

Tomasz Ciesielczuk , Czesława Rosik-Dulewska , Mateusz Górski

**DEGRADACJA OLEJU SILNIKOWEGO
NA KOMPOSTACH Z ODPADÓW
I SORBENTACH KOMERCYJNYCH
W WARUNKACH EKSPERYMENTALNYCH**

***DEGRADATION OF MOTOR OIL ON MUNICIPAL SOLID
WASTE COMPOSTS AND COMMERCIAL SORBENTS
IN LABORATORY EXPERIMENT***

Streszczenie

Zużyte sorbenty organiczne i mineralne stanowią odpad niebezpieczny, a w związku z tym, zgodnie z obowiązującymi przepisami muszą zostać przekształcone termicznie, lub zdeponowane na składowisku odpadów niebezpiecznych. Optymalnym rozwiązaniem byłoby zastosowanie materiałów sorpcyjnych, które mogłyby być używane kilkakrotnie bez konieczności kosztownego i kłopotliwego unieszkodliwiania. Takie wymagania mogą spełniać komposty z odpadów. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań tempa rozkładu oleju silnikowego na kompostach z odpadów z mikroflorą wstępnie zaadaptowaną do rozkładu substancji ropopochodnych. Do badań porównawczych zastosowano sorbenty stosowane komercyjnie. W trakcie eksperymentu badano zmiany ogólnej ilości syntetycznego oleju silnikowego oraz pojedynczych n-alkanów o długości łańcucha węglowego C22-C40. Zaobserwowano, że wraz z upływem czasu rozkład oleju intensywniej zachodził na kompostach z odpadów, w porównaniu do sorbentów komercyjnych. Mikroflora wykorzystująca węglowodory łańcuchowe jako źródło węgla zapewniła szybką (zanotowaną już po pierwszym miesiącu eksperymentu) redukcję węglowodorów w próbkach, tym samym pojawiła się możliwość powtórnego wykorzystania kompostu jako sorbentu. Zaobserwowany szybki proces degradacji wskazuje na kierunek odzysku kompostu z odpadów, użytego wcześniej jako sorbentu do usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych (oleju silnikowego). Niewątpliwie jest to sposób tańszy od termicznego unieszkodliwiania, czy składowania.

Słowa kluczowe: olej silnikowy, biodegradacja, kompost

Summary

Most of used mineral and organic sorbents are hazardous waste and, therefore, in accordance with actual law regulations must be converted thermally or deposited in the special landfill for hazardous waste. The optimal solution would be sorption materials that could be used repeatedly, without the need for costly and cumbersome landfilling. Sorbents, which due to their properties could be used repeatedly, are MSW composts generated from mixed or only organic municipal waste. In this study we have investigated the rate of degradation of motor oil on MSW waste composts with microflora pre-adapted for use of oil products as source of carbon. Comparison of degradation efficiency, was calculated in comparison to the commercial sorbents. During the experiment the total amount of synthetic motor oil and individual n-alkanes with carbon chain length from C22 to C40. During the experiment, there were observed more intensive oil degradation processes on waste composts in comparison to commercial sorbents. Microflora which use n-alkanes as a carbon source, ensured quick (noted after the first month of the experiment), reduction of the amount of hydrocarbons contamination in the samples, and thus the possibility of re-use of compost as a sorbent. The observed rapid degradation process, indicates the direction of the recovery of compost waste, used previously as a sorbent for the removal of petroleum contaminants (motor oil). Undoubtedly, this is a cheaper way than the thermal incineration or storage.

Key words: motor oil, biodegradation, compost

WSTĘP

W obecnych czasach w dużych ilościach wykorzystuje się produkty destylacji ropy naftowej, stosując je głównie jako paliwa do silników spalinowych, czy półprodukty do syntezy wielu związków wykorzystywanych w życiu codziennym. Spowodowało to wzrastające zagrożenie zanieczyszczenia środowiska naturalnego produktami ropopochodnymi. Zanieczyszczenia środowiska gruntowo – wodnego nie są tak spektakularne jak środowiska wód powierzchniowych i mają często wymiar punktowy - lokalny [Zabłocka-Godlewska , Przystaś 2006]. Do takich zanieczyszczeń dochodzi często na stacjach benzynowych, bocznicach kolejowych i stacjach przeładunkowych paliw, a także w wyniku incydentalnych kolizji w ruchu lądowym, powodujących nie tylko emisję LZO (głównie benzenu), do powietrza, ale także przenikanie cięższych produktów ropopochodnych do wód i gleb [Żak , Koniecznyński 2008]. Płyny eksploatacyjne (paliwa, oleje smarowe, płyny hydrauliczne) wydostające się poza szczelne układy urządzeń mechanicznych, stanowią nie tylko bezpośrednie zagrożenie zdrowia ludzi, ale także dla środowiska [Day i wsp. 2001]. Zanieczyszczenia te

będące wynikiem działalności gospodarczej człowieka długotrwale degradują środowisko, wywierając tym samym ujemny wpływ na organizmy żywe, co może znacznie ograniczać bioróżnorodność na zanieczyszczonym terenie [Małachowska-Jutsz , Miksch 2004]. Szczególnie niebezpieczne są katastrofy w ruchu lądowym oraz morskim, powodujące znacznych rozmiarów zanieczyszczenie punktowe oraz obszarowe mające negatywne oddziaływanie nie tylko na ekosystemy, ale także na procesy gospodarcze w szerokiej skali [Gawdzik , Gawdzik 2011, Małachowska-Jutsz , Miksch 2004]. W celu eliminacji związków organicznych (węglowodorów ale także alkoholi) rozproszonych w fazie wodnej, szeroko rozpowszechnione jest oczyszczanie metodami mikrobiologicznymi, natlenianie, fitoremediacja lub przepłukiwanie zanieczyszczonych gleb detergentami [Ciesielczuk i wsp. 2006, Dzirba 2010, Kaczyńska , Kiepuski 2007, Kaszycki i wsp. 2002, Kołwzan 2002, Lee , Kang 2005, Małachowska-Jutsz i wsp. 2011, Przybulewska , Wieczorek 2009, Zdenkowski , Rybka 1999]. Procesy remediacji są zależne od wielu czynników wśród których decydującą rolę odgrywają warunki klimatyczne [van Stempvoort , Biggar 2008]. Jednak szczególnie nacisk powinien być kładziony na zapobieganie rozprzestrzenianiu się tych zanieczyszczeń tylko przez bariery hydrauliczne i fizyczne, ale także za pomocą sorbentów, uniemożliwiając ich dalszą migrację. Sorbenty stosowane są głównie w przypadku incydentalnych rozlewów materiałów pędnych i smarów w warsztatach mechanicznych oraz podczas akcji ratowniczych prowadzonych w czasie usuwania skutków katastrof w ruchu lądowym. Jako materiały sorpcyjne wykorzystuje się najczęściej materiały syntetyczne (polimery w postaci mat sorpcyjnych) lub naturalne (mineralne i organiczne). Badano prowadzono także wykorzystując osady ściekowe jako sorbent oleju napędowego [Hupka i wsp. 2004]. Alternatywnym rozwiązaniem dla drogich sorbentów komercyjnych, może być zastosowanie kompostów z odpadów, które ze względu na swój skład łączą zalety sorbentów organicznych i mineralnych [Kyzioł-Komosińska i wsp. 2011]. Ponadto, są znacznie tańsze, a po ich wykorzystaniu istnieje możliwość powtórnego użycia, po regeneracji, prowadzonej na drodze mikrobiologicznej. Zużyte sorbenty należy traktować jako odpady niebezpieczne, które należy unieszkodliwiać poprzez składowanie na składowiskach odpadów niebezpiecznych lub przekształcanie termiczne. Oba sposoby unieszkodliwiania są kosztowne i często wymagają transportu zużytych sorbentów na znaczne odległości.

Celem badań przedstawionych w niniejszej pracy była ocena stopnia degradacji oleju silnikowego, prowadzona w warunkach eksperymentalnych symulujących proces regeneracji w czasie składowania zaolejonych kompostów z odpadów oraz zaolejonych sorbentów komercyjnych.

MATERIAŁ I METODY

Eksperyment laboratoryjny prowadzono z wykorzystaniem sorbentów komercyjnych oraz kompostów z odpadów komunalnych. Komercyjnym sorbentem organicznym był Peatsorb® (PS), natomiast sorbentem mineralnym był powszechnie używany materiał EcoDry Plus® (ED). Zastosowane w doświadczeniu komposty z odpadów powstały w wyniku kompostowania odpadów komunalnych zmieszanych wg. technologii MUT-Dano (D) oraz komposty pochodzące z wysegregowanej frakcji biodegradowalnej wg. technologii MUT-Herhof (Z). W celu zaadaptowania mikroflory wykorzystującej węglowodory alifatyczne jako źródła węgla, pół roku przed rozpoczęciem eksperymentu oba typy kompostów oraz sorbenty komercyjne zostały wzbogacone olejem napędowym. Zabieg ten stanowił symulację wcześniejszego wykorzystania ich jako sorbentów do usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych. Eksperyment prowadzono w pojemnikach ze stali nierdzewnej o pojemności 2,5dm³ dodając do każdego rodzaju materiału sorpcyjnego fabrycznie nowego syntetycznego oleju silnikowego klasy 10W/40 w ilości 50,0g/dm³ sorbentu. Każdy typ zanieczyszczonego olejem sorbentu był przechowywany w warunkach symulujących składowanie pod zadaszeniem. W przypadku kompostów zapewniono zawartość wody 35-55%, natomiast sorbenty komercyjne składowane były w stanie powietrznie suchym. Eksperyment prowadzono w czasie rzeczywistym 3 miesiące, w stałej temperaturze 22°C i całkowitym zaciemnieniu. Próbkę do analiz pobierano raz w miesiącu. W czasie trwania eksperymentu złoża zaolejonych sorbentów i kompostów nie były napowietrzane.

Analiza węglowodorów alifatycznych (n-alkanów) o długości łańcucha węglowego C8-C20 oraz C22-C40 w próbkach sorbentów przebiegała w kilku etapach. Pobieranie próbek wykonywano za pomocą próbniaka ze stali nierdzewnej. Następnie próbki ważono i suszono w temperaturze pokojowej za pomocą bezwodnego siarczynu sodowego [Ciesielczuk i wsp. 2006]. Do ekstrakcji badanych związków, zastosowano automatyczny ekstraktor fexIKA® firmy IKA-werke. Ekstrahentem był heksan (POCH). Przed oznaczaniem ekstrakty nie były oczyszczane. Oznaczenia badanych węglowodorów wykonano metodą chromatografii gazowej z detektorem promieniowo – jonizacyjnym FID za pomocą chromatografu VARIAN CP3800 z autosamplerem. Do oznaczeń zastosowano kolumnę kapilarną VF1-ms o długości 30 m; ID 0,53 mm oraz if 1,50 µm. Na potrzeby analiz dozownik chromatografu ogrzewano do 305°C, natomiast detektor FID do 325°C. Program temperaturowy chromatografu rozpoczynał się od utrzymania 100°C w piecu przez 1 minutę, a następnie ogrzewaniu do 320°C w tempie 12°C na minutę, i utrzymanie jej przy końcu programu przez 12 min. Podczas wszystkich analiz przepływ gazu nośnego (He) przez kolumnę wynosił 3 cm³ na minutę. Krzywe kalibracyjne wykonano w oparciu o wzorce RGO 610 i RGO 722 firmy LGC Promochem® oraz 31630 firmy Restek®. Ilość oleju

napędowego oraz silnikowego określono na podstawie integracji pików zbiorczych obejmujących zakres temperatur wrzenia 126-369°C dla oleju napędowego i 372-522 dla oleju silnikowego.

Prezentowane wyniki zawartości badanych substancji są średnią z 3 powtórzeń.

OMÓWIENIE I Dyskusja Wyników

Użyte do badań sorbenty różniły się pod względem składu chemicznego. Jednym z ważniejszych parametrów jest zawartość substancji organicznej w badanych materiałach (tabela 1). Najwyższą ilość substancji organicznej posiadał sorbent PS wytwarzany z torfu – niemal 99%, a najniższą – zgodnie z oczekiwaniami sorbent ED – poniżej 1%. Badane komposty zawierały 33,4-48,16% materii organicznej, co jest wartością typową dla tego rodzaju materiałów.

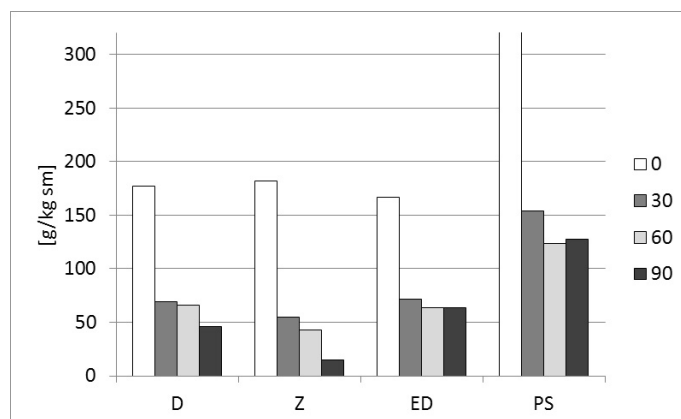
Tabela 1. Charakterystyka sorbentów użytych do doświadczeń
Table 1. Characteristic of sorbents used in experiments

Parametr	D	Z	ED	PS
Substancje organiczne (%)	48,16±4,18	33,4±1,38	0,87±0,01	98,73±0,13
TOC (% s.m.)	24,9±4,1	21,4±6,2	<0,5	95,7±0,28
pH w H ₂ O	7,95±0,06	7,85±0,01	6,16±0,03	3,85±0,02
EC (mS/cm)	3,02±0,38	1,14±0,08	0,709±0,11	0,09±0,01
Gęstość nasypowa (g/dm ³)	185,2±9,6	196,4±7,3	421,8±6,1	93,7±3,7
Wilgotność (%)	38,5±4,8	41,3±3,5	2,13±0,31	6,52±0,76

We wszystkich badanych sorbentach oznaczono pozostałości oleju napędowego, którym zanieczyszczono je 6 miesięcy wcześniej. Najmniejszą ilość oleju napędowego (9,34g/kg) oznaczono w kompoście Z, natomiast największą (42,56/kg) w sorbencie mineralnym ED, który jest najpopularniejszym materiałem sorpcyjnym stosowanym podczas akcji ratowniczych. Oba testowane komposty (próby D i Z) zawierały mniej oleju niż sorbenty komercyjne. Komposty inkubowane w stanie wilgotnym zapewniały zatem bardziej sprzyjające warunki bytowania mikroorganizmów w porównaniu do suchych sorbentów.

Stężenia oleju silnikowego w pierwszym dniu eksperymentu były zbliżone i wynosiły od 166,9 do 181,6g/kg s.m. Jedynie w przypadku sorbentu PS ilość oleju wynosiła 351,4 g/kg sm co wynikało z małej gęstości nasypowej tego materiału. Spodziewano się więc, że tak duża ilość oleju ograniczy migrację tlenu oraz że będzie ona oddziaływać toksycznie na mikroorganizmy, hamując rozkład zanieczyszczeń ropopochodnych. Jednak już po 30 dniach składowania oznaczono znaczne obniżenie stężenia oleju w próbkach wszystkich sorbentów,

w stosunku do ilości zanotowanych na początku eksperymentu. Największą efektywność rozkładu oleju zanotowano w przypadku kompostu Z. Po pierwszym miesiącu oznaczono 54,6g/kg s.m. co stanowiło 30,1% stężenia początkowego. Najmniejszą efektywność degradacji po pierwszym miesiącu zanotowano dla sorbentu PS gdzie oznaczono 153,7g/kg sm, co stanowiło ponad 43,7% początkowej ilości oleju (rys. 1). Pomimo utrzymywania sorbentów komercyjnych (PS i ED) w stanie powietrzno-suchym, także na tych podłożach zachodził rozkład dodanego oleju silnikowego, co wskazuje na wysoką efektywność mikroorganizmów nawet w warunkach niedoboru wody [Siuta 2003]. Dodatkowym czynnikiem ograniczającym aktywność mikroorganizmów w przypadku sorbentu PS jest jego niski odczyn. Niespodziewanie, w przypadku kompostu D zanotowano niewielką efektywność rozkładu oleju (po 30 dniach eksperymentu pozostało 39,1% masy oleju), zbliżoną do stwierdzonej dla sorbentu komercyjnego ED, ale wyższą od PS. Może to wynikać ze znacznego zasolenia badanego kompostu D przekraczającego 3mS/cm. Znaczną szybkość degradacji produktów ropopochodnych w pierwszych tygodniach eksperymentu potwierdzają także inni badacze [Kołwzan 2002]. W 60 dniu doświadczenia tendencja rozkładu oleju była podobna jak zanotowana po 30 dniach.



Rysunek 1. Ilość oleju silnikowego zanotowana w próbkach badanych sorbentów w 0, 30, 60 i 90 dniu eksperymentu

Figure 1. Motor oil content in sorbent samples in 0, 30, 60 and 90 day of experiment

Nadal najwyższą efektywnością rozkładu oleju cechował się kompost Z, natomiast najniższą sorbent ED, gdzie oznaczono 38,2% początkowej masy oleju. Niewielką efektywność rozkładu zaobserwowano ponownie w kompoście D, która w drugim miesiącu wyniosła zaledwie 2%. W badaniach biodegradacji olejów smarowych prowadzonych przez innych autorów wg procedury OECD 302B po 56 dniach osiągnięta efektywność rozkładu wyniosła 40 i 47% odpo-

wiednio dla oleju mineralnego i oleju PAO4 wytworzonego na bazie polialfaolefin [Beran E. 2008]. W końcowej fazie własnego doświadczenia (90 dzień) najwyższą efektywność degradacji zanotowano dla kompostu Z gdzie oznaczono 15,11g/kg sm, co stanowiło 8,3% początkowej masy oleju. Ponad trzykrotnie niższą efektywność rozkładu zanotowano dla kompostu D, gdzie pozostało jeszcze 26,1% oleju. Najniższy stopień degradacji zaobserwowano przy zastosowaniu sorbentów komercyjnych, gdzie po 90-dniowej inkubacji pozostało jeszcze 36,3 i 38,2% oleju, odpowiednio dla sorbentów PS i ED. Oprócz wolniejszej degradacji zanieczyszczeń, sorbenty komercyjne są znacznie droższe niż komposty (sorbent ED – ponad 50 razy, PS – ponad 100 razy droższy), a ich wytworzenie wymaga eksploatacji zasobów nieodnawialnych (np. torfu) co jest niezgodne z zasadami trwałego i zrównoważonego rozwoju.

Biorąc pod uwagę stopień degradacji pojedynczych n-alkanów o długości łańcucha C22-C40, zaobserwowano niewielkie różnicowanie pomiędzy badanymi materiałami. Generalnie, najszybciej degradowane były alkany o krótszych łańcuchach, co potwierdzają badania prowadzone w okresie 100 dni [Steliga 2008]. Jednak w przypadku sorbentu PS dokonany rozkład został jedynie w 22,5%. W przeprowadzonym eksperymencie, najsłabiej degradowany był oktaoktan, który w 90 dniu eksperymentu wynosił od 73,2% masy początkowej dla próbek Z, do 125% masy początkowej dla próbek D.

Według danych literaturowych, znaczną efektywność rozkładu n-alkanów, w zasadniczy sposób odbiegającą od uzyskanych w niniejszej pracy wyników, osiągnięto po zastosowaniu szczepionki zawierającej wyselekcjonowane mikroorganizmy oraz pożywki. W takiej sytuacji po 10 dniach zanotowano biodegradację węglowodorów na poziomie średnio 91%. Jednak należy zwrócić uwagę na fakt, iż w tym doświadczeniu stężenia pojedynczych alifatów długołańcuchowych były stosunkowo niskie i nie przekraczały wartości 500 mg/kg sm gleby dla pojedynczego związku [Kaczyńska, Kiepuski 2007]. Podobne wyniki osiągnięto w badaniach degradacji oleju napędowego, gdzie po zastosowaniu szczepionek bakteryjnych uzyskany stopień rozkładu mikrobiologicznego osiągnął 75% po 21 dniach eksperymentu [Piekarska 2005]. Stosunkowo niski stopień degradacji oleju w przeprowadzonym własnym eksperymencie w stosunku do ww. wyników badań z zastosowaniem bioaugmentacji wskazuje na niedoskonałość proponowanej metody, w której nie wprowadzono pożywek dla mikroorganizmów oraz nie zapewniono właściwej wilgotności. Zaznaczyć należy, iż degradacja węglowodorów jest procesem wieloetapowym, prowadzonym przez wielogatunkowe konsorcja mikroorganizmów, których liczebność bez wprowadzenia szczepionek może być niewystarczająca [Szewczyk, Długoński 2009].

PODSUMOWANIE

Rozkład oleju silnikowego zachodził w przypadku wszystkich czterech eksperymentalnie zanieczyszczonych olejem sorbentów. Największą efektywność degradacji zanieczyszczeń ropopochodnych w 90 dniu eksperymentu uzyskano dla kompostu z odpadów wytwarzanego wg technologii MUT-Herhof (próbki Z) gdzie pozostało jedynie 8,3% początkowej masy oleju silnikowego. Ponad trzykrotnie więcej węglowodorów oznaczono w przypadku kompostu MUT-Dano (próbki D), a mimo to efektywność rozkładu była wyższa od tej którą uzyskano dla sorbentów komercyjnych (próbki PS, ED). Ze względu na obowiązujące przepisy ograniczające możliwość składowania odpadów ulegających biodegradacji (Dz.U. 2011 Nr 230 poz. 1373), będzie wytwarzana coraz większa ilość kompostów, z których część może znaleźć zastosowanie jako tani, przyjazny dla środowiska sorbent. Analizując opłacalność ekonomiczną, zastosowanie kompostów z odpadów jako sorbentów jest od 50 do 100 razy tańsze, w porównaniu do badanych sorbentów komercyjnych.

Przeprowadzony eksperyment wskazuje na przydatność kompostów z odpadów jako sorbentów wielokrotnego użytku przeznaczonych do sorpcji zanieczyszczeń ropopochodnych, co wpisuje się w realizację założeń trwałego i zrównoważonego rozwoju.

BIBLIOGRAFIA

- Beran E.: Experience with evaluating biodegradability of lubricating base oils. *Tribology International* 41 1212– 1218 (2008)
- Ciesielczuk T., Rosik-Dulewska Cz., Nabzdzyjak T.: *Występowanie węglowodorów alifatycznych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w wodach podziemnych na terenie magazynu paliw bazy lotniczej*, *Ecological Chemistry and Engineering*, 13 S4, 531-538 (2006).
- Day M.J., Reinke R.F., Thomson J.A.M.: *Fate and Transport of Fuel Components Below Slightly Leaking Underground Storage Tanks*, *Environmental Forensics*, 2, 21-28 (2001).
- Dzirba J.: Biodegradacja związków aromatycznych przez immobilizowane bakterie. (w) *Innowacyjne Rozwiązania Rewitalizacji Terenów Zdegradowanych* 124-135 (2010)
- Dz.U. 2011 Nr 230 poz. 1373 USTAWA z dnia 16 września 2011 r. o zmianie ustawy o ochronie zwierząt oraz ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach
- Gawdzik B, Gawdzik J.: Impact of pollution with derivatives of the natural environment and methods of their removal. *Ecological Chemistry and Engineering* S 18 3 345-357 (2011)
- Hupka J., Dang-Vu T., Wersocki S.: Badania osadu czynnego jako sorbentu oleju. *Inżynieria Ekologiczna* 9 145-153 (2004)
- Kaczyńska A.K., Kiepuski J.: Rekultywacja terenów wylewiska odpadów z odwiertów wydobywczych ropy naftowej. *Inżynieria Ekologiczna* 19 89-95 (2007).
- Kaszycki P., Krawczyk A., Kołoczek H.: *Stan i perspektywy biodegradacji ropopochodnych zanieczyszczeń w glebach południowej części Polski*, *Inżynieria Ekologiczna*, 7, 15-22 (2002).

- Kończan B.: *Wykorzystanie mikroorganizmów do oczyszczania gruntów skażonych produktami naftowymi*, Inżynieria Ekologiczna, 7, 36-44 (2002).
- Kyzioł-Komosińska J., Rosik-Dulewska Cz., Dzieniszewska A., Pająk M. Compost as biosorbent for removal of acid dyes from the wastewater generated by the textile industry. *Archives of Environmental Protection*, 37, (4), 3-14 (2011).
- Lee M., Kang H., Do W.: *Application of nonionic surfactant-enhanced in situ flushing to a diesel contaminated site*, Water Research, 39, 139–146 (2005).
- Małachowska-Jutsz A., Miksch K.: *Influence of used oil on some plant species*, *Archives of Environmental Protection*, 30, (2) 95-105 (2004).
- Małachowska-Jutsz A., Rudek J., Janosz W.: *The effect of Ribwort (Platango lanceolata) and its mycorrhizas on the growth of microflora in soil contaminated with used engine oil*, *Archives of Environmental Protection*, 37, (1), 99-114 (2011).
- Piekarska K. Wykorzystanie immobilizowanych mikroorganizmów do biodegradacji składników oleju napędowego. II Kongres Inżynierii Środowiska monografia 1 891-899 (2005)
- Przybulewska K., Wieczorek A.: *Biodegradation of metyl izobutyl ketone (MIBK) by Fusarium solani*, *Archives of Environmental Protection* 35, (3), 3-10 (2009).
- Siuta J. Ekologiczne, technologiczne i prawne aspekty rekultywacji gruntów zanieczyszczonych produktami ropy naftowej. Inżynieria Ekologiczna 8 7-26 (2003)
- Steliga T. Optimization research on biodegradation of hydrocarbons pollutions in weathering soil samples from manufactured gas plant (MGP). *Archives of Environmental Protection* 34 1 51-70 (2008)
- van Stempvoort D., Biggar K.: *Potential for bioremediation of petroleum hydrocarbons in groundwater under cold climate conditions: A review*, *Cold Regions Science and Technology*, 53, 16–41 (2008).
- Szewczyk R., Długoński J. Pentachlorophenol and spent engine oil degradation by *Mucor ramossissimus*. *International Biodeterioration & Biodegradation* 63 123–129 (2009)
- Zabłocka-Godlewska E., Przysaś W.: *The effects of Papilionaceous plants and biopreparation on petroleum hydrocarbons degradation In aged-polluted soil*, *Archives of Environmental Protection*, 32, (4) 53-66 (2006).
- Zdenkowski J., Rybka A.: *Pilotażowa instalacja in situ oczyszczania środowiska gruntowo-wodnego na terenie bazy ZGPN-CPN w Kielcach-Białogonie metodą DDC System Hydrocarbons remediates in groundwater and soil by injecting oxygen to wells to promote natural aerobic activity*, [in] *Kompleksowa ocena oddziaływania lotniska wojskowego Poznań – Krzesiny na środowisko*, Wrocław (1999).
- Żak M., Koniecznyński J.: *Comparison of benzene and its alkylated derivatives profiles in car's fuels, engine exhaust gases and in air in the vicinity of communication arteries*, *Archives of Environmental Protection*, 34, (2), 3-12 (2008).

Niniejsza praca została sfinansowana ze środków Grantu MNiSW nr N N523 565038

Tomasz Ciesielczuk
student Mateusz Górski
Samodzielna Katedra Ochrony Powierzchni Ziemi
Uniwersytet Opolski
Oleska 22
45-022 Opole
tciesielczuk@uni.opole.pl , Tel. 77 401 60 27

Czesława Rosik-Dulewska
Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN
Sklódowskiej-Curie 34
41-819 Zabrze