

Jacek Filipowicz, Piotr Filipowicz, Kinga Zaprawa

Wpływ samochodowych „niespalinowych” pyłów zawieszonych na środowisko naturalne

JEL: Q01, Q53. DOI: 10.24136/atest.2018.333.

Data zgłoszenia: 21.08.2018. Data akceptacji: 05.10.2018.

W artykule przedstawiony został problem zagrożenia środowiska naturalnego spowodowanego pyłami zawieszonymi (TSP) generowanymi przez elementy konstrukcji pojazdów samochodowych pracujących tarciowo. Przedstawiono podział i rodzaje zanieczyszczeń oraz ich szkodliwość, kryteria i uwarunkowania tworzenia się pyłów zawieszonych oraz czynników determinujących ich wielkość.

Słowa kluczowe: zrównoważony rozwój, pyły zawieszane, transport drogowy.

Wstęp

Rozwój ekonomiczny powiązany jest ściśle z potrzebą transportu lecz jego rozwój i eskalacja infrastrukturalna jest postrzegana jako jedna z głównych przyczyn pogarszającego się stanu środowiska naturalnego. W Unii Europejskiej prawie co trzecia część energii zużywana jest przez transport. Wzrost ruchu prowadzi do pogorszenia warunków bytowych społeczeństwa jak również zmniejsza wydajność systemów transportowych.

Jednym z najważniejszych obecnie skutków ubocznych działalności transportowej jest wpływ na środowisko naturalne i zanieczyszczenie atmosfery. Każdy zużyty litr paliwa i przejechany kilometr to ponad 2 kg pyłów zawieszonych i różnych związków organicznych takich jak tlenki i dwutlenki węgla, związki ołowiu, siarki i wiele innych substancji związanych w różnym stopniu z zanieczyszczeniem środowiska, pośredniego lub bezpośredniego wpływu na zdrowie czy też z problemami o skali globalnej, jak efekt cieplarniany. Uboczne produkty działalności transportowej są ogólnie traktowane jako zanieczyszczenia. Tempo ich wytwarzania dla niektórych z nich zostało zbadane dość szczegółowo i są dobrze znane, podczas gdy dla innych istnieją tylko ograniczone dane, często niewystarczające by być reprezentatywnymi dla odpowiadającej im działalności. Konsekwencją tego jest obecnie możliwość znalezienia współczynników emisji o solidnych podstawach tylko dla pewnej grupy zanieczyszczeń i pewnych kategorii pojazdów.

Ciągły wzrost usług transportowych, środków transportu, infrastruktury transportowej oraz przemysłu motoryzacyjnego narzuca coraz wyższe standardy ochrony środowiska a co za tym idzie określone zadania takie jak:

- ♦ coraz bardziej restrykcyjne standardy czystości powietrza,
- ♦ harmonizacja i standaryzacja gromadzenia danych i obróbki statystycznej na temat ruchu we wszystkich krajach członkowskich UE i innych,
- ♦ poprawa gatunków paliw i materiałów eksploatacyjnych,
- ♦ zmiany konstrukcyjne wpływające na zmniejszenie emisji tarczowej zanieczyszczeń,
- ♦ wzrost nakładów na badania w celu ulepszenia bazy danych na temat czynników emisji i działalności odpowiadającej określonej grupie pojazdów ekologicznych jak również rozszerzenia zakresu badanych zanieczyszczeń,

- ♦ dalsza działalność badawcza rozważająca modele bazujące na natychmiastowości emisji przez pojazdy oraz będących w stanie wykorzystywać dane na temat profili przyspieszenia, map emisji oraz schematów prowadzenia,
- ♦ badania w zakresie konkurencyjności przewozów poszczególnych gałęzi i środków transportu pod kątem ich wpływu na środowisko naturalne i człowieka.

1. Wpływ motoryzacji na środowisko naturalne

Wpływ motoryzacji na środowisko jest bardzo zróżnicowany z powodu różnorodności środków transportu, ich eksploatacji oraz ze względu na powiązania z gospodarką i otoczeniem.

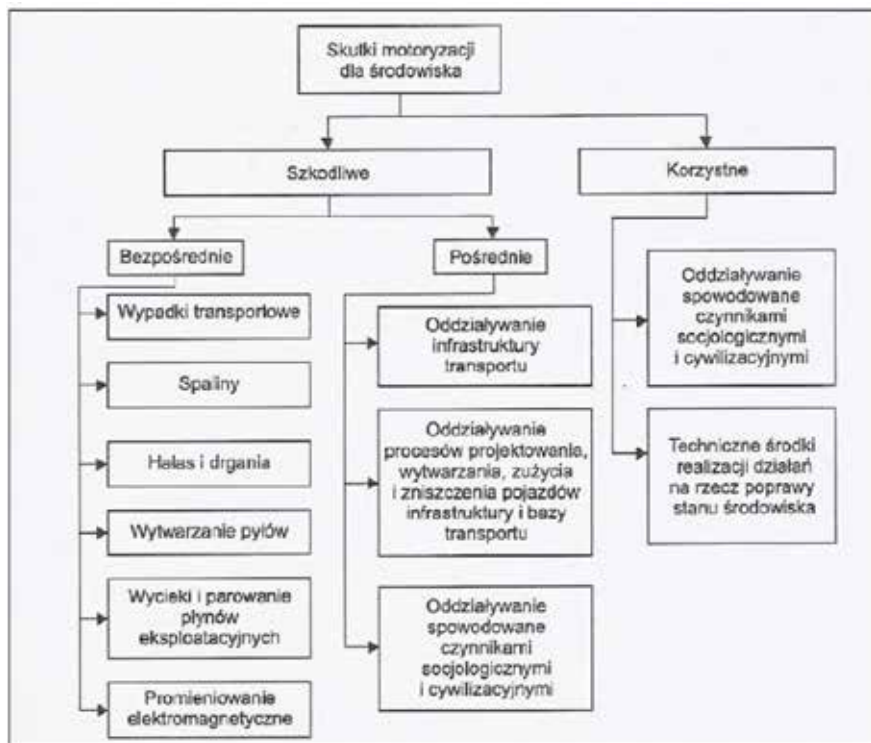
Głównymi czynnikami motoryzacji oddziaływanymi na środowisko naturalne są [4]:

- ♦ pojazdy – podstawowy podmiot oddziaływania bezpośredniego ale nie największy czynnik pogarszania stanu środowiska,
- ♦ fabryki pojazdów – oddziaływanie podobne jak innych gałęzi przemysłu, jego skala zależy od charakteru produkcji,
- ♦ fabryki materiałów eksploatacyjnych – przemysł wydobywczy i rafineryjny, szczególnie niebezpieczny podczas zaistnienia sytuacji awaryjnych (katastrofy ekologiczne),
- ♦ infrastruktura transportu – wpływ elementów liniowych i punktowych powodujących degradację krajobrazu, niszczenie i zachwianie równowagi ekosystemu, negatywny wpływ na rolnictwo, leśnictwo i turystykę, zagrożenie dla unikatowych wartości naturalnych fauny i flory oraz cywilizacyjnych,
- ♦ materiały eksploatacyjne – zagrożenie od zanieczyszczeń ropopochodnych i sztucznych zależy w znacznym stopniu od ich jakości, stanu technicznego pojazdów i ich użytkowania.

Elementami ekosystemu na które w głównej mierze skierowane jest szkodliwe oddziaływanie motoryzacji są: krajobraz, teren, powietrze, woda, gleba, rośliny, zwierzęta i ludzie. Zespół podmiotów, przedmiotów i działań, związanych z motoryzacją, które mają wpływ na środowisko naturalne, tworzy pewien system. Elementy tego systemu są w różny sposób odpowiedzialne za negatywne oddziaływanie na środowisko. Należy uznać za zasadne postawienie tezy, że dla gospodarki, związanej bezpośrednio z motoryzacją, największą odpowiedzialnością za stan środowiska można obciążyć przede wszystkim eksploatację pojazdów, a następnie zagospodarowanie odpadów pochodzących z eksploatacji i likwidacji pojazdów, oraz eksploatację infrastruktury transportu. Inne podmioty oddziaływania na środowisko są z punktu widzenia cywilizacji integralnie związane z funkcjonowaniem całej gospodarki. Związki między czynnikami szeroko rozumianej motoryzacji a zanieczyszczeniem środowiska prezentuje poniższy diagram (rys. 1).

2. Pyły zawieszane

Negatywne oddziaływanie motoryzacji na środowisko może mieć charakter bezpośredni, czego skutki odczuwalne mogą być natychmiastowo i mają ścisły związek z przyczyną lub pośredni ze skutkami następującymi często po dłuższym czasie i nie mającymi bezpośredniego powiązania z przyczyną zagrożenia.



Rys. 1. Wpływ motoryzacji na środowisko naturalne [2]

Zagrożenia te można sklasyfikować w następujący sposób:

- ♦ zdarzenia komunikacyjne,
- ♦ katastrofy ekologiczne,
- ♦ hałas i drgania,
- ♦ spaliny,
- ♦ oddziaływanie fal elektromagnetycznych
- ♦ parowanie i wycieki paliw i materiałów eksploatacyjnych,
- ♦ pyły powstałe w efekcie zużycia ciernych i pyły wzniesane.

Głównym źródłem emisji pyłów zawieszonych (TSP) w Polsce i na świecie (tab. 1) są procesy stacjonarnego spalania, z których pochodzi większość krajowej emisji. Kategoria SNAP 02 (procesy spalania poza przemysłem) ma największy udział w emisjach TSP z grupy źródeł stacjonarnych. Emisje z transportu drogowego oraz innych pojazdów i urządzeń (SNAP 07 i 08) stanowiły ok. 7% emisji krajowej TSP. Znaczna część emisji w tej kategorii pochodzi z procesów innych niż spalanie paliw (tj. ścieranie opon i okładzin hamulcowych oraz ścieranie powierzchni dróg). Emisja z pożarów lasów (SNAP 11) jako źródło naturalne nie jest zaliczana do sumy krajowej.

Pyły PM_{2,5} i PM₁₀ nie bez powodu uznaje się za najbardziej niebezpieczne składniki smogu. Ma to związek zarówno

Tab. 1. Udział istotnych sektorów emisji TSP [5]

Sektory emisji TSP	Udział procentowy
1. Transport drogowy	4,1
2. Inne pojazdy i urządzenia	2,1
3. Zagospodarowanie odpadów	3,3
4. Sektor produkcji i transformacji energii	8,8
5. Przemysł	8,7
6. Wydobycie i dystrybucja paliw	3,8
7. Rolnictwo	16,3
8. Procesy spalania poza przemysłem	44,2

z rodzajem, jak i wielkością tworzących je cząsteczek. Pyły zawieszane to mieszanina substancji organicznych i nieorganicznych, utrzymujących się w powietrzu. Często znajdują się w nich substancje toksyczne, takie jak siarka, metale ciężkie, furany i azbest. Dokładny skład pyłu zawieszonego uzależniony jest od warunków, w jakich doszło do jego powstania. Pył PM₁₀ składa się z cząsteczek o średnicy mniejszej niż 10 μm, natomiast PM_{2,5} z cząsteczek, których średnica jest mniejsza od 2,5 μm (symbol μm oznacza mikrometr, czyli jedną milionową metra). W rozumieniu, z jak mikroskopijnymi rozmiarami mamy do czynienia w przypadku pyłów zawieszonych, wskazuje poniższy rysunek (rys. 2).

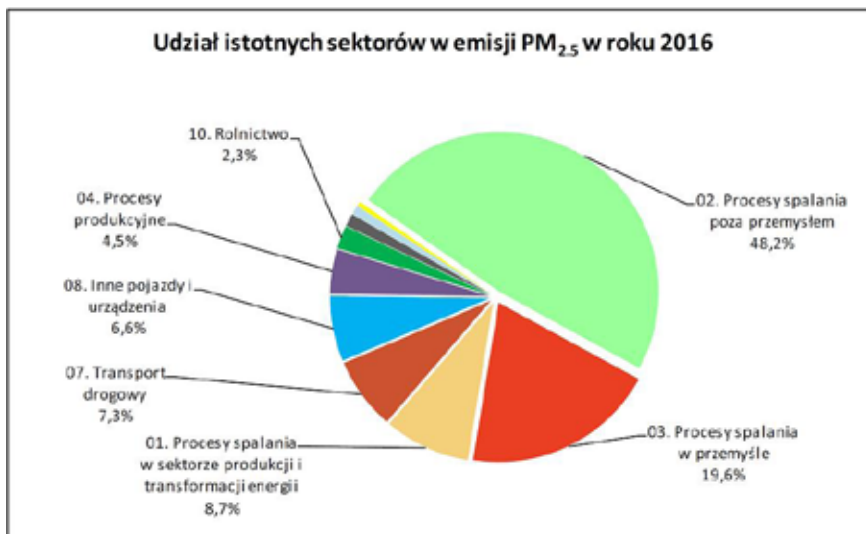
Drobne cząsteczki pyłów zawieszonych z łatwością przedostają się do górnych dróg oddechowych i oskrzeli, wprowadzając do organizmu wszystkie zawarte w nich toksyny. Pierwszymi efektami obecności pyłów są kaszel, zadyszka, zapalenie gardła oraz nasilenie objawów chorób alergicznych, takich jak katar sienny, zapalenie spojówek, egzema czy astma. Drobne frakcje pyłów przedostają się do pęcherzyków płucnych, a następnie do krwiobiegu. Ich obecność wywołuje stany

zapalne i zwiększa ryzyko wystąpienia chorób nowotworowych, zwłaszcza płuc, a także zawału. Za osoby szczególnie narażone na szkodliwy wpływ pyłów zawieszonych uznaje się:

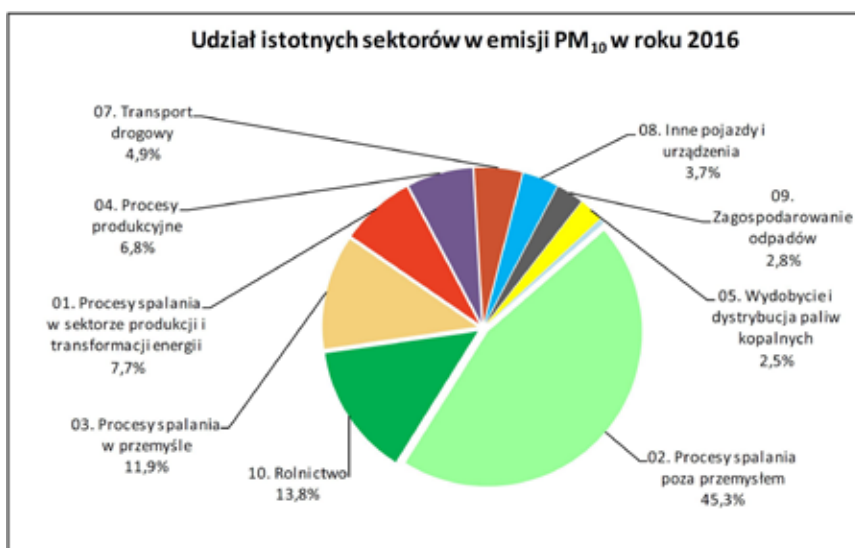
- ♦ osoby starsze, ponieważ w podeszłym wieku wzrasta zagrożenie zawałem i udarem
- ♦ dzieci, gdyż oddychają z większą częstotliwością niż dorośli i często wdychają, powietrze ustami, a ponadto ich bariery ochronne takie jak śluzówka i nabłonek nie są jeszcze w pełni ukształtowane,
- ♦ kobiety ciężarne – ekspozycja na smog może doprowadzić do przedwczesnego porodu, uszkodzenia płodu, niskiej masy urodzeniowej dziecka oraz podatności na zapalenia płuc w wieku niemowlęcym,
- ♦ ludzie aktywni fizycznie – w trakcie wysiłku fizycznego zwiększa się zapotrzebowanie na tlen, co prowadzi do wdychania jeszcze większych ilości pyłów,



Rys. 2. Rozmiar porównawczy pyłu zawieszonego [8]



Rys. 3. Udział głównych sektorów emisji pyłów zawieszonych z grupy PM_{2,5}



Rys. 4. Udział głównych sektorów emisji pyłów zawieszonych z grupy PM₁₀

♦ osoby cierpiące na schorzenia układu krążenia i układu oddechowego oraz alergie, ze względu na możliwość nasilenia objawów chorobowych [8].

Udział najbardziej istotnych sektorów emitujących pyły zawieszony z grupy PM_{2,5} i PM₁₀ w roku 2016 prezentują diagramy (rys. 3 i rys. 4) [5].

Główną przyczyną obecności pyłów zawieszonych w powietrzu jest:

- ♦ ogrzewanie domów węglem i innymi paliwami stałymi, nierzadko połączone ze spalaniem śmieci,
- ♦ transport drogowy,
- ♦ działalność zakładów przemysłowych.

3. Pyły zawieszony niezwiązany z procesem spalania

Cząstki emitowane w wyniku działalności transportu drogowego można rozróżnić na podstawie ich źródła i podzielić na dwie główne kategorie: cząstki związane z procesem pełnego i niepełnego spalania paliwa i oleju silnikowego oraz cząstki niewiązane z emisją spalania pochodzące ze źródeł związanych z procesami tarciovymi, głównie w elementach hamulcowych, sprzęgłowych

i jezdnych. Źródła te emitują zanieczyszczenia trudnodegradalne, zalegające w środowisku i w wyniku ruchów powietrza powracające do atmosfery. Cząstki zanieczyszczeń związane z procesem spalania zostały już dawno uznane za bardzo znaczące w ochronie środowiska i z tego powodu zostały dość dobrze scharakteryzowane, zdefiniowane i zbadane laboratoryjnie i testowo z możliwością szacunkowych obliczeń emisyjnych. Z drugiej strony źródła zanieczyszczeń pochodzących od mechanicznego ścierania elementów konstrukcji pojazdu i drogi jako mało zauważalne i niedokuczliwe w życiu codziennym były przez wiele lat pomijane w szacowaniu emisji i badaniach ich szkodliwości dla środowiska naturalnego i ludzi.

Źródła transportu samochodowego uznano za znaczący czynnik przyczyniający się do powstawania pyłu zawieszony, szczególnie w dużych miastach. Szacuje się, że źródła zanieczyszczeń spalinowych i pochodzących od tarcia w elementach konstrukcyjnych pojazdów przyczyniają się niemal w równym stopniu do emisji PM₁₀. Spośród źródeł tarciovych zanieczyszczeń pochodzących od zużycia elementów hamulcowych i sprzęgłowych istotnym czynnikiem jest natężenie ruchu, częstotliwość hamowania oraz krotność pracy sprzęgła. Badania wykazują, że w środowisku miejskim zużycie hamulców może przyczyniać się do 55% emisji PM₁₀ związanej z ruchem pojazdów (bez emisji spalinowej). Emisja tych zanieczyszczeń znacznie spada w ruchu pozamiejskim i na trasach szybkiego ruchu ze względu na znacznie mniejszą częstotliwość hamowania czy też używania sprzęgła.

Obecnie są stosowane dwie konstrukcje systemów hamulcowych w nowoczesnych pojazdach samochodowych: hamulce tar-

czowe, w których płaskie okładziny hamulcowe są dociskane do obracającego się metalowego dysku oraz hamulce bębnowe, w których zakrzywione szczęki hamulcowe są dociskane do wewnętrznej powierzchni obracających się cylindrycznych bębnow. Nowoczesne samochody osobowe są zwykle wyposażone w hamulce tarczowe przednie i tylne. W przeszłości powszechnie stosowane były hamulce bębnowe a później mieszane (bębnowe zwykle stosowane jako hamulce tylne). Eksploatacja wykazuje, że przednie hamulce muszą zapewniać do 70% całkowitej siły hamowania pojazdu i dlatego ze względu na szybsze zużycie okładzin muszą one być wymieniane częściej niż tylne. Okładziny hamulcowe na ogół składają się z pięciu głównych komponentów: spoiwa, włókna, wypełniaczy i dodatków ciernych. Spoiwa utrzymują razem komponenty klocka hamulcowego i zapewniają integralność strukturalną wykładziny pod wpływem naprężeń mechanicznych i termicznych. Stanowią one 20-40% materiału okładzinowego i są wykonane z modyfikowanych żywic fenolowo-formaldehydowych. Wzmacniające włókna zapewniają wytrzymałość mechaniczną. Zwykle stanowią 6-35% (masy) materiału wykładzinowego i mogą być sklasyfikowane jako metalowe,

mineralne, ceramiczne lub organiczne. Wykładziny składają się głównie z miedzi, stali, mosiądzu, tytanianu potasu, szkła, materiału organicznego i kevlaru. Przez wiele lat okładziny hamulcowe składały się z włókien azbestowych, a dziś są wolne od azbestu ze względu na szkodliwość włókien azbestowych na zdrowie ludzi i zwierząt [10].

Nie wszystkie zużyte cząstki powstające podczas hamowania zostają się w powietrzu. Znaczna część zanieczyszczeń znajduje miejsce na powierzchni drogi i poza nią lub przyciągane jest przez pojazd i zmywane w procesie mycia pojazdu lub deszczu lub usuwane strugami powietrza. Najwyższe stężenia cząstek zużycia hamulców obserwuje się w pobliżu ruchliwych skrzyżowań, światła drogowych, przejść dla pieszych i w narożnikach ulic.

Drugim znaczącym elementem procesów tarciovych w konstrukcjach pojazdów samochodowych emitującym pyły zawieszone są opony. Cząstki zużycia opon powstają w wyniku działania sił tarcia i sił ścinających między bieżnikiem a nawierzchnią drogi. W wyniku tego zjawiska powstają cząstki zużycia głównie PM10 i większe. W wyniku siła tarcia opony o nawierzchnię powstająca wysoka temperatura przyczynia się do zjawisk termomechanicznych powodujących odparowywanie lotnych frakcji opony. Szacunkowe obliczenia wykazują, że 10 do 30% cząstek zużycia bieżnika opony dostaje się do środowiska naturalnego w postaci lotnych pyłów zawieszonych [10].

Współczynnik zużycia opon i wielkość emisji pyłów zawieszonych w wyniku tego procesu uzależniony jest od wielu parametrów konstrukcyjnych, eksploatacyjnych i użytkowych pojazdów samochodowych takich jak:

- ♦ charakterystyka opony – wymiary, bieżnik, konstrukcja, ciśnienie, temperatura pracy, kontakt z podłożem, przebieg, skład chemiczny, itp.
- ♦ charakterystyka pojazdu – waga, rozkład obciążeń, rozkład kół, siła napędowa, systemy sterowania pojazdem, zawieszenie, stan utrzymania,
- ♦ cechy nawierzchni – budowa, stan utrzymania, wilgotność,
- ♦ użytkowanie pojazdu – prędkość, przyspieszanie, hamowanie, pokonywanie zakrętów, itp.

Podsumowanie

Wpływ emisji pyłów zawieszonych pochodzących od środków transportu ale niezwiązanych z emisją spalin przez silniki spalinowe jest zauważalny przez środowiska naukowe ale mało zbadany. Pomiary przysparzają wiele trudności oraz brak jest standardowych procedur pomiarowych. Wielkość ogólna pyłów zawieszonych TSP jest znana, znacznie trudniej natomiast jest przyporządkować ich wartości do poszczególnych sektorów emisyjnych. Istnieje duża liczba zmiennych parametrów, które wpływają na zużycia tarciovych i wielkość emisji szkodliwych cząstek TSP. Zarówno emisja zanieczyszczeń od zużycia opon, nawierzchni, okładzin hamulcowych czy sprzęgłowych podlega podobnym uwarunkowaniom eksploatacyjnym, przytoczonym w artykule, trudnym do oszacowania i przyczyniającym się do emisji PM2,5, PM10 oraz większych.

Bibliografia:

1. Abramek K. F., *Recykling niektórych części pojazdów samochodowych*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2008, nr 12.
2. Chłopek Z., *Ekologiczne aspekty motoryzacji i bezpieczeństwa ruchu drogowego*, Politechnika Warszawska, 2012.
3. Dyr. T., *Europejska strategia w zakresie paliw alternatywnych*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2013, nr 11.
4. Filipowicz J., Filipowicz P., Zaprawa K., *Emisja zanieczyszczeń spalinowych przez autobusy komunikacji miejskiej*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2017, nr 6.
5. *Krajowy bilans emisji SO2, NOX, CO, NH3, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 2015–2016*, KOBIZE, Warszawa 2018
6. Kuranc A., *Emisja szkodliwych składników spalin w badaniach kontrolnych wybranej populacji pojazdów samochodowych*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2011, nr 10.
7. Mysłowski J., *Możliwości zmniejszenia skażenia środowiska w Szczecinie*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2006, nr 4.
8. *Pyły zawieszone PM2,5, PM10* – Ranking oczyszczaczy powietrza.pl
9. Trojanowska M., Świetlik R., *Ocena narażenia mieszkańców miast na metale ciężkie obecne w pyłach ulicznych*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 12.
10. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4315878/

Influence of automatic „non-small” dust powmunnes on the natural environment

The article presents the problem of the threat to the natural environment caused by the emission of harmful suspended dusts (TSP) emitted by non-rock components of the construction of friction sweeping vehicles. Presented is the division and types of pollutants emitted to the atmosphere as well as harmfulness, criteria and conditions of emissions of non-victorious suspended particles and aspects determining their size.

Keywords: sustainable development, suspended particulates, road transport.

Autorzy:

dr inż. **Jacek Filipowicz** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki

Piotr Filipowicz – Wyższa Szkoła Społeczno-Przyrodnicza w Lublinie, Wydział Nauk o Zdrowiu WSSP

Kinga Zaprawa – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydziału Nauki o Zdrowiu i Kultury Fizycznej