

УДК 504.06
UDC 504.06

WPLYW NATEŻENIA RUCHU DROGOWEGO NA EMISJĘ DWUTLENKU WĘGLA
DLA WYBRANEGO DWUPASMOWEGO SKRZYŻOWANIA O RUCHU OKRĘŻNYM

BALAWENDER Krzysztof, Dr. Inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska
JAWORSKI Artur, Dr Inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska
KUSZEWSKI Hubert, Dr Inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska
LEJDA Kazimierz, Prof. Dr hab. Inż, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska
MĄDZIEL Maksymilian, Mgr Inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska
USTRZYCKI Adam, Dr Inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska

ВПЛИВ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ВИКИДИ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ
ДЛЯ ОБРАНОГО ДВОСМУГОВОГО КРУГОВОГО ПЕРЕХРЕСТЯ

БАЛАВЕНДЕР Кшиштоф, доктор інженер, Жешовська Політехніка, Жешув, Польща
ЯВОРСКИ Артур, доктор інженер, Жешовська Політехніка, Жешув, Польща
КУШЕВСКИ Губерт, доктор інженер, Жешовська Політехніка, Жешув, Польща
ЛЕЙДА Казімеж, професор, доктор хабілітований, Жешовська Політехніка, Жешув, Польща
МАДЗЕЛЬ Максиміліан, магістр інженер, Жешовська політехніка, Жешув, Польща
УСТШИЦКИ Адам, доктор інженер, Жешовська Політехніка, Жешув, Польща

THE IMPACT OF ROAD TRAFFIC ON CARBON DIOXIDE EMISSION
ON THE SELECTED TWO-LANE ROUNDABOUT

BALAWENDER Krzysztof, PhD., Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland
JAWORSKI Arthur, PhD., Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland
KUSZEWSKI Hubert, PhD., Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland
LEJDA Kazimierz, Prof., DSc, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland
MADZIEL Maksymilian, Master engineer, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland
USTRZYCKI Adam, PhD., Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland

WSTĘP

Obecnie jednym z większych zagrożeń ludzkości jest wzrost temperatury na ziemi wynikający z tzw. „efektu cieplarnianego”. Zjawisko to jest związane z ciągłym wzrostem emisji antropogenicznego CO₂ do atmosfery. W sektorze transportu, zasadniczym źródłem emisji CO₂ jest silnik spalinowy. W związku z ciągle rosnącą liczbą pojazdów samochodowych wzrasta również sumaryczna emisja toksycznych składników spalin. Prowadzi to do pogorszenia jakości powietrza, jak i zdrowia mieszkańców. Pomimo tego, że podjęto się eliminacji tego problemu poprzez wprowadzenie norm, realizacji wielu kampanii społecznych oraz projektów badawczych, to emisja spalin z transportu drogowego jest wciąż istotnym zagrożeniem. Emisja zanieczyszczeń w spalinach z transportu drogowego zależy od wielu czynników, m.in. wielkości ruchu drogowego, charakterystyki drogi i samochodów, warunków atmosferycznych, zachowań kierowców, jak również rodzaju zastosowanych skrzyżowań. Na skrzyżowaniach pojazdy zazwyczaj zwalniają albo się zatrzymują, co prowadzi do zakłócenia przepływu potoków ruchu. Skrzyżowania typu rondo są bezpieczne i efektywne, potrafią również poprawić przepływ pojazdów w porównaniu do konwencjonalnych skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Jednakże nie jest pewne, w jakim stopniu różne rozwiązania tego typu redukują emisję toksycznych składników spalin samochodowych [4,6,8].

Celem niniejszej pracy jest określenie wielkości emisji CO₂ w spalinach z środków transportu drogowego dla wybranego dwupasmowego ronda w Rzeszowie. Do uzyskania danych drogowych parametrów ruchu samochodów, przeprowadzono mikrosymulację przepływu ruchu drogowego w programie Vissim z użyciem założonych hipotetycznie wartości natężenia ruchu drogowego o wartościach: 800 poj./h (po 200 poj./h na każdym wlocie), 2000 poj./h (po 500 poj./h na każdym wlocie) i 4000 poj./h (po 1000 poj./h na każdym wlocie).

METODYKA BADAŃ

Do analizy emisji przyjęto rondo dwupasmowe znajdujące się na terenie Rzeszowa na przecięciu ulic Warszawskiej, Marszałkowskiej, Rycerskiej oraz Lubelskiej. Rondo to posiada cztery główne wloty, z których trzy są wlotami z dwoma pasami ruchu. Widok skrzyżowania przedstawiono na rys. 1. W analizie pominięto ruch pieszych. Dane geometrii skrzyżowania pobrane zostały na podstawie zdjęcia satelitarnego dostępnego w serwisie Google Maps. Zdjęcie zostało odpowiednio wyskalowane do pracy w programie do mikrosymulacji ruchu Vissim. Wartości natężenia ruchu drogowego z poszczególnych wlotów na rondo założono jednakowe.



Rysunek 1 – Widok przyjętego do badań skrzyżowania

Model emisji VERSIT+ [13], który wykorzystywany jest w programie Enviver, jest to wieloczynnikowy regresyjny model, w którym zmienną jest cykl jezdny danego pojazdu (model emisji A). Wymaga to wcześniejszego uzyskania profili prędkości w programie Vissim, na podstawie których możliwe jest oszacowanie współczynników emisji, wyrażonych w jednostkach emisji drogowej [g/km], dla różnych klas pojazdów [12]. Programy symulacyjne i utworzone w nich modele dostarczają dokładnych danych emisji odpowiednich dla skali mikro [1,2,4]. VERSIT+ zawiera serię 246 klas modeli emisji, których algorytmy są odpowiednio wyznaczone dla każdej z kategorii pojazdów oraz rodzaju toksycznych składników spalin. W przeciwieństwie do wskaźników emisji uzyskanych z Nowego Europejskiego Cyklu Jezdnego (NEDC) wykorzystywane w tym modelu profile prędkości są reprezentatywne dla rzeczywistych warunków drogowych [11]. Wskaźniki emisji uzyskiwane są z wielokrotnej regresji liniowej w celu znalezienia empirycznych relacji pomiędzy stopniem emisji, profilem prędkości oraz zmiennymi dynamicznymi [13].

Emisja spalin transportu drogowego (g/h) dla określonego składnika spalin z jednej lub większej ilości sekcji drogi obliczona jest z równania [13]:

$$TE_j = \sum_{k,m} (E_{j,k,l}^F * TV_{k,m} * L_m) \quad (1)$$

gdzie:

$E_{j,k,l}^F$ - średni wskaźnik emisji [g/km],

j - składnik emisji spalin,

k - klasa pojazdu,

l - profil prędkości,

$TV_{k,m}$ - natężenie ruchu drogowego [pojazdy/h],

m - sekcja drogi,

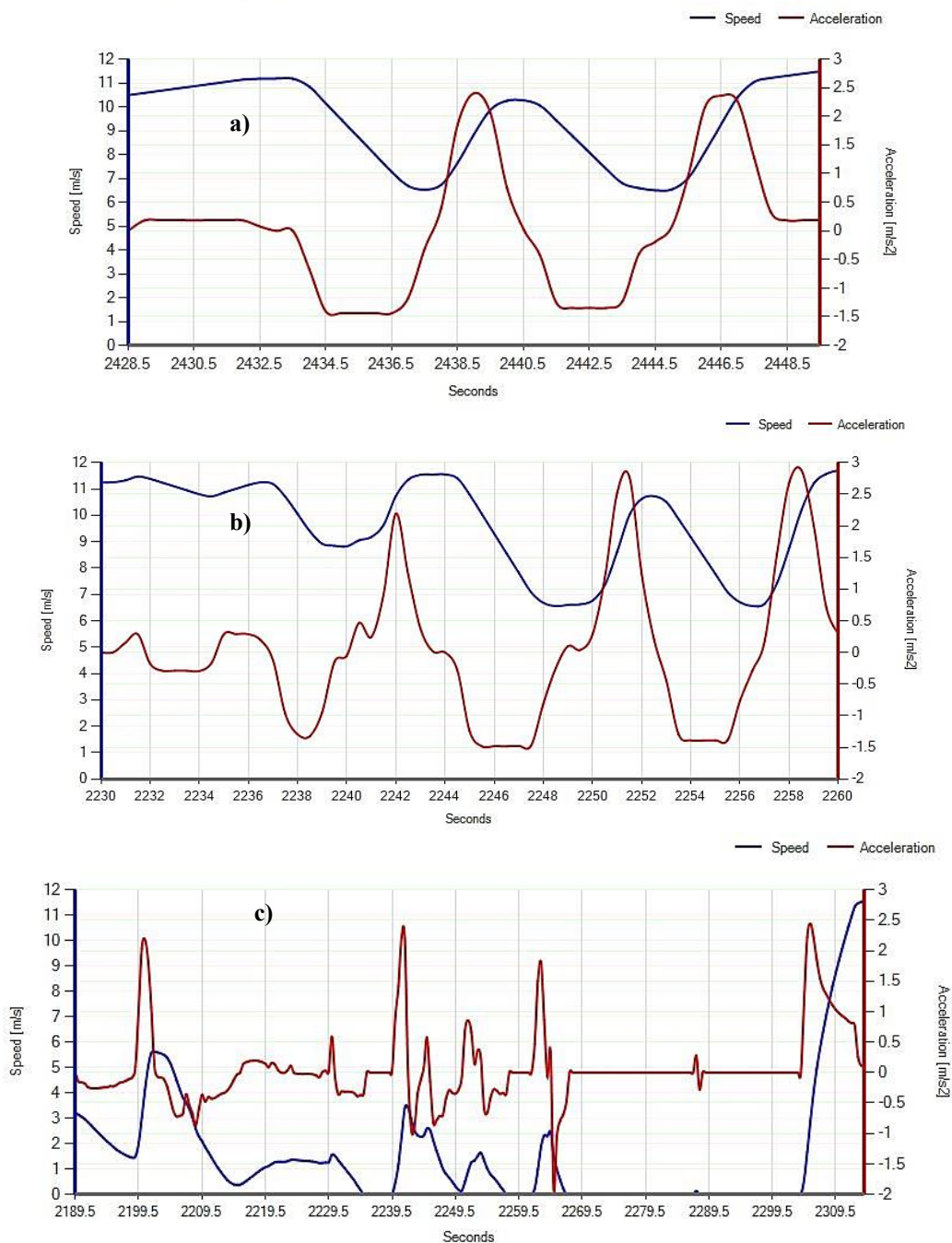
L_m - długość sekcji drogi (km).

W badanym przypadku obliczono emisję CO₂ w rozdzielczości przestrzennej 5x5m z wykorzystaniem programu Enviver. Emisję badano dla warunków miejskich, czyli model uwzględniał pewien odsetek pojazdów, które cechują się zwiększoną emisją zanieczyszczeń w spalinach w związku z zimnym startem silnika.

Час тривання симуляції руху дорожнього в програмі Vissim ustawiony został na wartość 3600s. Przyjęto 2 klasy pojazdów: samochody osobowe (które stanowiły 80% wszystkich pojazdów) oraz samochody ciężarowe i autobusy (w ilości 20%). Połowa badanych pojazdów napędzana była paliwem benzynowym, natomiast pozostała połowa olejem napędowym. Średni wiek pojazdów dla samochodów osobowych ustawiony został na 8 lat. Dla klasy samochodów ciężarowych i autobusów przyjęto średni wiek pojazdów wynoszący 9 lat.

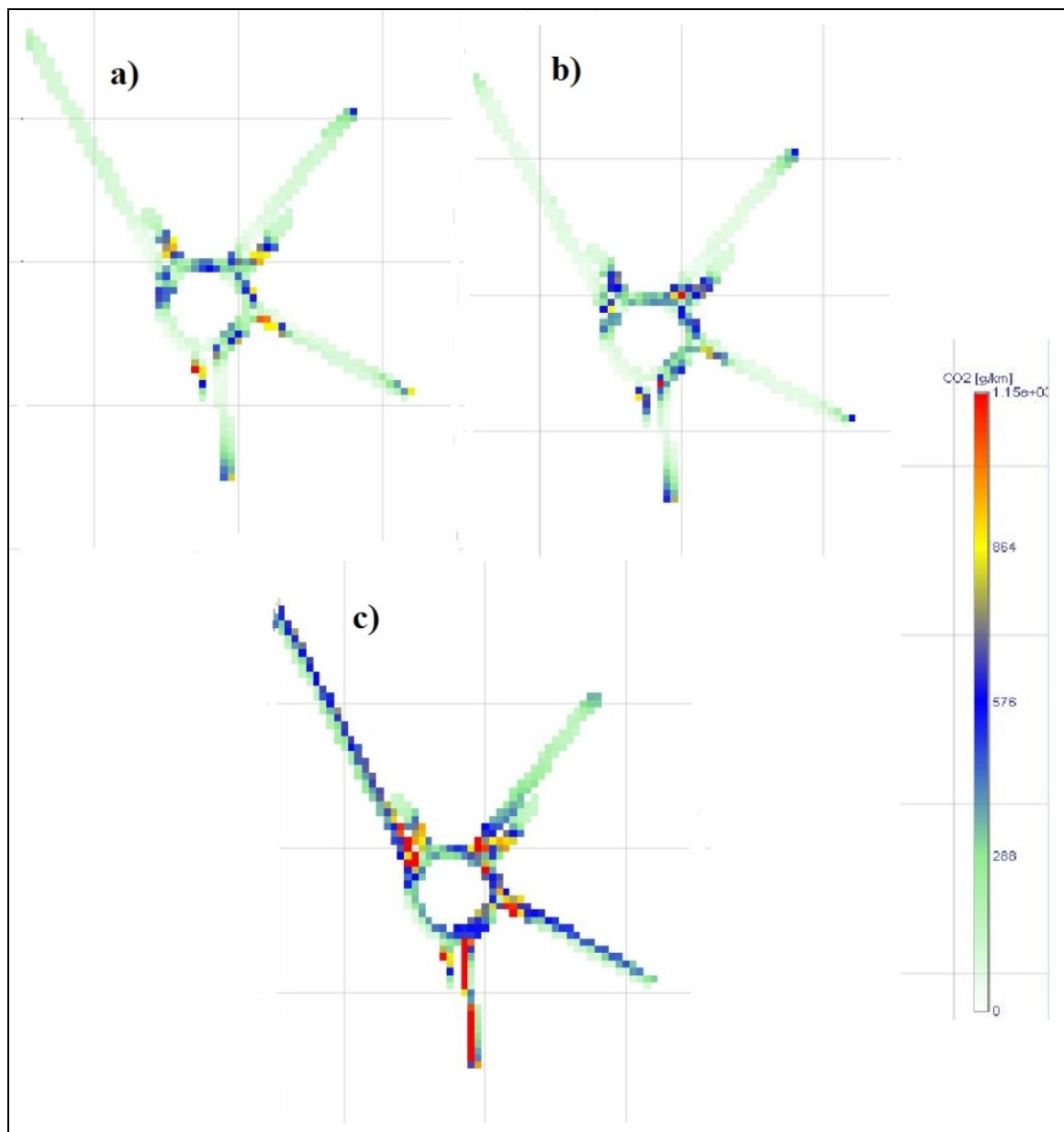
WYNIKI BADAŃ

Dane niezbędne do wyznaczenia czasowych profili prędkości dla każdego z pojazdów, uzyskano przy użyciu programu VISSIM z czasową rozdzielczością 5s. Dane te służyły do obliczenia przez program ENVIVER średnich prędkości jazdy pojazdów dla siatki komórek o rozdzielczości 5x5m. W ten sposób uzyskano dane zmian prędkości i przyspieszeń, występujących podczas przejazdu pojazdów przez rondo, które przykładowo dla wybranych pojazdów w zależności od natężenia ruchu przedstawiono na rys. 2.



Rysunek 2 – Przykładowe wykresy prędkości i przyspieszeń w warunkach: a) natężenia ruchu 800 poj./h; b) natężenia ruchu 2000 poj./h; c) natężenia ruchu 4000 poj./h

Na rys. 3 zilustrowano obliczone wartości emisji CO₂ dla założonych warunków natężenia ruchu w rozdzielczości przestrzennej 5x5m. Natomiast tabela 1 przedstawia wyniki sumarycznej emisji oraz wskaźnika emisji dla CO₂.



Rysunek 3 – Emisja CO₂ [g/km] w warunkach: a) natężenia ruchu 800 poj./h b) natężenia ruchu 2000 poj./h, c) natężenia ruchu 4000 poj./h

Tabela 1 – Zestawienie wyników emisji CO₂ dla założonych scenariuszy natężenia ruchu

Natężenie ruchu (poj./h)	Wskaźnik emisji CO ₂ [g/km]	Sumaryczna emisja CO ₂ [g]
800	270,4	59055
2000	323,25	176400
4000	459,8	385300

PODSUMOWANIE

Zmiany dotyczące ocieplania klimatu zauważalne są od wielu lat. Znacząco wpływają na nie działania człowieka. Należy do nich ciągle rosnąca liczba pojazdów, która prowadzi również do wzrostu zużycia paliw węglowodorowych i emisji gazów cieplarnianych, w tym dwutlenku węgla.

Mając na uwadze wpływ natężenia ruchu samochodów na wielkość sumarycznej emisji, uzyskano istotny jej wzrost przy zwiększeniu liczby samochodów przejeżdżających przez badane skrzyżowanie. W analizowanym przypadku zwiększenie natężenia ruchu z 800 poj./h do 2000 poj./h wiązało się z ok. 3-krotnym wzrostem sumarycznej emisji CO₂, natomiast wzrost do 4000 poj./h związany był z niemal 7-krotnym wzrostem sumarycznej emisji CO₂. Największa emisja charakteryzowała wlot na rondo od strony centrum miasta ulicą Marszałkowską (rys. 3). Związane jest to z pogorszeniem płynności ruchu i koniecznością zatrzymywania się samochodów (rys. 2).

Dlatego ważne jest, aby mając świadomość negatywnego wpływu transportu na środowisko prowadzić działania zapobiegawcze temu zjawisku. Należy do nich doskonalenie środków transportu pod kątem minimalizacji zużycia paliwa i emisji zanieczyszczeń w spalinach, mając na względzie rzeczywiste cykle jezdne. Bardzo istotne jest także modernizowanie infrastruktury drogowej, aby ruch pojazdów był w największym stopniu płynny.

LITERATURA

1. Al Alami Y.R., Application of traffic emission models to the estimation of local pollutant hotspots in South Kensington. 1st Civil and Environmental Engineering Student Conference Energy Vol. 11. Imperial College London 2012.
2. Bigazzi A., Van Lint J.W.C., Klunder G., Stelwagen U., Ligterink N., Traffic data for local emissions monitoring at a signalized intersection, 13th International IEEE Conference "Intelligent Transportation Systems (ITSC)". Madeira Island, Portugal 2010.
3. Brzeżański M.: Emisja dwutlenku węgla w aspekcie stosowanych paliw silnikowych. SILNIKI SPALINOWE, nr 4/2007 (131).
4. Csikós A., Varga I., Real-time modeling and control objective analysis of motorway emissions, Proceedings of Ewgt 2012 - 15th Meeting of the Euro Working Group on Transportation Vol. 54, 2012.
5. Chłopek Z., Polichnowski T.: Simulation researches of the pollution emission by the vehicles engines used in cities. Journal of KONES Internal Combustion Engines. No. 3-4. 2002.
6. Franco V.; Kousoulidou M., Muntean M., Ntziachristos L., Haus-berger S., Dilara P., Road vehicle emission factors development: A review, Atmos, vol.7. Environ. 2013.
7. Jaworski A., Lejda K., Mądziel M., Analiza opóźnienia ruchu drogowego dla wybranych rozwiązań odnośnie pierwszeństwa przejazdu na skrzyżowaniu typu X, Monografia pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy, Rzeszów 2016.
8. Maykut N.N., Lewtas J., Kim E., Larson T.V., Source apportionment of PM 2.5 at an urban IMPROVE site in Seattle, Washington. Environ. Sci. Technol. vol. 37, 2003.
9. Pielecha J., Merkisz J., Markowski J., Jasiński R., Magdziak A.: Wybrane zagadnienia dotyczące drogowych testów emisyjnych. AUTOBUSY 12/2016.
10. Querol X., Viana M., Alastuey, A., Amato F., Moreno T., Castillo S., Pey J., de la Rosa J., de La Campa A.S., Artíñano B., Source origin of trace elements in PM from regional background, urban and industrial sites of Spain. Atmos, vol. 41. Environ, 2007.
11. Rexeis M., Hausberger S., Trend of vehicle emission levels until 2020 – prognosis based on current vehicle measurements and future emission legislation, Atmos. Environ. 43, 2009.
12. Smit R., McBroom J., Development of a new high-resolution traffic emissions and fuel consumption model, Road Transp. Res. 18 (4), 2009.
13. Smit R., Smokers R., Rabe E., A new modelling approach for road traffic emissions: VERSIT+, Transp. Res. Part D: Transp. Environ. 12 (6), 2007.
14. Smit R., Smokers R., Shoen E., Hensema A., A new modelling approach for road traffic emissions: VERSIT+ LD – background and methodology, Report 06.ORPT.016.1/RS, The Hague. TNO Science and Industry, 2006.

STRESZCZENIE

BALAWENDER Krzysztof. Wpływ natężenia ruchu drogowego na emisję dwutlenku węgla względem wybranego dwupasmowego skrzyżowania o ruchu okrężnym / BALAWENDER Krzysztof, JAWORSKI Artur, KUSZEWSKI Hubert, LEJDA Kazimierz, MĄDZIEL Maksymilian, USTRZYCKI Adam // Wisnyk Narodowego Uniwersytetu Transportu. – K. : NTU, 2017. – № 39.

Praca przedstawia ocenę porównawczą emisji CO₂ w spalinach pojazdów samochodowych. Analizę przeprowadzono dla wybranego ronda dwupasmowego w oparciu o trzy przypadki natężenia ruchu drogowego, tj. 800 poj./h, 2000 poj./h i 4000 poj./h. Wyniki emisji dwutlenku węgla uzyskano na podstawie obliczeń z modelu emisji VERSIT+ Enviver, dla danych wejściowych z programu Vissim.

РЕФЕРАТ

БАЛАВЕНДЕР Кшиштоф. Вплив дорожнього руху на викиди діоксиду вуглецю для обраного двосмугового кругового перехрестя / БАЛАВЕНДЕР Кшиштоф, ЯВОРСКИ Артур, КУШЕВСКИ Хуберт, ЛЕЙДА Казімеж, МАДЗЕЛЬ Максиміліан, УСТІШЦЬКИ Адам // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2017. – Вип. 3 (39).

Робота являє собою порівняльну оцінку викидів CO₂ в автомобільних вихлопних газах. Аналіз був проведений для обраного двосмугового перехрестя з круговим рухом на основі трьох випадків інтенсивності руху транспортних засобів, а саме: 800 авт./год., 2000 авт./год. і 4000 авт./год.. Результати вмісту діоксиду вуглецю у відпрацьованих газах отримано на підставі обчислень з моделі викидів шкідливих речовин VERSIT+ Enviver, на основі вихідних даних з програми Vissim.

ABSTRACT

BALAWENDER Krzysztof, JAWORSKI Artur, KUSZEWSKI Hubert, LEJDA Kazimierz, MĄDZIEL Maksymilian, USTRZYCKI Adam. The impact of road traffic on carbon dioxide emission on the selected two-lane roundabout. Visnyk National Transport University. Series “Technical sciences”. Scientific and Technical Collection. – Kyiv. National Transport University, 2017. – Issue 3 (39).

The work presents a comparative assessment of CO₂ emissions in automotive exhaust gases. The analysis was carried out for the selected two-lane roundabout based on three cases of traffic, i.e. 800 veh./h, 2000 veh./h and 4000 veh./h. Carbon dioxide emissions were derived from VERSIT + Enviver emission modeling for Vissim input data.

AUTORZY:

BALAWENDER Krzysztof, dr inż., Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Al. Powstańców Warszawy 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszów, Polska

JAWORSKI Artur, dr inż., Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Al. Powstańców Warszawy 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszów, Polska

KUSZEWSKI Hubert, dr inż., Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Al. Powstańców Warszawy 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszów, Polska

LEJDA Kazimierz, Prof. dr hab. inż., Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Al. Powstańców Warszawy 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszów, Polska

MĄDZIEL Maksymilian, Mgr inż., Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Al. Powstańców Warszawy 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszów, Polska

USTRZYCKI Adam, dr inż., Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Al. Powstańców Warszawy 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszów, Polska

АВТОРИ:

БАЛАВЕНДЕР Кшиштоф, Доктор інженер, Жешовська Політехніка, Кафедра двигунів внутрішнього згорання і транспорту, Бульвар Повстанців Варшави 12, тел.: +48 17 865 1531, 35-959, Жешув, Польща

ЯВОРСКИ Артур, Доктор інженер, Жешовська Політехніка, Кафедра двигунів внутрішнього згорання і транспорту, Бульвар Повстанців Варшави 12, тел.: +48 17 865 1531, 35-959, Жешув, Польща

КУШЕВСКИ Хуберт, Доктор інженер, Жешовська Політехніка, Кафедра двигунів внутрішнього згорання і транспорту, Бульвар Повстанців Варшави 12, тел.: +48 17 865 1531, 35-959, Жешув, Польща

ЛЕЙДА Казімеж, Професор, Доктор хабілітований, Жешовська Політехніка, Кафедра двигунів внутрішнього згорання і транспорту, Бульвар Повстанців Варшави 12, тел.: +48 17 865 1531, 35-959, Жешув, Польща

МАДЗЕЛЬ Максиміліан, Магістр інженер, Жешовська Політехніка, Кафедра двигунів внутрішнього згорання і транспорту, Бульвар Повстанців Варшави 12, тел.: +48 17 865 1531, 35-959, Жешув, Польща

УСТШЦКИ Адам, Доктор інженер, Жешовська Політехніка, Кафедра двигунів внутрішнього згорання і транспорту, Бульвар Повстанців Варшави 12, тел.: +48 17 865 1531, 35-959, Жешув, Польща

AUTHOR:

BALAWENDER Krzysztof, PhD., Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, Warsaw Insurgents Boulevard 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszow, Poland

JAWORSKI Arthur, PhD., Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, Warsaw Insurgents Boulevard 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszow, Poland

KUSZEWSKI Hubert, PhD., Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, Warsaw Insurgents Boulevard 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszow, Poland

LEJDA Kazimierz, Prof. DSc, Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, Warsaw Insurgents Boulevard 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszow, Poland

MADZIEL Maksymilian, Master engineer, Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, Warsaw Insurgents Boulevard 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszow, Poland

USTRZYCKI Adam, PhD., Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, Warsaw Insurgents Boulevard 12, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszow, Poland

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Корпач А.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, професор кафедри двигунів та теплотехіки, Київ, Україна.

Добржанська М., кандидат технічних наук, Жешовська політехніка, доцент кафедри кількісних методів, Жешув, Польща.

REVIEWERS:

Korpach A.O., Ph.D in Technical Science, National Transport University, Professor of Department of Engines and Heating Engineering, Kyiv, Ukraine.

Dobrzanska M., Ph.D., Rzeszow University of Technology, Assistant Professor of Department of Quantitative Methods, Rzeszow, Poland