

*kpt. mgr inż. Dominika Gancarczyk*

*kpt. mgr inż. Jakub Jakubiec*

*st. bryg. dr inż. Mirosław Sobolewski*

Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

## **Wpływ rodzaju sorbentu na skuteczność usuwania zanieczyszczeń olejowych z powierzchni dróg**

### **Streszczenie**

Usuwanie rozlewisk cieczy ropopochodnych z powierzchni utwardzonych, akwenów i cieków wodnych należy do obowiązków Państwowej Straży Pożarnej (PSP) oraz innych służb. Do zbierania dużych ilości rozlanego paliwa stosuje się specjalistyczny sprzęt odpompowujący, w tym pompy i skimmery olejowe. Doczyszczanie jezdni po odpompowaniu cieczy, zbieranie plam olejowych czy niewielkich wycieków płynów eksploatacyjnych prowadzi się przy użyciu różnego typu sorbentów.

Warunki techniczno-użytkowe, jakie muszą spełniać sorbenty stosowane przez jednostki ochrony przeciwpożarowej określają między innymi wymagania w zakresie chłonności, pływalności (dla sorbentów stosowanych na wodzie), reaktywności, uziarnienia, gęstości nasypowej. Nie przedstawia się natomiast wymagań dotyczących stopnia przywrócenia szorstkości jezdni przez zastosowany sorbent.

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu zastosowanych sorbentów na współczynnik tarcia na zaolejonych powierzchniach. Współczynnik tarcia statycznego wyznaczano poprzez pomiar kąta nachylenia powierzchni płaskiej, przy którym następuje zsuwanie próbника o określonej masie. Zastosowano powierzchnię betonową pokrytą olejem napędowym oraz próbnik z powierzchnią gumową.

**Słowa kluczowe:** sorbent, zanieczyszczenia olejowe, współczynnik tarcia

## **Effect of Sorbent Type on Efficiency of Oil Pollution Removal from Road Surface**

### **Abstract**

Removal of oil spills from roads, water bodies and watercourses is the responsibility of the State Fire Service and other services. To collect large amounts of

spilled fuel, the specialized equipment, including oil pumps and skimmers, is used. Cleaning the road after pumping out the liquid, oil-spot collection or small fluid leak are carried out using various types of sorbents.

The sorbents used by Fire Rescue Services must meet technical and utility requirements for, inter alia absorbency, buoyancy (for sorbents used in water), reactivity, particle size and bulk density. However the requirements for the degree of restoration of the roughness of the road by the used sorbent have not been described.

This article presents the results of the research concerning the sorbents effect on the coefficient of friction on oily surfaces. The coefficient of a static friction was determined by measuring the angle of inclination of the surface at which the specific mass probe slipped. Concrete plate covered with the diesel fuel and the probe with rubber surface have been used.

**Keywords:** sorbent, oil spills, coefficient of friction

## WSTĘP

Działania ratownicze prowadzone przez jednostki interwencyjne PSP na drogach obejmują głównie usuwanie skutków kolizji i wypadków drogowych. Bardzo często następstwem tych zdarzeń jest wyciek płynów eksploatacyjnych z uszkodzonych pojazdów. Usuwanie wycieków tych substancji należy do podstawowych obowiązków PSP i innych służb. W 2015 r. wyjazdy tego typu stanowiły ok. 5% wszystkich działań podejmowanych przez PSP [8]. Wyciek paliwa węglowodorowego powoduje śliskość nawierzchni, która może być przyczyną wypadków komunikacyjnych i dalszego skażenia środowiska. Przykładem jest wypadek na drodze krajowej nr 1 w Czechowicach-Dziedzicach we wrześniu 2016 r., gdy samochody dojeżdżające do sygnalizacji świetlnej, wjeżdżając na plamę olejową traciły przyczepność i wpadały w poślizg. W zdarzeniu wzięło udział 10 samochodów [5].

Dużym wyzwaniem dla zastępów PSP jest usuwanie plam cieczy węglowodorowych o długości od kilkuset metrów do nawet kilku kilometrów. Priorytetem podczas tego typu działań jest przywrócenie szorstkości nawierzchni. Wiąże się to z użyciem dużych ilości sorbentów, dlatego też w wielu przypadkach do tego typu zdarzeń, oprócz profesjonalnego sorbentu, stosowane są również zastępcze materiały sorpcyjne, takie jak piasek lub trociny.

Sorbenty stosowane przez jednostki ochrony przeciwpożarowej należą do wyrobów objętych Rozporządzeniem MSWiA z 27 kwietnia 2010 r. w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia, życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania. Warunki techniczno-użytkowe, jakie powinny spełniać sorbenty określają wymagania dotyczące minimalnej zdolności sorpcyjnej, uziarnienia, reaktywności, pływalności czy gęstości nasypowej [10]. Nie przedstawia się natomiast żadnych wymagań dotyczących stopnia przywrócenia szorstkości jezdni przez zastosowany sorbent [11]. W Zakładzie Środków Gaśniczych i Neutralizujących Szkoły Głównej Służby Pożarniczej podjęto więc próbę zbadania wpływu rodzaju użytego sorbetu na współczynnik tarcia na zaolejonej powierzchni.

Efekt zastosowania sorbentów na współczynnik tarcia zaolejonej powierzchni pozwalają ocenić na przykład procedury opisane we francuskiej normie AFNOR NF P98-190:2002 [1]. Do badań szorstkości jezdni wykorzystywane jest tak zwane wahadło angielskie. Pomiary wykonuje się najpierw dla powierzchni pokrytej olejem napędowym, a następnie na powierzchni po zastosowaniu sorbentu. Nie prowadzi się badań po usunięciu nasyconego sorbentu. Minimalna wymagana wartość współczynnika tarcia zaolejonej nawierzchni posypanej sorbentem powinna być większa bądź równa 0,90 wartości współczynnika tarcia dla czystej nawierzchni. Dopuszczalne jest więc zmniejszenie współczynnika tarcia maksymalnie o 10%. [2].

Inne procedury badania opisującego wpływ stosowanych sorbentów na szorstkość nawierzchni przedstawione zostały w norweskiej normie DD CEN/TS 15366:2009 [4]. Wprowadzono w niej klasyfikację sorbentów, w zależności od stopnia przywrócenia szorstkości jezdni – jeśli współczynnik szorstkości jezdni po zastosowaniu sorbentu jest większy bądź równy 80% początkowego współczynnika tarcia, sorbent zaliczamy do II klasy, jeżeli natomiast jest większy bądź równy 90% – zaliczamy go do I klasy. Przewiduje się również badanie współczynnika tarcia powierzchni po zebraniu wycieku oleju napędowego sorbentem. Dla obydwóch klas dopuszczalne zmniejszenie współczynnika tarcia wynosi co najwyżej 15%. [9].

Badania współczynnika tarcia zanieczyszczonej powierzchni w rzeczywistej skali zostały przedstawione w raporcie z projektu *Friction test on contaminated road surfaces* brytyjskiego laboratorium Transport Research Laboratory. Testy przeprowadzono dla nawierzchni asfaltowej i nawierzchni

betonowej pokrytej przepalonym olejem silnikowym, olejem napędowym oraz błotem. Współczynnik tarcia badany był za pomocą dwóch pojazdów poślizgowych oraz testera szorstkości nawierzchni drogi. Do zebrania plamy olejowej użyto piasku i sorbentu mineralnego. Współczynnik tarcia zaolejonej powierzchni zmniejszył się dwukrotnie zarówno dla powierzchni asfaltowej, jak i betonowej. Zastosowanie piasku do zabezpieczenia wycieku nie przywróciło szorstkości jezdni. Sorbent mineralny pozwolił na zwiększenie współczynnika tarcia, jednakże dopiero zebranie użytego sorbentu z wchłoniętą cieczą pozwoliło na całkowite przywrócenie szorstkości nawierzchni [6].

## 1. WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA

### 1.1. Metodyka badań

Tarcie to między innymi zjawisko powstawania oporów podczas ruchu dwóch stykających się ze sobą ciał. Wraz ze wzrostem siły dążącej do wprawienia ciała w ruch  $F_N$ , rośnie także siła tarcia  $F_T$ , aż do uzyskania maksymalnej wartości  $F_{TS}$  przy, której ciało zacznie się poruszać. Współczynnik tarcia statycznego określany jest przez maksymalną wartość siły tarcia statycznego  $F_{TS}$ . Opisuje to zależność (1):

$$\mu_s = \frac{F_{TS}}{F_N} \quad (1)$$

gdzie:

$\mu_s$  – współczynnik tarcia statycznego,

$F_{TS}$  – maksymalna wartość siły tarcia,

$F_N$  – siła nacisku.

Stanowisko badawcze do pomiaru wpływu zastosowanych sorbentów na współczynnik tarcia wykorzystuje metodę wyznaczenia najmniejszego nachylenia kąta płaszczyzny, dla którego ciało zaczyna się zsuwać [3]. Dla tak wyznaczonego kąta siła tarcia  $F_T$  osiąga wartość maksymalną  $F_{TS}$ , a współczynnik tarcia jest równy [10]:

$$\mu_s = \frac{F_{TS}}{F_N} = \operatorname{tg}\alpha \quad (2)$$

gdzie:

$\alpha$  – najmniejszy kąt nachylenia równi, przy którym próbnik zaczyna się zsuwać.

Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 1. Pomiary przeprowadzono dla powierzchni betonowej, po której zsuwany był próbnik z bieżnikiem opony samochodowej o masie 9 kg. Do podnoszenia równi zastosowano pręt gwintowany, który umożliwił stopniowe i precyzyjne unoszenie płyty badawczej. Przed każdą próbą pochylnia była opuszczana oraz dokładnie czyszczona i zamiatana. Próbnik układano w tym samym miejscu na pochylni, następnie za pomocą drążka podnoszono pochylnię aż do momentu zsunęcia kostki. Dla tak ustalonego kąta nachylenia równi mierzono długość boku przyprostokątnego. Długość boku przeciwprostokątnej dla wszystkich prób była stała i wynosiła 375 mm. Kąt tarcia  $\alpha$  wyznaczano z zależności:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{a}{c}\right) \quad (3)$$

gdzie:

$\alpha$  – kąt przy którym próbnik zsuwa się z pochylni,

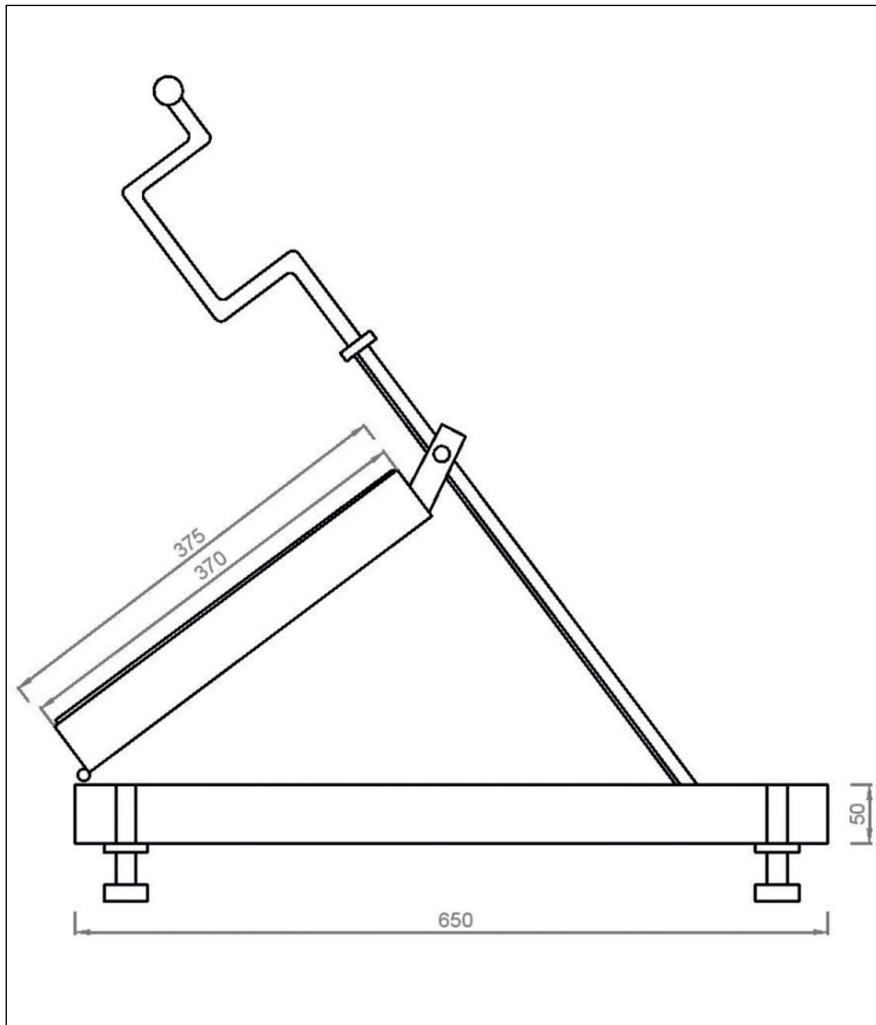
$a$  – bok przyprostokątny wyznaczony w badaniach,

$c$  – bok przeciwprostokątny wynoszący 375 mm.

Współczynnik tarcia wyznaczony został najpierw dla suchej powierzchni betonowej oraz dla powierzchni pokrytej olejem napędowym. Następnie zaolejoną powierzchnię posypywano sorbentem i przemieszczano szczotką. Sorbenty mineralne pod wpływem ciężaru, kruszą się, dzięki czemu dokładnie doczyszczają powierzchnie oraz zwiększają szorstkość jezdni. Współczynnik tarcia wyznaczony został zarówno dla powierzchni świeżo posypanej sorbentem, jak również dla powierzchni z sorbentem „rozjeżdżonym”. Ostatnim punktem było całkowite zebranie sorbentu z wchłoniętą cieczą. Dla każdego etapu wykonano po trzy pomiary współczynnika tarcia, a następnie uśredniono wynik. Współczynnik tarcia obliczany był na podstawie zależności (1).

Do badań wytypowano dwa sorbenty o różnej granulacji, posiadające świadectwo dopuszczenia do użytkowania: Compact i ECO DRY COM

oraz dwa zastępcze materiały sorpcyjne: suchy piasek o średnicy ziaren do 1 mm i trociny sosnowe (miejsce pozyskania – tartak w Przewrotnym, woj. podkarpackie). W tabeli 1 przedstawiono podstawowe własności zastosowanych sorbentów.



**Rys. 1.** Schemat stanowiska badawczego służącego do pomiaru współczynnika tarcia

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 1. Własności badanych sorbentów i materiałów zastępczych

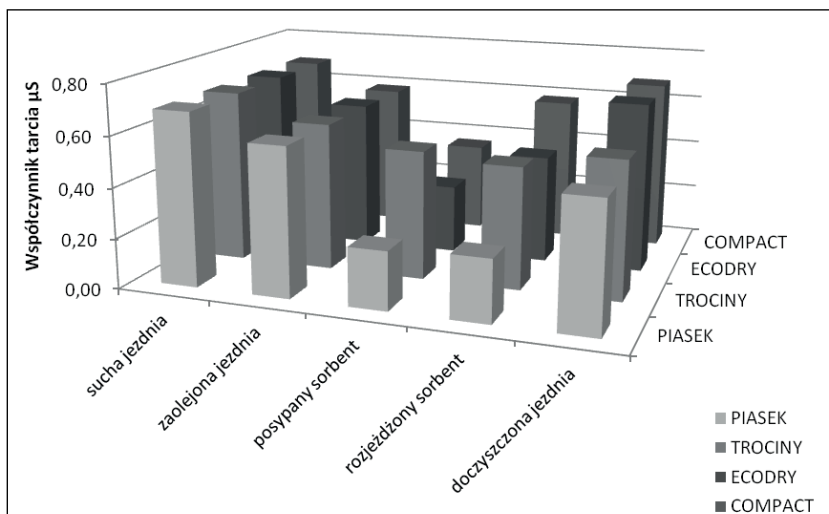
Lp.	Nazwa handlowa	Producent	Zdolność sorpcyjna	Uziarnienie	Gęstość nasypowa
1.	Compact	Sintac	117%	0,3–0,7 mm	0,532 kg/l
2.	ECO DRY COM	REO AMOS	67%	1,0–3,0 mm	0,512 kg/l
3.	piasek	–	10%	ok. 1 mm	1,56 kg/l
4.	trociny	–	352%	0,6–3,8 mm	0,16 kg/l

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [6, 7] oraz badań własnych

### 1.2. Wyniki badań

Wpływ zastosowanych sorbentów na współczynnik tarcia na zaolejonej powierzchni przedstawiono na rys. 2. Spośród badanych materiałów najniższą zdolność sorpcyjną wyznaczoną metodą Westinghousa posiada piasek. Związane jest to z budową ziarenek piasku, które nie mają struktury porowatej, a zbierana ciecz jest tylko adsorbowana na powierzchni. Tak niska zdolność sorpcyjna ma przełożenie na realne działania ratownicze. Stosując zastępczy materiał sorpcyjny jakim jest piasek do usunięcia plamy olejowej należy zabezpieczyć duże ilości materiału ale również przewidzieć powstanie dużych ilości odpadu, który po zebraniu z jezdni należy oddać do utylizacji.

Zgodnie z przewidywaniami plama oleju napędowego spowodowała obniżenie współczynnika tarcia nawierzchni. Posypanie rozlewiska sorbentem nie przywróciło jednak szorstkości powierzchni. Współczynniki tarcia dla zaolejonej powierzchni posypanej sorbentem są prawie dwukrotnie mniejsze od współczynników tarcia dla powierzchni pokrytej paliwem, można wytłumaczyć to tym, że ziarenka sorbentu działają jak łożysko powodując szybsze zsuwanie próbnika. Taką zależność zaobserwowano zarówno dla dwóch badanych sorbentów oraz piasku. Zastosowanie trocin do usunięcia plamy olejowej nie spowodowało znacznego obniżenia współczynnika tarcia, który utrzymywał się na podobnym poziomie dla wszystkich badanych wariantów. Rozkruszenie sorbentu przez bieżnik opony samochodowej spowodowało zwiększenie szorstkości powierzchni.



**Rys. 2.** Wpływ zastosowanych sorbentów na współczynnik tarcia na zaolejonej powierzchni betonowej

Źródło: Opracowanie własne

Najlepszy efekt przywrócenia szorstkości jezdni został uzyskany po całkowitym sprzątnięciu sorbentu z wchłoniętą cieczą. Zastosowanie profesjonalnych sorbentów pozwoliło na dokładne doczyszczenie powierzchni z rozlanej cieczy (powierzchnia była sucha) oraz przywrócenie pierwotnego współczynnika tarcia. Zastępcze materiały sorpcyjne, zwłaszcza piasek nie uzyskały podobnego efektu. Do zebrania podobnej plamy olejowej potrzebne było użycie ponad dwukrotnie większej ilości piasku, a powierzchnia po zebraniu paliwa nadal pozostawała mokra.

Wyniki badań wskazują, że lepsze zdolności do usuwania śliskości jezdni mają sorbenty o mniejszej granulacji. Spośród badanych materiałów najlepsze zdolności przywracania współczynnika tarcia wykazał sorbent mineralny Compact, a najgorsze piasek.

W tabeli 2 zestawiono wyniki współczynnika tarcia suchej nawierzchni oraz zaolejonej nawierzchni posypanej sorbentem oraz poddano ocenie wpływ zastosowanego materiału sorpcyjnego na współczynnik tarcia powierzchni. Do oceny przywracania szorstkości jezdni posypanej sorbentem bez zebrania nasyconego sorbentu zdecydowano na zastosowanie wymagań francuskiej normy AFNOR NF P98-190:2002 [1], chociaż opisywane badania współczynnika tarcia przeprowadzono inną metodą niż normatywna.



**Tabela 2.** Współczynnik tarcia suchej nawierzchni oraz zaolejonej powierzchni zabezpieczonej sorbentem

Material	Współczynnik tarcia suchej nawierzchni ( $\mu_{S1}$ )	Współczynnik tarcia nawierzchni po zastosowaniu sorbentu ( $\mu_{S2}$ )	Współczynnik tarcia nawierzchni po zebraniu sorbentu ( $\mu_{S3}$ )	$\mu_{S2} / \mu_{S1}$	$\mu_{S3} / \mu_{S1}$
COMPACT	0,69	0,58	0,68	0,84	0,99
ECO DRY		0,43	0,68	0,62	0,99
PIACH		0,25	0,51	0,36	0,74
TROCINY		0,49	0,55	0,71	0,80

Źródło: Opracowanie własne

Żaden z badanych materiałów sorpcyjnych nie spełnił założonych wymagań, zakładających dopuszczalne zmniejszenie współczynnika tarcia o 10% ( $\mu_{S2}/\mu_{S1} \geq 0,9$ ). Sorbent mineralny o drobnej granulacji COMPACT przywrócił ponad 80% pierwotnego współczynnika tarcia. Najgorsze własności przywracania szorstkości jezdni wykazuje zastępczy materiał sorpcyjny, piasek wartość  $\mu_{S2}/\mu_{S1}$  jest ponad 2-krotnie niższa od wymaganej.

Oceniając zdolność przywracania współczynnika tarcia po zebraniu oleju sorbentem, wykorzystano wymagania norweskiej normy DD CEN/TS 15366:2009 [4]. Z badanych materiałów sorpcyjnych tylko sorbent Compact spełnił wymagania dla II klasy, przywrócenie co najmniej 80% współczynnika tarcia dla powierzchni posypanej sorbentem oraz przywrócenie co najmniej 85% współczynnika tarcia jezdni po usunięciu plamy olejowej i sorbentu.

Należy podkreślić, że często stosowane w praktyce piasek i trociny nie spełniły wymagań cytowanych norm.

#### PODSUMOWANIE

Wymagania techniczno-użytkowe [10] podają szereg wymagań, jakie powinny spełniać sorbenty stosowane przez jednostki ochrony przeciwpożarowej, w tym minimalną zdolność sorpcyjną wyznaczoną metodą Westinghouse.

Wymagania stawiane sorbentom nie uwzględniają jednak problemu przywracania szorstkości jezdni.

Otrzymane wyniki badań potwierdziły słabe zdolności przywracania szorstkości jezdni w przypadku zastosowania piasku. Jezdnia po zebraniu piasku z paliwem nadal była zanieczyszczona. Pozostawienie rozsypanego sorbentu na jezdni również nie pozwoliło na uzyskanie zadowalających wyników poprawy przyczepności nawierzchni. Przywrócenie pierwotnego współczynnika tarcia i dokładne doczyszczenie powierzchni zostało uzyskane dopiero po zebraniu sorbentu z wchłoniętą cieczą. Na przywrócenie szorstkości jezdni miało wpływ również uziarnienie zastosowanego sorbentu – lepsze zdolności zaobserwowano dla sorbentu o drobnej granulacji.

Wprowadzenie w Polsce do zakresu wymagań dla sorbentów także ich zdolności do przywracania współczynnika tarcia na zaolejonych powierzchniach pozwoliłoby na lepszy dobór materiałów do takich zastosowań. Do oceny zdolności do przywracania szorstkości jezdni przez sorbenty można by zastosować na przykład wymagania przedstawione w cytowanych normach francuskich i norweskich.

#### LITERATURA

- [1] AFNOR NF P98-190:2002, Matériels et produits d'entretien routier – Produits absorbants destinés à un usage routier – Spécifications.
- [2] Bullas J. C., Doxford J., Hupton P., A study of measurement methods for diesel sorbent performance, and the components of road user delay associated with diesel spills on the UK Strategic Road Network (SRN), Materiały konferencyjne STAR Conference 2014 w Londynie.
- [3] Chudzik A. Stanowisko do badania wpływu sorbentów na współczynnik tarcia na zaolejonych powierzchniach. Praca inżynierska, Warszawa 2016.
- [4] DD CEN/TS 15366:2009, Annex D Part 1 Wet Friction of Contaminated Sorbent, Part 2 Wet Friction of Surface After Removal of Contaminated Sorbent.
- [5] [http://wiadomosci.gazeta.pl/wiadomosci/1,114873,7118021,Karambol\\_na\\_jedynce\\_zderzylo\\_sie\\_10\\_samochodow.html](http://wiadomosci.gazeta.pl/wiadomosci/1,114873,7118021,Karambol_na_jedynce_zderzylo_sie_10_samochodow.html) 01.09.2016 r.
- [6] Lambourn R. F., Viner H. E., PPR073 – Friction tests on contaminated road surfaces. Transport Research Laboratory, Project Report PPR073, Crowthorne, UK 2006.

- [7] Materiał Firmowy REO AMOS; <http://www.reoamos.pl/sorbenty/> (dostęp 01.09.2016 r.).
- [8] Materiał Firmowy Sintac Polska; <http://www.sintac.pl/oferta.php> (dostęp 01.09.2016 r.).
- [9] Meitei B., Keigan M. et. al. (2010). PPR509 – Review of diesel spillage clean-up procedures. Transport Research Laboratory, Project Report PPR509, Crowthorne, UK 2010.
- [10] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 27 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia, życia oraz mienia, a także zasady wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (DzU, nr 85, poz. 553).
- [11] Sobolewski M., Charakterystyka sorbentów stosowanych w działaniach ratowniczych – materiały dydaktyczne, Szkoła Główna Służby Pożarniczej Warszawa 2015.
- [12] Statystyki KG PSP 2015 r.; [www.straz.gov.pl/download/2211.xlsx](http://www.straz.gov.pl/download/2211.xlsx) (dostęp 01.09.2016 r.).
- [13] Wyznaczanie statycznego i kinetycznego współczynnika tarcia przy pomocy równi pochyłej, Uniwersytet Jagielloński, [www.if.uj.edu.pl/documents/41628/.../PF12-Tarcie\\_statyczne\\_dynamiczne.pdf](http://www.if.uj.edu.pl/documents/41628/.../PF12-Tarcie_statyczne_dynamiczne.pdf) (dostęp 01.09.2016 r.).