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, (Dziennik Ustaw. z 1999 r., Nr 43, poz. 430).
- [13] <http://www.whitlockbullbars.com.au>
- [14] <http://www.smh.com.au>
- [15] <http://www.krone-trailer.com>
- [16] <http://www.wikiwand.com>
- [17] <http://upload.wikimedia.org>
- [18] <http://www.verkehrsrundschau.de>

- [19] <http://h-a.d-cd.net>
- [20] <http://www.marcotran.com>
- [21] <http://www3.picturepush.com>
- [22] <http://www.nhvr.gov.au>
- [23] <http://www.smart-trucking.com>
- [24] <http://www.truckandtrailer.ca>
- [25] <http://www.mexicotrucker.com>



Lukasz Muślewski Ph.D. Eng., associate professor, Manager of the Department of Maintenance and Transport Operation at the Faculty of Mechanical Engineering of J&J Sniadeccy University of Science and Technology in Bydgoszcz. In his academic research he deals with the problems associated with operation quality of complex technical systems particularly transport systems. His research covers issues connected with reliability, safety, efficiency and environment friendliness of sociotechnical systems whose operation is affected by operators, technical objects operated by them and other environmental factors (Share 50%).



Bogdan Landowski, Ph.D works in the Department of Transport and Machine Maintenance of the Faculty of Mechanical Engineering in the University of Science and Technology in Bydgoszcz. His scientific work deals with the problems of complex maintenance systems effectiveness, as well as of modelling of maintenance processes and systems. The research area covers application of Markov decision process theory for mathematical modelling of maintenance processes. His scientific investigations are focused on numerical modelling of maintenance processes and systems (Share 30%).



Professor Maciej Woropay, Ph.D. Eng. His academic studies include the problems of system theory, reliability and safety theory as well as of operation processes control in complex biotechnical systems, in particular control of these processes in municipal transport systems. He is the author and co-author of over 160 scientific papers published in Poland and internationally as well as academic textbooks and lecture collections, the supervisor of more than 180 master's and engineer's theses as well as doctoral dissertations (Share 10%).



Assoc. Prof. Klaudiusz Migawa, Ph.D. Eng., member of the Faculty of Mechanical Engineering of the UTP University of Science and Technology in Bydgoszcz. In his academic studies, he is preoccupied with the problems of evaluation and control of the level of efficiency, reliability, availability as well as safety of the complex systems of technical objects operation. He is the author of scientific papers in the field of modeling of systems and operation processes of means of transport with the implementation of stochastic processes (Share 10%).

KONCEPCJA WDROŻENIA ZESPOŁÓW MODUŁOWYCH W TRANSPORCIE DROGOWYM

1. Wstęp

Ładowność (masowa) pojazdów jest podstawową cechą przy wykonywaniu przewozu ładunków o stosunkowo wysokiej gęstości. Ograniczenie jej wynika przede wszystkim z ograniczenia administracyjnego dotyczącego dopuszczalnej całkowitej masy zespołu pojazdów. Podstawowym aktem prawnym, który reguluje dopuszczalne parametry pojazdów na drogach Unii Europejskiej jest dyrektywa 96/53. Ogranicza ona masę całkowitą pojazdów do 40t oraz długość zestawu drogowego do 18.5 m. Natomiast należy podkreślić, że każdy kraj ma możliwość wprowadzenia odstępstw od tej dyrektywy. Dopuszczenie do ruchu drogowego dłuższych i cięższych pojazdów jedynie na swoim terytorium możliwe jest w ramach powołania się na tzw. koncepcję modułową oraz brak naruszania konkurencji w sektorze transportowym. Liczba państw, które zdecydowały się wprowadzić tego rodzaju odstępstwa jest coraz liczniejsza a liderami wdrożeń takich rozwiązań są kraje skandynawskie. Mając na uwadze ogół korzyści i zagrożeń wynikających z tego rodzaju rozwiązań, w niniejszej pracy dokonano analizę możliwości i celowości wdrożenia drogowych zespołów modułowych w krajowym transporcie drogowym w Polsce.

2. Analiza istniejących rodzajów drogowych systemów modułowych na świecie

Przewóz ładunków dłuższymi i cięższymi pojazdami od standardowych powiązany jest z problematyką międzygałęziowej konkurencji w transporcie. Porównując Europejski rynek przewozów drogowych z rynkiem Ameryki Północnej, Australii czy Azji Północnej łatwo dostrzec jego specyfikę [22-25]. Europa to znacznie bardziej zaludniony kontynent, z gęstą infrastrukturą drogową cechującą się wieloma ograniczeniami z zakresu parametrów technicznych drogi [7]. Natomiast cel, jakim jest powiększenie ładowności oraz pojemności pojazdów ciężarowych, jest kluczowy pod względem skutecznego konkurowania drogowych przewoźników z transportem kolejowym oraz rzeczno-morskim. Każdy metr sześcienny lub tona więcej na naczepie to zmniejszone koszty jednostkowe transportu, a koszty te zawsze przemawiały na korzyść statków i kolei. W ciągu ostatniego półwiecza dopuszczalna maksymalna masa pojazdów w państwach europejskich zwiększyła się od 10 do 30 ton, czyli nawet o 50% [4]. Jest to możliwe między innymi dzięki takim rozwiązaniom jak tzw. „koncepcja modułowa”, w której dopuszczony do ruchu pojazd nienormatywny lub zespół pojazdów może być zamieniony przez nienormatywny pociąg drogowy zbudowany z pojazdów, naczep albo przyczep zgodnych z wymienionymi we wstępie parametrami.

Innymi słowy, państwo unijne dopuszczające do ruchu dłuższe pojazdy niż te wskazane w Dyrektywie, jest zmuszone zezwolić również na przemieszczanie się dłuższych pociągów drogowych zbudowanych z normatywnych modułów (pojazdów, przyczep lub naczep). Wiele państw wykorzystało możliwości tych odstępstw, o czym świadczą dane zamieszczone w tabeli 1 [7].

Tab.1 Maksymalne dopuszczalne masy oraz wymiary pojazdów w wybranych państwach UE [7].

| Kraj | Masa pojazdu brutto [t] | Wysokość [m] | Szerokość [m] | Długość [m] | |
|--------------------|-------------------------|---------------|---------------|-------------------|----------------|
| | | | | Pojazd przegubowy | Pociąg drogowy |
| Dyrektywa 96/53/WE | 40,00 | 4,00 | 2,55 | 16,50 | 18,75 |
| Belgia | 44,00 | 4,00 | 2,55 | 16,50 | 18,75 |
| Czechy | 48,00 | 4,00 | 2,50 | 16,50 | 18,00 |
| Dania | 48,00 | 4,00 | 2,55 | 16,50 | 18,75 |
| Finlandia | 60,00 | 4,20 | 2,60 | 16,50 | 25,25 |
| Francja | 40,00 | Nie określono | 2,55 | 16,50 | 18,75 |
| Holandia | 50,00 | 4,00 | 2,55 | 16,50 | 18,75 |
| Irlandia | 44,00 | 4,00 | 2,55 | 16,50 | 18,75 |
| Luksemburg | 44,00 | 4,00 | 2,55 | 16,50 | 18,75 |
| Niemcy | 40,00 | 4,00 | 2,60 | 16,50 | 18,75 |
| Polska | 40,00 | 4,00 | 2,60 | 16,50 | 18,75 |
| Szwecja | 60,00 | Nie określono | 2,55 | 25,25 | 24,00 |
| W. Brytania | 44,00 | Nie określono | 2,55 | 16,50 | 18,75 |
| Włochy | 44,00 | 4,00 | 2,55 | 16,50 | 18,75 |

W różnych krajach oraz forach dyskusyjnych pojazdy takie nazywa się: Gigaliners, Megatrucks, Jumbotrucks, Monstertrucks, Longer and Heavier Vehicles (LHV), EuroCombi, Öko-Kombis, European Modular System (EMS) [3,7-9,17-21]. Niniejsze pociągi drogowe tworzone są ze standardowych pojazdów drogowych, takich jak:

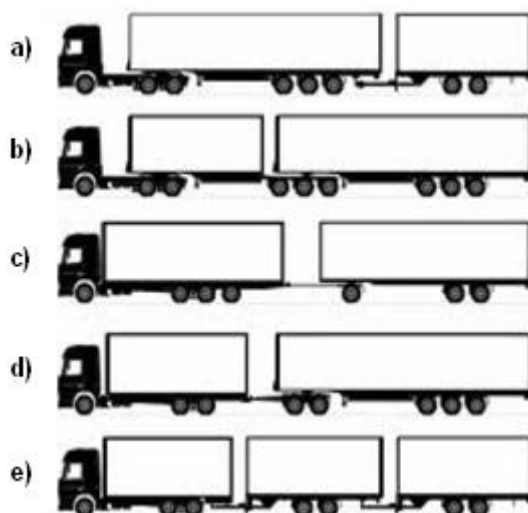
- ciągniki siodłowe (moduł A),
- dwu albo trzyosiowe naczepy o długości 13,6 m (moduł B),
- dwu albo trzyosiowych przyczep o długościach 7,82 m z centralnym położeniem osi (moduł C),
- trzyosiowe naczepy o specjalnej konstrukcji z siodłem (moduł D),
- trzy lub czteroosiowy samochód ciężarowy (moduł E),
- trzyosiowe przyczepy (moduł F),
- dwuosiowy wózek z siodłem tzw. „dolly” (moduł G) [1].

Wyszczególnione powyżej moduły, stanowią elementy składowe pojazdów o różnych konfiguracjach.

Wyróżnić można pięć następujących konfiguracji w budowie pociągów drogowych (rysunek 1) [7]:

- a) A + B + C (Rys.2.5),
- b) A + D + B (Rys.2.6),
- c) E + F (Rys.2.7),
- d) E + G + B (Rys.2.8),
- e) E + C + C (Rys.2.9).

W interpretacji graficznej przedstawia się to następująco:



Rys.1 Rozwiązania najczęściej spotykanych pociągów drogowych w Europie [7]

Analizując natomiast rynek modułowych zestawów drogowych na świecie należy podkreślić, że największe z nich eksploatowane są w Australii (największe i najcięższe dopuszczone do ruchu pojazdy, których masa dochodzi do 200t.), Kanadzie, USA i Meksyku. Pociągi drogowe są wykorzystywane do przewożenia wszystkich rodzajów towarów, w tym żywego inwentarza, paliwa, rud minerałów i towaru drobnicowego a ich opłacalność przyczyniła się w znacznym stopniu do rozwoju gospodarczego najbardziej odległych obszarów.

3. Infrastrukturalne aspekty wdrożenia drogowych zespołów modułowych w Polsce

Podział dróg publicznych ze względu na kategorie wynika z funkcji, jaką spełnia droga w polskiej sieci drogowej. Wyróżnia się następujące kategorie dróg:

- drogi krajowe (należą do klasy A, S, GP, wyjątkowo G),
- drogi wojewódzkie (należą do klasy G, Z, wyjątkowo GP),
- drogi powiatowe (należą do klasy G, Z, wyjątkowo L),
- drogi gminne (należą do klasy L, D, wyjątkowo Z) [12].

Dopuszczalne, maksymalne naciski pojedynczej osi pojazdu na nawierzchnię drogi określonej klasy zamieszczono w tabeli 2.

Tab. 2 Dopuszczalny maksymalny nacisk na oś pojazdu [12].

| Klasa drogi | Dopuszczalny nacisk na oś pojazdu (t) |
|-------------|---------------------------------------|
| A, S | 11.5 |
| GP | 11.5, 10* |
| G, Z, L, D | 10, 8* |

*Dopuszcza się podczas przebudowy lub remontu drogi.

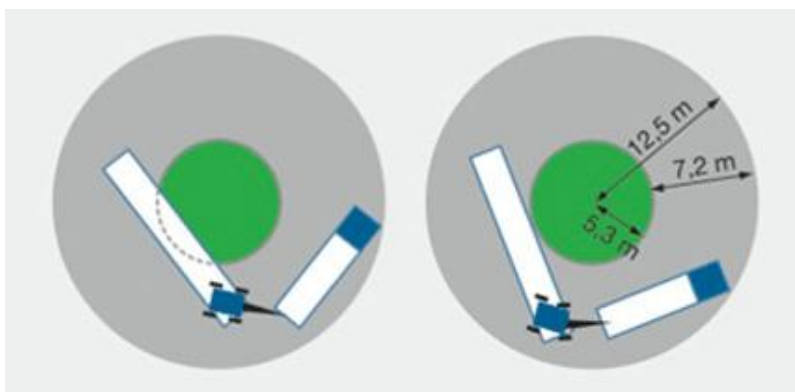
Niektóre drogi krajowe w zależności od poszczególnych odcinków mogą posiadać różne dopuszczalne naciski na oś. W Polsce taką drogą jest np. DK5. Ze względu na wymiary i masę całkowitą, EMS poruszałyby się tylko po głównej sieci dróg kołowych tj. po autostradach, drogach ekspresowych i drogach krajowych. W związku ze zwiększoną liczbą osi w EMS, obciążenie poszczególnych z nich jest podobne jak w standardowych pojazdach ciężarowych. Drogowy zespół modułowy o całkowitej masie do 60t, posiadający 7 osi wywiera około 8.57t na jedną oś. Zestawiając tą wartość z naciskiem wywieranym na oś przez zestawy standardowe różnica jest nieduża. W zestawie o DMC 40t z pięcioma osiami, średni nacisk na pojedynczą oś wynosi 8t. Dlatego z punktu widzenia obciążenia osi, EMS mogłyby być dopuszczone do ruchu na drogach głównych.

Kolejnym elementem infrastruktury drogowej w Polsce, który teoretycznie mógłby być przeszkodą dla wprowadzenia EMS są mosty oraz wiadukty. Zwiększenie DMC pojazdów ciężarowych nie wpłynęłoby negatywnie na infrastrukturę tychże obiektów, ponieważ w tym przypadku również głównym wskaźnikiem jest obciążenie osi. Jeśli ciężar byłby odpowiednio rozłożony na poszczególne z nich, taki zestaw nie stanowiłby zagrożenia dla powyższych konstrukcji. Warto zauważyć, że po tego typu obiektach nierzadko poruszają się środki transportu ponadnormatywnego, których masa całkowita znacznie przekracza 40 t, a mimo to nie ingerują one w ich stan [6].

Największym problemem polskiej infrastruktury drogowej w przypadku wprowadzenia do ruchu EMS są skrzyżowania i rondo. W obecnej chwili standardowe zestawy o długościach 16.5 m i 18.75 m mają problemy z przejazdem przez skrzyżowania, gdyż promień łuku dla skanalizowanych wlotów dróg klasy G, GP, Z i D wynosi 10m, a dla nieskanalizowanych wlotów dróg klasy G oraz Z 8m [12].

Natomiast stosując się do przepisów dotyczących przejazdu przez skrzyżowania nieskanalizowane, pojazdy ciężarowe o długościach 16.5 m, 18.75 m oraz 25.25 m wyposażone w osie skrętne o minimalnym promieniu skrętu 12.5 m i 14.5 m mogą pokonać każde skrzyżowanie posiadające wyspy najazdowe. Jedynym utrudnieniem dla pojazdów o długości 25.25 m są skrzyżowania skanalizowane nieposiadające wysp najazdowych. Na drogach krajowych skrzyżowania tego typu występują rzadko jednak zalecane jest ich przebudowanie.

Dobłą alternatywą dla zestawów posiadających osie skrętne jest wózek dolly, którego układ skrętny jest aktywny. Dzięki temu EMS bezproblemowo pokonuje drogę skrzyżowania gdyż układ taki powoduje, że zespół wybiega na wewnętrznym promieniu o ok. 5.3m natomiast naczepa w sposób płynny podąża za śladami samochodu ciężarowego (Rys.2) [5,15].



Rys.2 Droga EMS wyposażonego w wózek dolly po rondzie [15]

Z punktu widzenia przejazdu przez rondo na drogach krajowych, gdzie promień wewnętrznej wyspy wynosi 5m, pojazdy EMS powinny być w odpowiedni sposób dostosowane technicznie:

- zespół wyposażony w wózek dolly z aktywnym układem skrętnym,
- naczepa zespołu z jednym punktem przełamania posiadająca oś skrętną,
- w przypadku braku powyższych elementów, zespół powinien posiadać dwa punkty przełamania.

EMS przemieszczające się po pozostałych drogach tj. autostradach oraz drogach ekspresowych nie będą miały problemu z pokonywaniem tych obiektów przez wzgląd na dużą średnicę wysp wewnętrznych i na duże promienie zjazdów [6].

Bezpieczeństwo w ruchu drogowym

Analizując dane na przykładzie pojazdów eksploatowanych w Holandii stwierdzono, że w latach 2007-2010 odnotowano 19 wypadków z udziałem EMS. Stanowi to znikomy procent wszystkich wypadków na drogach w tym okresie. Koncentrując się wyłącznie na liczbie ofiar oraz osobach rannych odnotowano tylko jeden taki przypadek. W pozostałych zdarzeniach poniesiono wyłącznie straty materialne. Wypadków z udziałem pieszych i rowerzystów nie odnotowano. Procent wypadkowości z udziałem zestawów EMS jest znikomy, natomiast średnia długość pokonywanych przez nie tras jest większa, niż przez standardowe pojazdy ciężarowe [11].

Natomiast po dokonaniu analizy przyczyn wszystkich wypadków drogowych z udziałem EMS można stwierdzić, iż głównymi sprawcami wypadków byli kierowcy pojazdów osobowych.

Jednocześnie wprowadzone przepisy dotyczące poruszania się EMS mają zagwarantować bezpieczeństwo podczas realizacji zadań transportowych. Pojazd tego typu posiadać powinien następujące wyposażenie:

- zaawansowane układy hamulcowe,
- system pomiaru obciążenia osi,
- zestaw lusterek zgodny z najnowszymi europejskimi przepisami,
- zabezpieczenie boczne pomiędzy kołami,
- boczne oznakowania świetlne,
- tylny znak informujący o konturze kombinacji oraz długości.

Dodatkowo analizując problematyczną kwestię czasu wyprzedzania zestawów EMS stwierdzono, że w przypadku standardowego zestawu jadącego z prędkością 80 km/h, pojazd osobowy poruszający się z prędkością 100 km/h od chwili rozpoczęcia jego wyprzedzania aż do zakończenia manewru pokonuje odległość 565 m. Z kolei wyprzedzając EMS jadący 80 km/h pokonuje odległość 597 m. Porównując zatem te dwa przypadki widać, że różnica jest niewielka.

Efektywność energetyczna zespołów modułowych

Na przykładzie danych eksploatacyjnych pozyskanych na terenie Holandii stwierdzono, że wprowadzenie pojazdów EMS wpłynęło na zmniejszenie emisji CO₂ i NO_x w liczbie:

- z 63 do 56 g na tonokilometr CO₂ – stanowi to 11% redukcji CO₂,
- z 0.4 do 0.37 g na tonę NO_x – co stanowi 14% redukcji NO_x.

Test przeprowadzony przy udziale 11000 pojazdów EMS wykazał, iż redukcja emisji spalin dla NO_x wynosi 4% oraz 6% dla CO₂. Oszacowano, że Europejski System Modułowy może wykonać o 41% więcej tonokilometrów na jeden litr paliwa.

Również w Niemczech wprowadzenie EMS wpłynęło korzystnie na środowisko. Redukcja CO₂ i NO_x wyniosła tam 33% [11].

Korzystając z tych danych autorzy ekspertyzy wykonali szacunkowe obliczenia efektywności energetycznej dla niektórych tras w Polsce. Przyjęto, że EMS będą się poruszać po trasach A1, A2, A4 i S4 dla których ustalono następujące dane:

- średni dobowy ruch pojazdów na trasach tych wynosi 18763 pojazdów na dobę, natomiast roczny ruch – 54566,
- udział pojazdów ciężarowych wynosi 15%,
- udział ciągników siodłowych w ogólnej ilości pojazdów wynosi 8%,
- średnia odległość przewozu w drogowym transporcie wynosi 230 km [10].

Analizując wyniki badań dotyczące emisji CO₂ [10] stwierdzono, że w prawie wszystkich przypadkach emisja CO₂ jest przez pojazd EMS jest mniejsza niż przy standardowych pojazdach ciężarowych. Wyjątkiem jest tylko EMS 40 t, w przypadku którego zużycie paliwa zwiększa się przy transporcie cięższych ładunków.

4. Analiza celowości wdrożenia drogowych zespołów modułowych na przykładzie wybranej firmy transportowej

Analizie celowości wdrożenia zestawów EMS w krajowym transporcie drogowym, dokonano na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa transportowego, realizującego przewozy w systemie „liniowym”, pomiędzy wyróżnionymi centrami logistycznymi [2,6].

Omawiana firma znajduje się w województwie wielkopolskim. Przedsiębiorstwo zajmuje się rozwożeniem przesyłek do 17 oddziałów na terenie całej Polski. Na chwilę obecną dostarczanie przesyłek do poszczególnych oddziałów realizowane jest przy pomocy ciągnika siodłowego z naczepą typu „burta” mogąca pomieścić 33 palety Euro. Przyjeta stawka podczas każdego przewozu wynosi 2,90 zł za jeden wozokilometr. Obecnie do 5 spośród 17 oddziałów dostarczany jest towar w ilości przekraczającej 33 europalety co powoduje zwiększone zapotrzebowanie na liczbę pojazdów. Sugerowane zmiany mają na celu zastąpienie na tych pięciu trasach obecnie wykorzystywanych standardowych pojazdów ciężarowych pojazdami EMS. Analizując uwarunkowania prawne oraz ogólny aspektów infrastrukturalnych, proponuje się wprowadzenie do eksploatacji zestawów EMS w konfiguracji D (Rys. 1), złożonego z pojazdu ciężarowego mieszczącego 19 palet oraz naczepy mieszczącej 33 palety. Pojazdy te poruszać się będą po następujących drogach:

- Leszno: DK36, E261,
- Łódź: DK36, DK25, DK12, E67, DK14,
- Gdańsk: DK36, E261, E75, E77, DK89,
- Częstochowa: DK36, E261, E67, DK74, DK45, DK43,
- Kraków: DK36, E261, E67, E40, E77.

Dla jednego wozokilometra oszacowano stawki w wysokości 3,80 zł. Aby wyznaczyć koszty przejazdu dla obecnie stosowanych pojazdów ciężarowych jak i dla proponowanych pojazdów ponadnormatywnych, uwzględniono liczbę kilometrów jaka dzieli poszczególne oddziały. Koszty przewozu dla obu typów pojazdów przedstawiono kolejno w tabeli 3.

Tab. 3 Koszt przewozu dwoma pojazdami standardowymi oraz EMS.

| Oddział | Koszt przewozu (standardowe) | Koszt przewozu (EMS) |
|----------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Leszno | 230.54 zł | 149.47 zł |
| Łódź | 1239.80 zł | 834.80 zł |
| Gdańsk | 2317.40 zł | 1841.47 zł |
| Częstochowa | 1332.68 zł | 988.18 zł |
| Kraków | 2190.62 zł | 1400.41 zł |

Dla poszczególnych oddziałów wyliczono średnią wartość palety/kilometra (tabela 4). Obliczeń dokonano korzystając ze zależności:

$$Kp / Lk / Lp = Pk \quad (1)$$

gdzie: Kp – koszt przewozu danej liczby palet,
Lk – liczba kilometrów pomiędzy oddziałami,
Lp – liczba transportowanych palet,
Pk – wartość palety/kilometra.

Tab. 4 Średnie wartości palety/kilometra na poszczególnych trasach.

| Oddział | Standardowe pojazdy ciężarowe | EMS |
|-------------|-------------------------------|----------|
| Leszno | 0.124 zł | 0.080 zł |
| Łódź | 0.137 zł | 0.089 zł |
| Gdańsk | 0.119 zł | 0.083 zł |
| Częstochowa | 0.114 zł | 0.075 zł |
| Kraków | 0.144 zł | 0.092 zł |

Koszt przewozu jednej palety między oddziałami zamieszczono w tabeli 5.

Tab. 5 Koszt transportu jednej palety.

| Oddział | Standardowe pojazdy ciężarowe | EMS |
|-------------|-------------------------------|----------|
| Leszno | 4.70 zł | 3.05 zł |
| Łódź | 28.18 zł | 18.97 zł |
| Gdańsk | 45.44 zł | 36.11 zł |
| Częstochowa | 25.63 zł | 19.00 zł |
| Kraków | 48.68 zł | 31.12 zł |

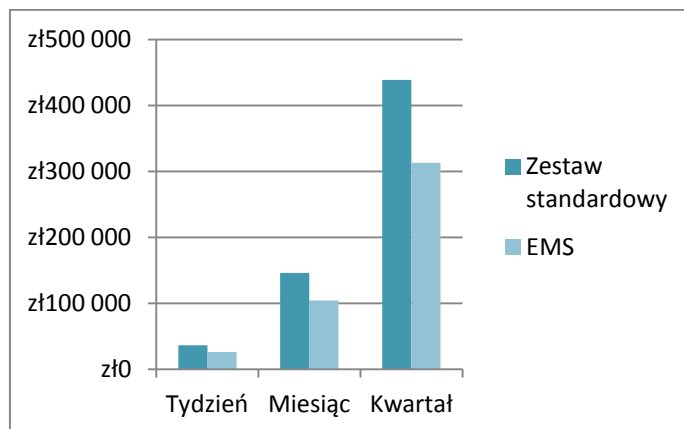
Analizowane przedsiębiorstwo wysyła towary systematycznie przez 5 dni w tygodniu. Koszty transportu w okresie tygodniowym, miesięcznym i kwartalnym przedstawiono w tabelach 6 oraz 7 a wyniki w postaci graficznej zobrazowano na rysunku 3.

Tab. 6 Koszty transportu zestawem standardowym w różnych okresach czasu.

| Oddział | Tydzień | Miesiąc | Kwartał |
|--------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Leszno | 1152.70 zł | 4610.80 zł | 13832.40 zł |
| Łódź | 6199 zł | 24796 zł | 73488 zł |
| Gdańsk | 11587 zł | 46348 zł | 139044 zł |
| Częstochowa | 6663.40 zł | 26653.60 zł | 79960.80 zł |
| Kraków | 10953.10 zł | 43812.40 zł | 131437.20 zł |
| Razem | 36555.20 zł | 146220.80 zł | 438662.40 zł |

Tab. 7 Koszty transportu pojazdem EMS w różnych okresach czasu.

| Oddział | Tydzień | Miesiąc | Kwartał |
|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Leszno | 747.35 zł | 2989.40 zł | 8968.20 zł |
| Łódź | 4174 zł | 16696 zł | 50088 zł |
| Gdańsk | 9207.35 zł | 36829.40 zł | 110488.20 zł |
| Częstochowa | 4940.90 zł | 19763.60 zł | 59290.80 zł |
| Kraków | 7002.05 zł | 28008.20 zł | 84024.60 zł |
| Razem | 26071.65 zł | 104286.60 zł | 312859.80 zł |
| Oszczędność | 10483.55 zł | 41934.20 zł | 125802.60 zł |



Rys. 3 Wykres kosztów transportu przez EMS i zestawy standardowe w różnych okresach czasu

Analizując powyższe wyniki zauważyć można, że wdrożenie zespołów modułowych w omawianej firmie transportowej przynosi oszczędności w kwotach:

- 10483.55 zł za przewóz przesyłek w ciągu jednego tygodnia,
- 41934.20 zł za przewóz przesyłek w ciągu jednego miesiąca,
- 125802.60 zł za przewóz przesyłek w ciągu kwartału.

Zasugerowane zmiany zmniejszają koszty przewozu o 28.7 %.

5. Podsumowanie

Postępujący i przewidywany wzrost pracy przewozowej realizowanej transportem drogowym, konieczny dla gospodarczego rozwoju społeczeństwa, okupiony jest wzrostem m.in.: emisji hałasu, emisji spalin, zatłoczenia ulic oraz zagrożeń drogowymi wypadkami. Te negatywne zjawiska, które towarzyszą rozwojowi można oraz trzeba minimalizować. Koncepcja modułowa jest rozwiązaniem pozwalającym zapobiec lub ograniczyć te zjawiska. Mniejsza liczba pojazdów potrzebnych do zrealizowania danego zadania transportowego zmniejsza ryzyko zagrożeń wypadkowych, zmniejsza zatłoczenie dróg, a także obniża zużycie paliwa oraz emisję spalin do atmosfery.

Przeprowadzona analiza polskiej infrastruktury drogowej wykazała, że zespoły modułowe będą mogły zostać dopuszczone do ruchu po autostradach, drogach ekspresowych i wybranych drogach głównych. W przyszłości zaleca się zmienić wymagania dotyczące projektowania oraz wykonania infrastruktury drogowej, aby były odpowiednio dostosowane do zwiększonych wymiarów pojazdów.

Na przykładzie analizowanym w opracowaniu, można jednoznacznie stwierdzić, że zastąpienie standardowych pojazdów ciężarowych zestawami modułowymi typu EMS przynosi wymierne korzyści finansowe, ogranicza liczbę eksploatowanych pojazdów a tym samym kierowców, nie obniża poziomu bezpieczeństwa na drogach oraz relatywnie w mniejszym stopniu negatywnie oddziałuje na środowisko naturalne.

5. References

- [1] Akerman I., Jonsson R., European Modular System for road freight transport - experiences and possibilities, Rapport 2007:2E, Sztokholm 2007.
- [2] Błajda Ł., Analiza i ocena celowości wdrożenia drogowych zespołów modułowych w Polsce.
- [3] Lińčák N., Olejnik K., Woźniak G., Propozycje i ocena możliwości zwiększenia rzeczywistej pracy przewozowej środków transportu drogowego, Motor Transport Institute, Warszawa 2012.
- [4] Lumsden K., Truck Masses and Dimensions - Impact on Transport Efficiency, Department of Logistics and Transportation, Chalmers University of Tehchnology, Gothenburg 2004.
- [5] Milewski D., Wiśnicki B., Wpływ kosztów eksploatacji wielkogabarytowych zestawów drogowych na rynek transportowy w Polsce, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Problemy Transportu i Logistyki, 26/2014.
- [6] Muślewski Ł., Lewalski M., Woropay M., Analysis and evaluation of application of car modular systems in polish road transport, Journal of Kones, 22(4)/2015.
- [7] Poliński J., Konkurencja pociągów drogowych dla transportu kolejowego w Europie, Przegląd Komunikacyjny, 5/2014.
- [8] Raczyński J: Wizja megaciężarówek - kolejowe przewozy towarowe wobec kolejnych zagrożeń, Rynek Kolejowy, 10/2007.
- [9] Wiśnicki B., Galor W., Uwarunkowania przewozu ładunków pojazdami niestandardowymi w Europie, Logistyka, 2/2010.
- [10] Załoga E., Milewski D., Kwarciański T., Wpływ planowanej przez Komisję Europejską zmiany dyrektywy rady 96/53/we z dnia 25 lipca 1996 r. ustanawiająca dla niektórych pojazdów drogowych poruszających się na terytorium wspólnoty maksymalne dopuszczalne wymiary w ruchu krajowym i międzynarodowym oraz maksymalne dopuszczalne obciążenia w ruchu międzynarodowym na sektor transportu w Polsce. Ekspertyza, Szczecin 2012.
- [11] Longer and Heavier Vehicles in the Netherlands. Facts, figures and experiences in the period 1995-2010, Ministry of Transport, 2010.
- [12] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, (Dziennik Ustaw. z 1999 r., Nr 43, poz. 430).
- [13] <http://www.whitlockbullbars.com.au>
- [14] <http://www.smh.com.au>
- [15] <http://www.krone-trailer.com>
- [16] <http://www.wikiwand.com>
- [17] <http://upload.wikimedia.org>
- [18] <http://www.verkehrsrundschau.de>
- [19] <http://h-a.d-cd.net>
- [20] <http://www.marcotran.com>
- [21] <http://www3.picturepush.com>

[22] <http://www.nhvr.gov.au>

[23] <http://www.smart-trucking.com>

[24] <http://www.truckandtrailer.ca>

[25] <http://www.mexicotrucker.com>



Prof. nadzw. dr hab. inż. Łukasz Muślewski jest kierownikiem Zakładu Eksploatacji i Transportu na Wydziale Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytetu Technologiczno – Przyrodniczego im. J.J. Śniadeckich w Bydgoszczy. W pracy naukowej zajmuje się zagadnieniami jakości działania złożonych systemów eksploatacji a w szczególności systemów transportowych. Realizuje badania z zakresu niezawodności, bezpieczeństwa, efektywności i ekologiczności systemów socjotechnicznych, w których na jakość ich działania mają wpływ operatorzy, sterowane przez nich obiekty techniczne oraz czynniki oddziałujących z otoczenia (Udział 50%).



Dr inż. Bogdan Landowski pracuje w Zakładzie Transportu i Eksploatacji na Wydziale Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. W pracy naukowej zajmuje się problemami dotyczącymi efektywności złożonych systemów eksploatacji oraz modelowania procesów i systemów eksploatacji. Tematyka badawcza obejmuje zastosowanie teorii decyzyjnych procesów Markowa do matematycznego modelowania procesów eksploatacji. Prowadzi badania w zakresie modelowania numerycznego procesów i systemów eksploatacji (Udział 30%).



Prof. dr hab. inż. Maciej Woropay, w pracy naukowej zajmuje się problemami dotyczącymi teorii systemów, teorii niezawodności i bezpieczeństwa oraz sterowania procesami eksploatacji w złożonych systemach biotechnicznych, a w szczególności sterowaniem tymi procesami w systemach transportu miejskiego. Jest autorem ponad 160 prac naukowych opublikowanych w kraju i za granicą, a także podręczników i skryptów akademickich, promotorem ponad 180 prac magisterskich i inżynierskich oraz rozpraw doktorskich (Udział 10%).



Dr hab. inż. Klaudiusz Migawa, prof. nadzw. UTP, pracownik Wydziału Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. W pracy naukowej zajmuje się problematyką oceny i sterowania poziomem efektywności, niezawodności, gotowości oraz bezpieczeństwa złożonych systemów eksploatacji obiektów technicznych. Autor prac naukowych z zakresu modelowania systemów i procesów eksploatacji środków transportu (Udział 10%).