

mgr **Michał ŁUDZIK**¹

Przyjęty/Accepted: 06.12.2012; Zrecenzowany/Reviewed: 28.02.2013; Opublikowany/Published: 30.09.2013

SYSTEMY NEUTRALIZACJI ŚCIEKÓW PODEKONTAMINACYJNYCH POWSTAŁYCH PO ODKAŻANIU POJAZDÓW

Neutralization Systems of Wastewater Post-decontamination After Decontamination of Vehicles

Streszczenie

W artykule omówiono zadania wspomagające bezpieczeństwo chemiczno-ekologiczne w aspekcie systemu unieszkodliwiania niebezpiecznych odpadów, jakie powstają podczas procesu dekontaminacji pojazdów i innych mobilnych systemów w sytuacjach nadzwyczajnych zagrożeń. Przeprowadzono analizę potrzeb wynikających z ochrony przeciwpożarowej, działań ratowniczych oraz bezpieczeństwa ludzi, zwierząt i sprzętu. Na podstawie danych z literatury przedstawiono kierunki rozwoju ratownictwa chemiczno-ekologicznego, które zwiększają bezpieczeństwo ludzi i środowiska. Wykazano konieczność systematycznego rozwoju polskich systemów normatywnych opartych na dyrektywach EU w procesie dekontaminacji (odkażania) w warunkach zagrożeń, w tym zagrożeń terrorystycznych z użyciem broni biologicznej.

Summary

This paper discusses tasks of the system supporting chemical and ecological safety in the aspect of decontamination hazardous substances which are formed during decontamination of vehicles and other mobile systems in situations of extraordinary risks. Furthermore, the article analyses the needs arising from fire protection, rescue actions and safety of people, animals and equipment. Based on the results of literature data, directions of chemical and ecological rescue development which increase the safety of people and the environment were presented. The paper demonstrates the need for development of Polish normative systems based on the EU directives on the assessment of the decontamination process under threats conditions including terrorist threats using biological weapons.

Słowa kluczowe: ratownictwo chemiczno-ekologiczne, systemy neutralizacji, ścieki podekontaminacyjne, pojazdy;

Keywords: chemical and ecological rescue, neutralization systems, wastewater post-decontamination, mobile vehicles;

Typ artykułu: artykuł przeglądowy;

Type of article: review article;

1. Wprowadzenie

W momentach nadzwyczajnych zagrożeń bezpieczeństwa, takich jak klęski żywiołowe, katastrofy naturalne oraz awarie w przemyśle i w transporcie, może dojść do skażenia ludzi, środowiska i mienia substancjami niebezpiecznymi.

Początek wieku XXI przyniósł nowe wyzwania związane z zagrożeniami terrorystycznymi, określanymi mianem zagrożeń masowych lub zagrożeń CBRNE (zagrożenia chemiczne, biologiczne, radia-

cyjne, nuklearne oraz zagrożenia wybuchem). Szczególnie niebezpieczną formą terroryzmu jest bioterroryzm wykorzystujący biologiczne środki masowego rażenia. Dla przykładu – w 2001 r. w USA terroryści rozesłali pocztą przesyłki z laseczkami wąglika. Był to początek bioterroryzmu w naszym wieku.

Wzrost zagrożeń bioterrorystycznych wynika z rozwoju biotechnologii i atrakcyjnych dla terrorystów cech broni biologicznej, takich jak niski koszt jej wytwarzania, możliwość utajnienia produkcji i magazynowania oraz sposób jej działania. Ma ona bardzo szerokie możliwości zastosowania: od atakowania pojedynczych osób po stwarzanie zagrożeń dla całych aglomeracji.

W Polsce za ochronę życia i zdrowia ludzi oraz otaczającego go środowiska odpowiada Krajowy

¹ Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów k. Otwocka, Polska; mludzik@cnbop.pl; The Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute; Poland;

System Ratowniczo-Gaśniczy (KSRG), który w przypadku wystąpienia zagrożenia uruchamia ratownictwo podstawowe i specjalistyczne oraz realizuje zadania służb ratowniczych, korzystając z posiadanego sprzętu i środków. Z mocy ustawy o Państwowej Straży Pożarnej (PSP) z dnia 24 sierpnia 1991 r. [1] i rozporządzenia MSWiA z 1999 r. w sprawie szczegółowych zasad organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego [2] to PSP odpowiada za organizację KSRG i za ścisłą współpracę z innymi podmiotami ratowniczymi w zakresie ratownictwa chemicznego, technicznego, ekologicznego i medycznego. W tym celu służby ratownicze PSP zawarły porozumienia z Policją, Siłami Zbrojnymi RP, Państwową Inspekcją Sanitarną, Państwową Agencją Atomistyczną, Zespołami Ratownictwa Medycznego oraz innymi organizacjami rządowymi i pozarządowymi, ustanawiając tym samym integralną część bezpieczeństwa wewnętrznego państwa.

Aby skutecznie realizować działania ratownicze, w 2007 r. Komenda Główna PSP wydała wytyczne do organizacji ratownictwa chemiczno-ekologicznego w ramach KSRG [3]. I tak, do zneutralizowania szkodliwego oddziaływania niebezpiecznych substancji chemicznych (czyli do usuwania tych skażeń z ludzi, sprzętu i środowiska) wykorzystywane są następujące techniki odkażania²: chemiczna neutralizacja, sorpcja i rozcieńczenie. W wyniku odkażania powstają ścieki i odpady, które powinny podlegać utylizacji. Zgodnie z ustawą o odpadach [4] utylizowane są wchłonięte przez sorbenty substancje niebezpieczne. Problem stanowią ścieki powstające w wyniku wykorzystania jednego z pięciu roztworów dekontaminacyjnych do neutralizacji substancji niebezpiecznych (które podzielono na 10 grup związków) albo wskutek zmniejszenia stężenia substancji chemicznej poprzez rozproszenie ich w rozcieńczalniku. Często powstałe ścieki odprowadzane są do kanalizacji, najczęściej jednak na tereny bytowo-gospodarcze, pomimo że mogą być niebezpieczne dla człowieka i środowiska. Wydaje się, że służby ratownicze powinny identyfikować zawar-

tość ścieków dekontaminacyjnych w celu ich utylizacji na miejscu.

Polskie przepisy prawne nie określają jednoznacznie, która ze służb ratowniczych powinna pełnić wiodącą rolę w likwidowaniu zagrożeń CBRNE. Brygadier dr Anna Obolewicz, Główny specjalista w Krajowym Centrum Koordynacji Ratownictwa i Ochrony Ludności KG PSP w publikacji [5] podaje, że obecnie służbą wiodącą w zakresie ratownictwa chemicznego jest PSP. Działania związane z zagrożeniami biologicznymi prowadzi Państwowa Inspekcja Sanitarna, zagrożenia radiacyjne i nuklearne znajdują się w gestii Państwowej Agencji Atomistyki, zaś Policja bierze odpowiedzialność za akcję ratowniczą w przypadku zagrożenia wybuchem.

W praktyce najczęściej na miejsca zagrożenia jako pierwsze docierają jednostki PSP, gdyż są one najbardziej mobilną służbą ratowniczą. W zależności od przyjętego meldunku o zagrożeniu do akcji ratowniczej wysyłane są jednostki ochrony przeciwpożarowej należącej do KSRG lub specjalistyczna grupa ratownictwa chemiczno-ekologicznego (SGR CHEM-EKO). Na każdym etapie akcji ratunkowej dowódca SGR może włączyć inne podmioty należące do KSRG. Sposób prowadzenia działań ratowniczych zależy od stanu liczebnego i poziomu wykształcenia ratowników oraz ich wyposażenia w specjalistyczny sprzęt i środki. Akcje ratownicze w sytuacjach zagrożenia prowadzone są zgodnie z ustalonymi zasadami organizacji działań ratowniczych; wymagają one rygorystycznego przestrzegania zasad bezpieczeństwa.

W pierwszej fazie akcji do podstawowych działań ratowniczych należy zidentyfikowanie substancji niebezpiecznych, zmniejszenie ich uwalniania do środowiska i ich neutralizacja, wyznaczenie strefy skażonej oraz udzielanie poszkodowanym wykwalifikowanej pierwszej pomocy medycznej [2,3]. Podczas działań ratowniczych wyznaczane są strefy: skażona, zagrożona skażeniem oraz czysta. Każdorazowo podczas przemieszczania się ludzi i sprzętu (w tym pojazdów) ze strefy skażonej do czystej należy przeprowadzić dekontaminację. Proces odkażania pojazdów przeprowadza się w wyznaczonych punktach i może być wykonywany za pomocą ręcznych myjek lub automatycznie na mobilnych albo stacjonarnych stanowiskach dekontaminacyjnych. Do dekontaminacji używa się czystej wody, wody z dodatkiem środków zmniejszających napięcie powierzchniowe lub wody z dodatkiem środków neutralizujących i dezynfekujących. Podobne procedury stosowane są w Australii [6]. Samochody myje się wstępnie za pomocą rozpylonych niekorozyjnych detergentów podawanych przez wysokociśnieniowe myjki (najczęściej wykorzystujące ciepłą wodę) lub tzw. odkurzacze parowe (ang. steam cleaners). Następnie pojazdy są dezynfekowane za pomocą środ-

² Dekontaminacja, czyli odkażanie, jest to zespół czynności wykonywanych przez służby i jednostki ratownicze bezpośrednio na terenie akcji ratownictwa chemiczno-ekologicznego oraz poza terenem akcji, zmierzające do zneutralizowania szkodliwego oddziaływania niebezpiecznych substancji chemicznych na środowisko, obiekty, ludzi i sprzęt. Proces dekontaminacyjny zawiera wszystkie etapy czyszczenia i odkażania. W celu usunięcia zabrudzeń i neutralizacji skażeń stosuje się połączenie procedur fizycznych, chemicznych i biologicznych. Zatem, ścieki dekontaminacyjne są to roztwory zawierające różne niebezpieczne związki chemiczne, które powstają w wyniku odkażania ludzi i sprzętu przy wykorzystaniu różnych roztworów neutralizujących i stanowią odpady niebezpieczne w myśl ustawy o odpadach.

ków odkażających podawanych w postaci aerozoli. Do odkażania służą podawane pod ciśnieniem roztwory chemiczne (głównie podchlorynu sodu, wodorotlenku wapnia lub wodorotlenku sodu, a także formaliny i kwasu nadoctowego). O ile to możliwe, pojazdy należy suszyć w pełnym słońcu i na otwartej przestrzeni. Podczas każdego etapu procesu odkażania bardzo ważne jest dokładne zbieranie ścieków podekontaminacyjnych do specjalnych, szczelnych zbiorników oraz magazynowanie ich w celu dalszej utylizacji.

2. Uregulowania prawne dotyczące ratownictwa chemiczno-ekologicznego

Na mocy Dyrektywy Rady UE zwanej SEVESO II z 1996 r. [7] w Polsce realizowane są unormowania prawne związane z ratownictwem chemiczno-ekologicznym. SEVESO II jest to najważniejszy akt prawny dotyczący poważnych awarii związanych z substancjami niebezpiecznymi. Uregulowania Dyrektywy mają do spełnienia dwa cele: zapobiegać zagrożeniom poważnymi wypadkami z udziałem substancji niebezpiecznych i ograniczać skutki tego wydarzenia dla ludzi i środowiska. Zwiększeniu bezpieczeństwa ekologicznego służy Dyrektywa IPPC (*Integrated Pollution Prevention and Control*) dotycząca zintegrowanego zapobiegania i zmniejszania zanieczyszczeń [8]. Położono w niej nacisk na dążenie do pełnego rozpoznania wpływu substancji niebezpiecznych na środowisko i kontrola procesów produkcyjnych w celu systematycznej redukcji emisji zanieczyszczeń, przy zastosowaniu innowacyjnych technologii, takich jak BAT (The Best Available Techniques) [9-12]. Podstawowymi kierunkami badawczymi, związanymi z bezpieczeństwem ekologicznym, są: systemy monitorowania zagrożeń ekologicznych, technologie i systemy przeciwdziałania powstawaniu niebezpiecznych odpadów oraz systemy unieszkodliwiania niebezpiecznych odpadów.

Zalecenia UE w zakresie ratownictwa chemiczno-ekologicznego są realizowane przez PSP poprzez implementację tych dyrektyw w postaci rozporządzeń i ustaw obowiązujących w Polsce. Są to:

- Ustawa o Państwowej Straży Pożarnej z 1991 r. [1],
- Rozporządzenie MSWiA z 1999 r. w sprawie szczegółowych zasad organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego [2],
- Wytyczne do organizacji ratownictwa chemiczno-ekologicznego w Krajowym Systemie Ratowniczo-Gaśniczym z 2007 r. [3],
- Ustawa z 2001 r. o odpadach [4],
- Ustawa z 2001 r. Prawo ochrony środowiska (dotycząca m.in. unieszkodliwiania olejów odpadowych oraz odpadów) [13],
- Ustawa o zarządzaniu kryzysowym z 2007 r. [14].

Od dnia 4 lipca 2012 r. obowiązuje Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/18/UE w sprawie kontroli zagrożeń poważnymi awariami związanymi z substancjami niebezpiecznymi zmieniająca i następnie uchylająca dyrektywę Rady 96/82/WE [15]. Przygotowywane są zmiany ustawy Prawo ochrony środowiska z 2001 r. w zakresie m.in. polityki ekologicznej oraz programu *ochrony środowiska*. *Wymusi to zmiany w polskim ustawodawstwie dotyczącym ratownictwa chemiczno-ekologicznego.*

3. Utylizacja ścieków podekontaminacyjnych

W czasie prowadzenia akcji ratowniczej w wyniku zagrożeń CBNRE istotnym elementem jest mobilność pojazdów ratowniczych, samochodów służących do przewozu ratowników, sprzętu, materiałów technicznych, samochodów rozpoznawczo-pomiarowych używanych do wykrywania skażeń oraz bezałogowych pojazdów przeznaczonych do działań w strefie niebezpiecznej. Po zakończeniu akcji ratowniczej, a także każdorazowo po opuszczeniu strefy skażonej, pojazdy powinny podlegać procesowi dekontaminacji. Ze względu na gabaryty sprzętów, ich wyposażenie, możliwości dekontaminacji za pomocą sorbentów są znacznie ograniczone.

W Polsce i na świecie [16-19] zalecanym systemem do dekontaminacji pojazdów specjalnych są myjnie mobilne, które można zainstalować na pograniczu strefy czystej i skażonej, ale także na poligonach czy innych miejscach o dużym natężeniu ruchu (autostrady, przejścia graniczne, lotniska). Taki mobilny system przeznaczony jest do mycia lub odkażenia podwozia oraz całego pojazdu z zewnątrz. Mycie pojazdu umieszczonego na kuwecie najazdowej odbywa się za pomocą mobilnych myjek ciśnieniowych z zimną lub ciepłą wodą. Kuweta najazdowa wyposażona jest w system węży, które odprowadzają wodę zużytą w procesie dekontaminacji do specjalnych zbiorników. W wodzie podekontaminacyjnej (dalej nazwanej ściekami podekontaminacyjnymi) mogą być zawarte substancje niebezpieczne.

W przypadku ścieków silnie skażonych bakteriologicznie, można zdezynfekować je za pomocą firmowego zintegrowanego systemu dezynfekcji ścieków. Wykorzystuje on (w zależności od warunków technicznych i ukształtowania terenu) następujące metody dezynfekcji: ultrafiolet, podchloryn sodu i metodę termiczną. Takie stacje dezynfekcyjne funkcjonują przy szpitalach i zakładach weterynaryjnych. Służby ratownicze nie zawsze dysponują detektorami do wykrycia skażenia CBNR lub nie dysponują środkami odkażającymi do rozpoznanej substancji niebezpiecznej.

W praktyce system mobilny montowany jest na jednym pasie ruchu drogowego. Pozostałe wyposa-

zenie rozkłada się na poboczu drogi lub na sąsiednim pasie. W pierwszej kolejności rozkłada się kufkę najazdową, w której gromadzi się woda zużyta po procesie dekontaminacji pojazdów, oraz podpory najazdów, na których montuje się najazdy. Ścieki podekontaminacyjne są odprowadzane z kufki (przy użyciu specjalnej pompy szlamowej) do elastycznych szczelnych zbiorników (Ryc. 1). Ścieki mogą być zbierane w system odwadniający, a następnie trafiają do zamkniętego układu oczyszczania ścieków, co pozwala na uzyskanie wody obiegowej o bardzo wysokich parametrach, dzięki czemu możliwe jest ponowne jej wykorzystanie do wszystkich cykli mycia (ang. *reuse*).

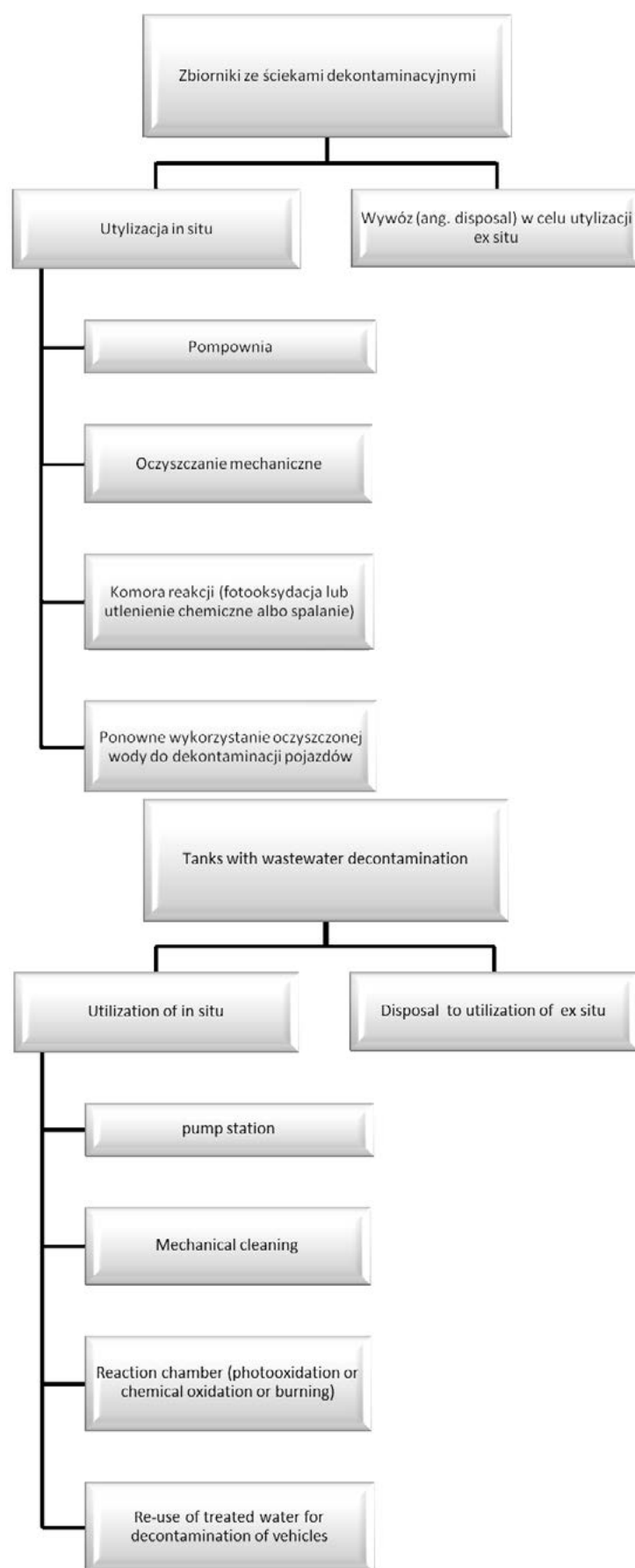


Ryc. 1. Składana kufka z PCV do mycia i/lub dekontaminacji pojazdów kołowych [16]

Fig. 1. The folding cuvette from PCV to cleaning and/or to decontamination of vehicles [16]

Ścieki dekontaminacyjne są wstępnie czyszczone mechanicznie (najczęściej za pomocą sita), a następnie umieszczane w kontenerze, który poddawany jest działaniu promieniowania UV. Ponieważ promieniowanie ultrafioletowe powoduje bezpośrednią fotooksydację i generację ozonu, a dezaktywacja drobnoustrojów następuje w ciągu kilku sekund, technologia ta jest najbardziej skuteczną metodą dezynfekcji (Ryc. 2).

Najbardziej rozpowszechnioną metodą jest dezynfekcja za pomocą podchlorynu sodu (utleniacza). Ścieki są przepompowywane do komory dezynfekcyjnej, do której automatycznie dozowany jest podchloryn sodu w stężeniu odpowiednim do przepływu ścieków, albo wykorzystującej generator aktywnego chloru. Proces dezynfekcji wspomaga mieszanie podchlorynu/aktywnego chloru ze ściekami. Czas reakcji w komorze dezynfekcji powinien wynosić co najmniej 0,5 h przy zawartości chloru 0,1 do 0,4 g/m³. Te warunki zapewniają wysoką efektywność bakteriobójczą (ok. 99,5%), pozwalają na zniszczenie żywych i przetrwalnikowych form organizmów patogennych oraz zapobiegają ich wtórnemu rozwojowi. W wyniku reakcji utleniania również niebezpieczne związki chemiczne przekształcane są w substancje bezpieczne lub mniej toksyczne.



Ryc.2. Schemat neutralizacji ścieków dekontaminacyjnych

Fig. 2. Scheme of neutralization of wastewater post-decontamination

Do najpewniejszych metod zwalczania drobnoustrojów chorobotwórczych zalicza się metodę dezynfekcji za pomocą wysokiej temperatury. Norma ustalona przez niemiecki Federalny Urząd Zdrowia dzieli proces odkażania termicznego na cztery poziomy (Tab.1).

Metoda termiczna (spalanie lub piroliza) w wysokiej temperaturze (900-1200°C) prowadzi również do odparowania i spalania niebezpiecznych związków organicznych, które zamieniają się w substancje gazowe i inne.

W pewnych sytuacjach do mycia i dekontaminacji pojazdów można używać myjni stacjonarnych. Z powodu zróżnicowania kształtów i gabarytów pojazdów odkażanie przeprowadza się za pomocą lanc ciśnieniowych mycia ręcznego oraz podgrzewaczy wody. Woda używana do mycia jest zazwyczaj wysokiej jakości, najczęściej jest to wodociągowa woda pitna. Po procesie mycia i odkażania woda ta trafia do kanalizacji w postaci wysoko zanieczyszczonych ścieków przemysłowych. Celowe wydaje się wyposażenie myjni stacjonarnej w system oczyszczający ścieki powstałe z procesu mycia i odkażania pojazdów, działający w systemie zamkniętym.

Dobrym przykładem efektywnej utylizacji jest australijski program AUSVETPAN (ang. *Australian Aquatic Veterinary Emergency Plan*) [6] obejmujący proces dekontaminacji ludzi i sprzętu, w tym dekontaminacji ścieków podekontaminacyjnych. Wybór formy odkażania ścieków podekontaminacyjnych zależy od zawartości pozostałych substancji niebezpiecznych. Ścieki całkowicie zneutralizowane wywożone są do miejsc oddalonych od ujęć wodnych. W przypadku skażenia CBRN główną formą całkowitej neutralizacji ścieków podekontaminacyjnych jest ich zbiórka i wywóz do profesjonalnej oczyszczalni ścieków. Wykorzystywane są również technologie remediacji (ang. *Remediation/alternative Cleanup Technologies*), takie jak naturalne samooczysz-

czenie NA (ang. *Natural Attenuation*), na przykład kompostowanie.

Procedura dekontaminacji pojazdów w momencie skażenia masowego, pochodząca z *Military Decontamination* (Kanada) [18] obejmuje trzy fazy dekontaminacji pojazdów. Są to: przygotowanie – pojazd jest wprowadzany na specjalną składaną tacę (firmowa nazwa: Ride-Side Berm) w celu mechanicznego usunięcia dużych, luźno związanych zanieczyszczeń; dekontaminacja (całkowite wyczyszczenie pojazdu z zanieczyszczeń); oraz ocena procesów dekontaminacji (ang. *water monitoring equipment*), w wyniku której pojazd uznaje się za czysty lub ponownie przechodzi on procedurę. System dekontaminacyjny wyposażony jest m.in. w zestaw pomp dostarczających wodę do mycia pojazdów i system pomp odbierających skażoną wodę. Woda skażona zbierana jest do specjalnego zbiornika, który pozwala na ich transport (drogowy, kolejowy czy lotniczy) w celu dalszej utylizacji.

Organization for the Prohibition of Chemical Weapon (Holandia) [19] podaje główne zasady dekontaminacji skażenia chemicznego ze sprzętu. Do niszczenia skażeń chemicznych dochodzi poprzez ich chemiczną modyfikację/destrukcję albo na drodze procesów fizycznych, takich jak absorpcja (wchłonięcie), wymycie lub odparowanie. Przed użyciem środków odkażających następuje płukanie skażonego pojazdu ciepłą lub gorącą wodą lub parą wodną w polu prysznicowym. Czynniki odkażające, takie jak wapno chlorowane czy tlenek magnezu (w postaci suchego pudru), absorbują (chłoną) substancje chemiczne oraz uwalniają wolny chlor. Powstały chlor w wyniku rozkładu wapna chlorowanego ma własności bakteriobójcze oraz utleniające. Tlenek magnezu działa nie tylko na zasadzie sorbentu, ale również jest substancją powodującą lizę wiązań P-O, P-CN, P-S, C-X [20-22].

Tabela 1.

Poziomy dezynfekcji termicznej [16]

Table 1.

Level of thermal disinfection [16]

Poziom dezynfekcji/ The level of disinfection	Temperatura dezynfekcji w °C/ Disinfection temperature in °C	Czas dezynfekcji w min/ Disinfection time in minutes	Skutki dezynfekcji/ The effects of disinfection
A	900	1	Destrukcja wegetatywnych form bakterii i grzybów oraz ich zarodników/ Destruction of vegetative forms of bacteria and fungi and their spores
B	1000	1	Nieodwracalne zniszczenie wirusów/ Irreversible destruction of the virus
C	1050	5	Destrukcja spór bakterii do poziomu <i>Bacillus anthracis</i> (laseczka wąglika)/ The destruction of the spores to the level of bacteria <i>Bacillus anthracis</i>
D	1200	15	Destrukcja wszystkich spór bakterii/ Destruction of all bacteria spores

Te substancje są zdolne do dekontaminacji skażenia chemicznego występującego w postaci ciekłej, która pokrywa powierzchnię. Jest to rodzaj dekontaminacji natychmiastowej, której celem jest zabezpieczenie przed wnikaniem skażenia w głąb materiału. W przypadku skażenia czynnikami zdolnymi do penetrowania powierzchni pojazdów, do odkażania wykorzystuje się emulsje składające się z podchlorynu wapnia, tetrachloroetylenu, emulgatora i wody, które są rozpraszane na powierzchnię pojazdów. Do dekontaminacji sprzętu o mniejszych gabarytach wykorzystuje się specjalny namiot, do którego doprowadzane jest gorące powietrze. W temperaturze namiotu (ok. 130°C) dochodzi do dyfuzji i odparowania czynników chemicznych ze sprzętu.

4. Alternatywne metody dekontaminacji ścieków

Do alternatywnych technologii oczyszczania ścieków przemysłowych, w tym także ścieków podekontaminacyjnych, zalicza się metodę pogłębionego (zaawansowanego) utlenienia AOP (ang. *Advanced Oxidation Processes*) [23-33] oraz jej użycie w połączeniu z tradycyjnymi technologiami, na przykład biologicznym lub chemicznym oczyszczaniem ścieków.

Nowoczesne techniki oczyszczania ścieków przemysłowych, takie jak AOPs, technologie bioremediacyjne [34, 35] i inne [36-42], służą do usuwania trudno rozkładalnych i toksycznych związków organicznych albo do przekształcenia ich w formy bardziej biodegradowalne. Są to procesy wieloetapowe. Po czynnościach mechanicznych stosuje się różnorodne techniki fizyko-chemiczne lub chemiczne, a następnie biologiczny rozkład. O wyborze techniki decyduje rodzaj trwałych zanieczyszczeń organicznych i możliwości ich monitorowania na każdym etapie oczyszczania.

Wydaje się, że zastosowanie metody AOP pozwoli na usuwanie trudno rozkładalnych związków organicznych, takich jak związki aromatyczne (benzen, dimetoksybenzeny, alkohol benzyłowy), chlorowcopochodne alifatyczne i aromatyczne, aldehydy, aminy, nityle, barwniki, związki wysokocząsteczkowe i środki powierzchniowo czynne, w stosunku do których konwencjonalne metody oczyszczania ścieków okazują się nieskuteczne.

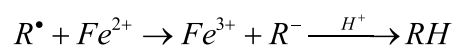
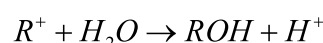
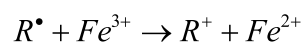
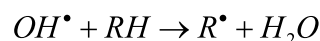
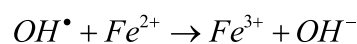
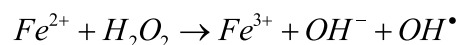
W tym celu w procesie AOP wykorzystuje się utleniacze, a w szczególności wolne rodniki hydroksylowe OH•, które posiadają wysoki potencjał redoks (2,8 V).

Zarówno w pracach badawczych, jak i w konstrukcjach technologicznych, metody prowadzące do powstania wolnych rodników OH• można podzielić na:

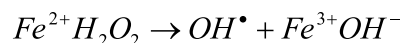
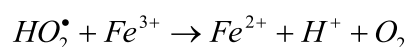
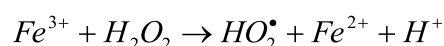
- 1) chemiczne: H₂O₂/O₃, O₃/OH•, Fe²⁺ lub Fe³⁺/H₂O₂ (Fenton reagent)

W przypadku mechanizmu reakcji Fentona można wyróżnić kilka etapów, są to głównie reakcje rodnikowe. Jest to najpopularniejsza metoda, którą po raz pierwszy zastosowano do utleniania toksycznych zanieczyszczeń organicznych w latach 60. ubiegłego wieku. Pod wpływem rozpuszczalnych związków żelaza (II) jako katalizatora oraz nadtlenu wodoru wiele substancji organicznych ulega utlenieniu.

Efekt utleniający reagentów Fentona zależy od pH roztworu oraz stosunku stężeń H₂O₂ i Fe²⁺. Utlenianie związków organicznych w tej metodzie najefektywniej zachodzi przy pH=3-4 [43]. Nie wymaga zastosowania wysokiego ciśnienia lub wysokiej temperatury. W wyniku reakcji powstaje jon żelazowy, rodnik hydroksylowy OH• oraz jon hydroksylowy OH. W przypadku roztworu zawierającego substancje organiczne następuje ciąg reakcji:



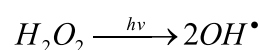
Istnieje wiele modyfikacji tej metody, najczęściej polegają one na wprowadzeniu do środowiska reakcji jonów Fe³⁺ zamiast Fe²⁺ i nadmiaru H₂O₂ w stosunku do ilości żelaza. Pierwsza zachodzi reakcja pomiędzy jonami Fe³⁺ i H₂O₂, a następnie typowa reakcja Fentona pomiędzy jonami żelazowymi i H₂O₂.



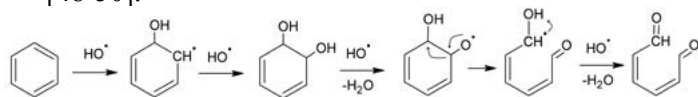
W układzie Fe³⁺/H₂O₂ powstają jony Fe²⁺, rodniki OH• oraz inne rodniki biorące udział w utlenianiu i redukcji związków organicznych. Używanie jednocześnie kilku składników przynosi znacznie lepsze efekty w usuwaniu zanieczyszczeń, niż pojedynczy reagent [44-47].

- 2) fotochemiczne: H₂O₂/UV, O₃/UV, O₃/H₂O₂/UV (Peroxone)

W procesie fotochemicznym bezpośrednia fotoliza nadtlenu wodoru prowadzi do powstawania rodników OH• przy wykorzystaniu promieniowania UV o długości fali 254 nm.



Dzięki układowi H_2O_2/UV można z powodzeniem przeprowadzić degradację substancji trudno biodegradowalnych np. chlorofenoli, związków chlorowcoorganicznych, atrazyny oraz symazyny, które mineralizują się do dwutlenku węgla i wody [48-50].



Ryc 3. Schemat fotodegradacji benzenu [51-52]

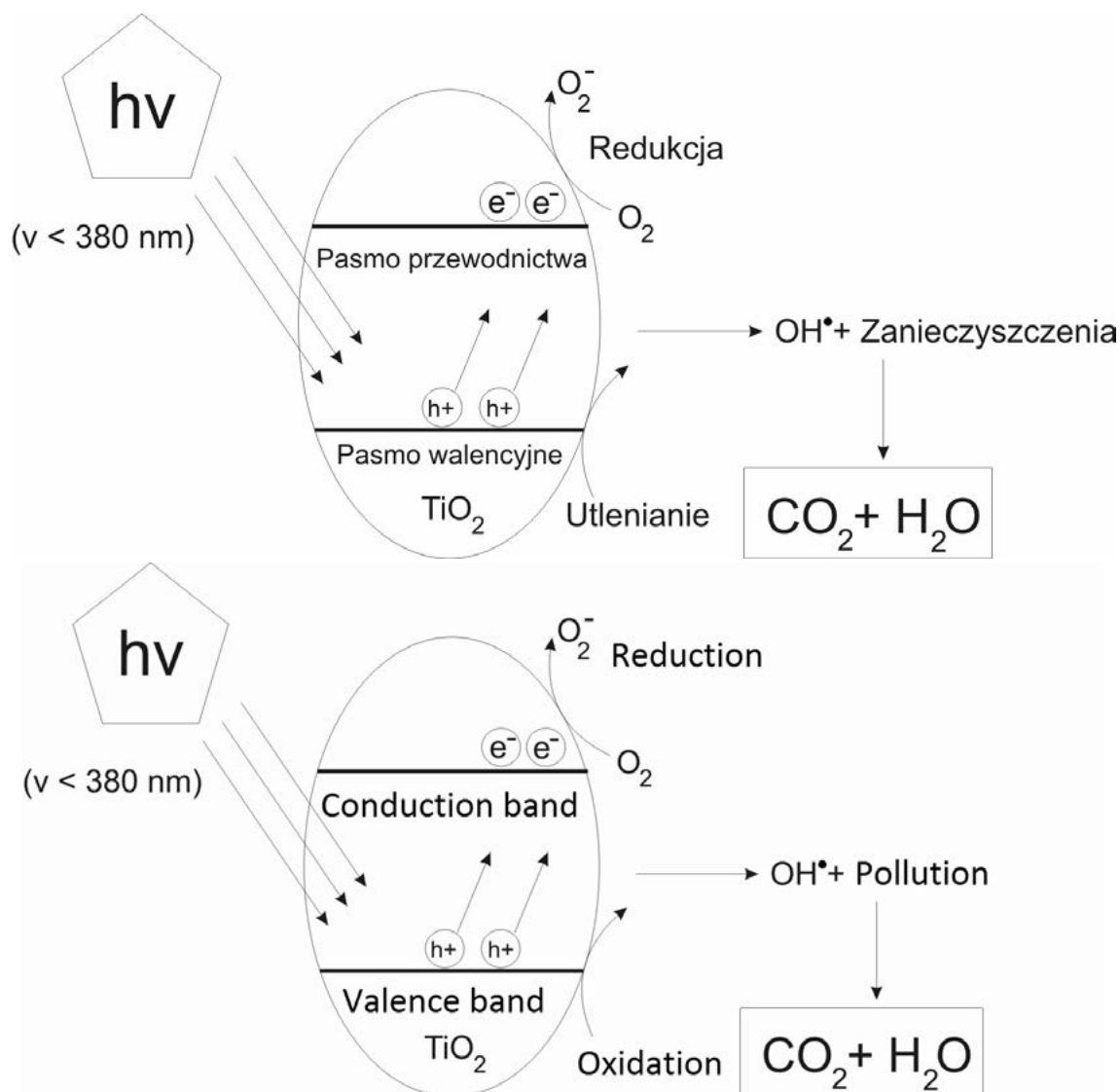
Fig 3. Scheme of photodegradation benzene [51-52]

- 3) fotokatalityczne: TiO_2/UV , Fe^{+2}/UV (photo-Fenton) radiacyjne: promieniowanie γ , słoneczne czy jonizujące, ultradźwięki same bądź łącznie z H_2O_2 lub O_3

W procesach tego typu wykorzystuje się tlenki metali, np. TiO_2 , ZnO , Fe_2O_3 , które posiadają właściwości półprzewodnikowe [53]. Schemat fotokatalitycznego utleniania można przedstawić następująco:

Procesy degradacji fotokatalitycznej są bardzo dobrą metodą usuwania zanieczyszczeń ze względu na niewielkie koszty, łagodne warunki prowadzenia procesów i możliwość całkowitej mineralizacji zanieczyszczeń [54]. Fotodegradacja każdej substancji organicznej zachodzi z wytworzeniem związków pośrednich powstających w wyniku ataku HO^\bullet . Dla przykładu poniżej przedstawiono fotokatalityczne utlenianie chlorofenolu.

Powstałe rodniki OH^\bullet wchodzi w reakcje z substancjami organicznymi zawartymi w ściekach, tworząc rodniki organiczne (R^\bullet , ROO^\bullet).



Ryc. 4. Schemat fotokatalitycznego utleniania na TiO_2

Fig. 4. Scheme of photocatalytic oxidation over TiO_2

naturalne lub sztuczne, które po dostaniu się do organizmu powodują zaburzenia funkcjonowania systemu endokrynnego) są dla ludzi i innych organizmów żywych bardzo toksyczne już w małych stężeniach i po krótkim czasie kontaktu z nimi [58]. Ponadto związki te należą do ekstremalnie opornych na biologiczną degradację, np. arbamazepiny, diklofenak, 2,4-dichlorofenol, erytromycyna-H₂O [59-63]. W celu zwiększenia biodegradowalności i detoksykacji tych związków wykorzystuje się dziś techniki AOPs, takie jak fotokataliza, ozonowanie (ang. *pre-oxidation step*) czy słoneczne utlenianie (ang. *solar photo-Fenton*) w odpowiednio ustalonym pH, stężeniu nadtlenu wodoru i czasie.

Ścieki zawierające oliwę z ekstrakcji oleju niszczą ekosystemy wodne, wskutek generowania przez ten ekstrakt ogromnych ilości związków wysoce fitotoksycznych. Połączenie techniki AOP z konwencjonalną metodą biologiczną pozwala na zmniejszenie toksyczności i zwiększenie biodegradowalności tych związków.

Wyzwaniem na przyszłość jest zwiększenie efektywności usuwania szkodliwych związków ze ścieków przez modyfikację aktualnych technologii neutralizacji, nie zwiększając przy tym kosztów. Opłacalność jest szczególnie ważna, ponieważ najbardziej zaawansowane technologie są energochłonne i bardziej kosztowne niż konwencjonalne.

5. Podsumowanie i wnioski

Z procesem dekontaminacji ludzi i mienia nieodłącznie związany jest problem dekontaminacji powstałych ścieków. W przypadku pojazdów powstałe w wyniku dekontaminacji ścieki zbierane są ze specjalnych kuwet najazdowych do zbiorników, w których do odkażania wykorzystuje się jedną z metod utleniania (fotoutlenianie lub utlenianie chemiczne) lub metody termiczne (spalanie lub piroliza).

Metody pogłębionego utleniania AOPs w połączeniu z innymi metodami alternatywnymi, takimi jak techniki remediacji (kompostowanie, bioreaktorów, landfarming) i bioremediacji (bioaugmentacja, biostymulacja, biowentylacja i fitoremediacja) są i będą coraz częściej wykorzystywane do oczyszczania ścieków podekontaminacyjnych. Ich celem jest usunięcie zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych, jak również zwiększenie ich biodegradowalności. Podczas utleniania zanieczyszczeń organicznych mogą powstawać związki pośrednie, bardziej toksyczne niż zanieczyszczenia wyjściowe. W celu uniknięcia tego problemu podczas procesu oczyszczania należy bezwzględnie stosować się do zaleceń i monitorować wszystkie procesy oczyszczania za pomocą specjalnych testów. Otrzymana w tych warunkach woda jest wodą pitną.

Wynika z tego, że podana definicja dekontaminacji powinna zostać rozszerzona o dekontaminację

powstałych ścieków i ocenę ich neutralizacji na każdym etapie, czyli w trakcie wstępnej i całkowitej dekontaminacji ścieków.

Od 4 lipca 2012 roku zaczęła obowiązywać nowa dyrektywa UE W sprawie kontroli zagrożeń poważnymi awariami związanymi z substancjami niebezpiecznymi zmieniająca, a następnie uchylająca dyrektywę Rady 96/82/WE, a w najbliższym czasie zostaną wprowadzone zmiany w ustawie Prawo ochrony środowiska z 2001 r., w celu zwiększenia bezpieczeństwa chemiczno-ekologicznego. Na poprawę bezpieczeństwa środowiska mają wpływ programy badawczo-rozwojowe organizowane przez NCBiR i programy ramowe UE. W wyniku ich realizacji powstają innowacyjne rozwiązania, takie jak wykorzystanie pianotwórczych środków gaśniczych do wytwarzania pian dekontaminacyjnych z użyciem roztworów utleniających i biodegradowalnych związków powierzchniowo czynnych oraz nowe techniki ich podawania (takie jak system wytwarzania piany za pomocą sprężonego powietrza (ang. *CAFS-Compressed-Air-Foam-System*), używane w sytuacjach zagrożeń terrorystycznych. Najnowocześniejsze turbiny samochodowe gaśnicze czy bezałogowe pojazdy przeznaczone do działań w strefie niebezpiecznej to kolejne przykłady rozwiązań technologicznych w ratownictwie chemicznym.

Przeprowadzona analiza danych pozwala na wytyczenie kierunków badawczych związanych z zapewnieniem niezbędnego poziomu bezpieczeństwa środowiska związanego z wdrażaniem systemów dekontaminacji ścieków podekontaminacyjnych powstałych po odkażaniu pojazdów. Należy do nich zamknięty system, w którym ścieki są odprowadzane z kuwety najazdowej do specjalnych pojemników. Pojemniki ze ściekami są poddawane dekontaminacji (in situ), albo wywożone do miejsca utylizacji (ex-situ).

Niezależnie od ciągłego podnoszenia poziomu systemów bezpieczeństwa chemiczno-ekologicznego konieczne jest prowadzenie prac nad rozwojem metod i urządzeń przeznaczonych do dekontaminacji ludzi i otaczającego środowiska oraz powstałych w ich wyniku ścieków.

Literatura

1. Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o Państwowej Straży Pożarnej; (Dz. U. z 2009 r. Nr 12, poz. 68);
2. *Rozporządzenie* Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 29 grudnia 1999 r. w sprawie szczegółowych zasad organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego (Dz. U. 1999 nr 111, poz. 1311);
3. Wytyczne do organizacji ratownictwa chemiczno-ekologicznego w Krajowym Systemie Ra-

- townictwa Gaśniczego, Wyd. Komenda Główna PSP, Warszawa, 27.04.2007 r.;
4. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001r. o odpadach (Dz. U. z 2001 r. Nr 185, poz. 1243 z późn. zm.);
 5. Obolewicz A., *Zagrożenia CBRN*, „Przegląd Pożarniczy”, 4 (2012), 28–30.
 6. Australian Aquatic Veterinary Emergency Plan Aquavetplan, *Operational Procedures Manual Decontamination wersja 1.0*, 25.09.2008 r.; [dok. elektr.] http://www.daff.gov.au/_data/assets/pdf_file/0008/617183/decontamination-manual.pdf [dostęp 8 sierpnia 2013];
 7. Dyrektywa Rady UE 96/82/WE z 9 grudnia 1996 r. (tzw. SEVESO II) w sprawie kontroli niebezpieczeństwa poważnych awarii związanych z substancjami niebezpiecznymi;
 8. Dyrektywa 96/61/WE zwana Dyrektywą IPPC (Integrated Pollution, Prevention and Control – w sprawie zintegrowanego zapobiegania i zmniejszania zanieczyszczeń);
 9. Zbrowski A., Samborski T., *Systemy techniczne wspomagające bezpieczeństwo i procesów technicznych jako czynnik zmniejszenia skutków wypadków i katastrof przemysłowych*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 3 (2010), 123–129;
 10. Pich R., Majewski P., Wrzesiński J.A., *Organizacja ruchu uszkodzanych w czasie likwidacji skażeń (dekontaminacji)*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 3 (2011), 115–122;
 11. Rogoś E., Zbrowski A., *Perspektywy rozwoju systemów zwiększających bezpieczeństwo ekologiczne*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 4 (2010), 47–58;
 12. Ministerstwo Środowiska, *Najlepsze Dostępne Techniki (BAT), branża celulozowo-papiernicza*, Warszawa, grudzień 2006;
 13. Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz. U. z 2001 r. Nr 62, poz. 627). Ustawa wielokrotnie nowelizowana, ostatnia zmiana weszła w życie z dniem 7 marca 2013 r.;
 14. Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (Dz. U. z 2007 r. Nr 89, poz. 590 z późn. zm.);
 15. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/18/UE z dnia 4 lipca 2012 r. w sprawie kontroli zagrożeń poważnymi awariami związanymi z substancjami niebezpiecznymi, zmieniająca, a następnie uchylająca dyrektywę Rady 96/82/WE, została opublikowana w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej pod pozycją L 197 w dniu 24 lipca 2012 r.;
 16. Dane katalogowe produktów do odkazania sprzętu i pojazdów, [dok. elektr.] <http://www.sprzet-ratowniczy.pl> [dostęp 8 sierpnia 2013];
 17. Organizacja dekontaminacji wstępnej w ramach Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego, [dok. elektr.] http://www.straz.gov.pl/data/other/dekon_wstepna.pdf [dostęp 8 sierpnia 2013];
 18. Dane katalogowe produktów służących do neutralizacji, odkazania pojazdów, [dok. elektr.] <http://www.sei-ind.com/products/military-decontamination> [dostęp 8 sierpnia 2013];
 19. Decontamination of Chemical Warfare Agents, [dok. elektr.] <http://www.opcw.org/our-work/assistance-and-protection/protection-against-chemical-weapons/decontamination/> [dostęp 8 sierpnia 2013];
 20. Jiang W., Mashayekhi H., and Xing B., *Bacterial toxicity comparison between nano-vegetative cells of Bacillus species, viruses, and toxins*. „Current Microbiology”, 44 (2009), 49–55;
 21. Makhluף S., Dror R., Nitzan Y., Abramovich Y., Jelinek R., and Gedanken A., *Microwave-assisted synthesis of nanocrystalline MgO and its use as a bactericide*. „Advanced Functional Materials”, 15 (2005), 1708–1715;
 22. Manoj K. Ram, Silvana Andreescu, Hanming Ding, *Nanotechnology for Environmental Decontamination*, „Mcgraw Hill Book CO”, Maj 2011, edycja 1;
 23. Dąbek L., Ozimina E., *Usuwanie zanieczyszczeń organicznych z roztworów wodnych metodą pogłębionego utleniania*, „Ochrona środowiska i zasobów naturalnych”, 41 (2009), 369–376;
 24. Biń K., *Zastosowanie procesów pogłębionego utleniania do uzdatniania wody*, „Ochrona Środowiska”, 1(68), (1998), 3–6;
 25. Świdarska R., Czerwińska M., Kutz R., *Utlenianie zanieczyszczeń organicznych za pomocą odczynnika Dentona*, VII Konf. Nauk. Pt. Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii Środowiska, 2005, Zeszyty Naukowe Nr 22, Politechnika Koszalińska: 1–12;
 26. Kulik N., Trapiło M., Veressinina Y., Goi A., Munter R., *The Fenton chemistry as an effective tool for treatment generated by different processes*, International Conference on Environmental Research and Technology, ICERT 2008, 811–815;
 27. Zieliński M., Dębowski M., *Technologie oczyszczania ścieków powstałych w procesie obróbki i czyszczenia stali z wykorzystaniem metody pogłębionego utleniania*, „Woda i ścieki”, 6 (2011), 9–14;
 28. Kulikowska D., *Charakterystyka oraz metody usuwania zanieczyszczeń organicznych z odcieków pochodzących z ustabilizowanych składowisk odpadów komunalnych*, „Ecological Chemistry and Engineering S”, 16 (2009), 389–402;
 29. Bzdon S., Perkowski J., Szadkowska-Nicze M., *Zastosowanie modyfikowanego TiO_2 w procesach fotokatalitycznego utleniania związków organicznych*

- nych w roztworach wodnych, „Prace Instytutu Elektrotechniki”, 228 (2006), 203–223;
30. Rodriguez S. M., Galvez J.B., *Solar photocatalysis and water treatment: detoxification and disinfection*, “Solar energy conversion and photoenergy system”, vol. II, 2004;
31. Wąsowski J., Piotrowska A., *Rozkład organicznych zanieczyszczeń wody w procesach pogłębianego utleniania*, „Ochrona Środowiska”, 2 (85), (2002), 27–32;
32. Kot-Wasik A., Dąbrowska D., Namieśnik J., *Degradacja związków organicznych w środowisku*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Gdańskiej, 33 (2003), 699–721;
33. Barbusiński K., *Oczyszczanie ścieków przemysłowych metodami katalitycznymi z wykorzystaniem nadtlenu wodoru*, „Chemik”, 2 (2001), 31–3320;
34. Nowak J., *Bioremediacja gleb z ropy i jej produktów*, Biotechnologia, 1(80), (2008), 97–108;
35. *Przewodnik w zakresie reagowania na awarie zagrażające środowisku, część II. Techniki kontroli zanieczyszczeń*, 2007 r. wg. RIVER SHIELD 5D189, współfinansowany przez INTERREG III B program CADSES, 2007 r., [dok. elektr.] http://www.ios.edu.pl/pol/river/dokumenty/training_gorzow_tehniki_kontroli_zanieczyszczen_przewodnik_2.pdf [dostęp 8 sierpnia 2013];
36. Majewski P., Zielonka Z., Wrzesiński J. A., *Nowa metoda usuwania radioaktywnych zanieczyszczeń z roztworów poakcyjnych*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 2 (2011), 51–58;
37. Rakowska J., Porycka B., Nagrodzka M., *Ekologiczne kierunki zmian bazy surowcowej w koncentratkach gaśniczych*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 3 (2010), 107–116;
38. Mizerski A., *Rozszerzona charakterystyka środków pianotwórczych stosowanych w pożarnictwie i ratownictwie chemicznym*, Zeszyty Naukowe SGSP Nr 35, Warszawa, 2007, 33–52;
39. Ciosek A., *Badania możliwości zastosowania pianotwórczych środków gaśniczych do wytwarzania pian dekontaminacyjnych*, Zeszyty Naukowe SGSP Nr 35, Warszawa, 2007, 19–31;
40. Twardochleb B., *Aktywność powierzchniowa, pianotwórczość oraz biodegradowalność surfaktantów stosowanych w pianotwórczych środkach gaśniczych*, „Przemysł chemiczny”, 90/10, (2011), 1802–1807;
41. Łenyk M., Żak G., *Badania właściwości powierzchniowych nowych dodatków detergencowo-dyspergujących i demulgujących*, NAFTA-GAZ, (2010), 825–834;
42. Węsierski T., *Nowoczesne technologie ratownictwa chemicznego*, „Przemysł Chemiczny”, 4 (91), (2012), 578–581;
43. Legrini O., Olivers E., Braun A.M., *Photochemical processes for water treatment*, „Chemical Reviews” 93(2), (1993), 671–698;
44. Perkowski J., Szadkowska–Nicze M., Bzdon S., Łada E., *Fotochemiczny rozkład dodecylobenzenosulfonianu sodu w roztworach wodnych*, Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej Politechniki Łódzkiej, zeszyt 234, (2008);
45. Wąsowski J., Piotrkowska A., *Rozkład organicznych zanieczyszczeń wody w procesach pogłębianego utleniania*, „Ochrona Środowiska”, 85(2), (2002), 27–32;
46. Herrera F., Kiwi J., Lopez A., Nadtochenko V., *Photochemical decoloration of remazol brilliant blue and uniblue A in the presence of Fe³⁺ and H₂O₂*, Environmental Science & Technology 33(18), (1999), 3145–3151;
47. Aplin R., Feitz A. J., Waite T. D., *Effect of Fe (III) – ligand a properties on effectiveness of modified photo – Fenton processes*, „Water Science and Technology”, 44(5), (2001), 23–30;
48. Nicole, I., De Laat, J. & Dore, M. *Evaluation of reaction rate constants of OH radicals with organic compounds in diluted aqueous solutions using H₂O₂/UV process*, In Proc. 10th Ozone World Congr., March 1991, Monaco, 1, 279–290;
49. Hirvonen, A., Tuhkanen, T. & Kalliokoski, P., *Treatment of TCE – and TeCE–contaminated groundwater using UV/H₂O₂ and O₃/H₂O₂ oxidation processes*, „Water Science and Technology”, 33 (1996), 67–73;
50. Bischof, H., Höfl, C., Schönweitz, C., Sigl, G., Wimmer, B. & Wabner, D. *UV–activated hydrogen peroxide for ground and drinking water treatment – development of technical process*. In Proc. Reg. Conf. Ozone, UV-light, AOPs Water Treatm., September 24–26, 1996. Amsterdam, Netherlands, 117–131;
51. EPA Handbook, *Advanced Photochemical Oxidation Processes*, Office of Research and Development Washington, DC 20460, December 1998;
52. *The UV/Oxidation Handbook*, Solarchem Environmental Systems, 1994;
53. Brillas E., Mur E., et al., *Aniline mineralization by AOPs: Anodic oxidation, photocatalysis, electro-Fenton and photoelectro-Fenton processes*. „Applied Catalysis B: Environmental”, 16(1), (1998), 31–42;
54. Balci B., Oturan M.A., et al., *Decontamination of aqueous glyphosate, (aminomethyl) phosphonic acid, and glufosinate solutions by electro-Fenton-like process with Mn²⁺ as the catalyst*. „Journal of Agricultural and Food Chemistry”, 57(11), (2009), 4888–4894;

55. Fujishima A., Rao Tata N., Tryk Donald A., *Titanium dioxide photocatalysis.*, „Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews” 1 (2000), 1–21;
56. Oller I., Malato S., Sanchez-Perez J.A., *Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for waster decontamination – A review*, „Science of the Total Environment”, 409 (2011), 4141–4166;
57. Rizzo L, *Bioassays as a tool for evaluating advanced oxidation processes in water and wastewater treatment*, „Water Research”, 45 (2011), 4311–4340;
58. Filali-Meknassi Y., Tyagi R.D., Surampalli R.Y., Barata C., Riva M.C., *Endocrine disrupting compounds in wastewater, sludge treatment processes and receiving waters: overview*, „Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management” 8 (2004), 1–18;
59. Heberer T., *Occurrence, fate, and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data*, „Toxicology Letters”, 131/1–2 (2002), 5–17;
60. Stackelberg P.E., Furlong E.T., Meyer M.T., Zaugg S.D., Henderson A.K., Reissman D.B., *Persistence of pharmaceutical compounds and other organic wastewater contaminants in a conventional drinking-water-treatment plant*, „Science of The Total Environment”, 329/1–3 (2004), 99–113;
61. Carballa M., Omil F., Lema J.M., Llombart M., García-Jares C., Rodríguez I., Gómez M., Ternes T., *Behavior of pharmaceuticals, cosmetics and hormones in a sewage treatment plant*, „Water Research”, 38/12 (2004), 2918–2926;
62. Commission of the European Communities, *The implementation of the Community strategy for endocrine disrupters: A range of substances suspected of interfering with the hormone systems of humans and wildlife*. COM [1999], Vol. 706, (2001);
63. Thomaidis N.S., Asimakopoulos A.G., Bletsou A.A., *Emerging contaminants: a tutorial mini-review*, „Global NEST Journal”, 14 (2012), 72–79.

mgr Michał Łudzik – absolwent Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu Wydział Chemii. Jest asystentem w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej w Zespole Laboratoriów Badań Chemicznych i Pożarowych. Zajmuje się badaniami kwalifikacyjnymi środków gaśniczych oraz sprzętu podręcznego.