

Augustyn Chwaleba,
Anatoly G. Jatsunenکو¹
Włodimir P. Kamkov¹
Jan Szczurko²
Józef Szmítkowski³
Sergey A. Yatsunenکو⁴
Stefan Wilczkowski³

¹ Instytut Mechaniki Technicznej
Ukraińska Akademia Nauk i Agenda Badan Kosmicznych
Dniepropietrowsk, Ukraina

² Instytut Systemów Mechatronicznych Wojskowa Akademia Techniczna

³ Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwporażeniowej - PIB

⁴ Instytut Fizyki PAN

OCENA POZIOMU ODPORNOŚCI I TYPU REAKCJI ADAPTACYJNEJ ORAZ MOŻLIWOŚCI TERAPII STYMULACYJNEJ STRESU Z WYKORZYSTANIEM PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH BARDZO WIELKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

**Assessment of the level and type of immune response and the possibility
of adaptive stimulation therapy using electromagnetic fields very high frequency**

Streszczenie

Diagnostyka stanu organizmu człowieka z wykorzystaniem sygnałów elektrycznych wielkiej częstotliwości polega na pomiarze parametrów elektrycznych (składowych czynnej i biernej, przewodności elektrycznej) komórki lub zespołu komórek oraz płynu tkankowego (środowiska humoralnego). Parametry te mierzy się za pośrednictwem punktów biologicznie aktywnych (PBA) i wyraża w jednostkach umownych (j.u.) - względnych w stosunku do parametrów wzorców chorobowych. Wielokrotne badania na dużej grupie pacjentów zdrowych pozwoliły ustalić „korytarz normy”, który dla składowej biernej przewodności elektrycznej (admitancji) zawiera się w przedziale (51÷65) j.u., a dla składowej czynnej w przedziale (60÷75) j.u. Stres jest definiowany jako stan organizmu o charakterze emocjonalno - funkcjonalnym, zaburzającym jego właściwe funkcjonowanie. Stres może być pochodzenia fizycznego (biologicznego) lub psychologicznego. Stres ma trzy fazy : obawy, strachu (faza stabilności odpornościowej), wyczerpania. Dwie pierwsze fazy stresu charakteryzują się tym, że organizm samoczynnie uruchamia mechanizmy aktywacyjno - adaptacyjne. Faza wyczerpania jest równoznaczna z chorobą, w wyniku której może nastąpić zgon. W dwóch pierwszych fazach wartości modułów składowych czynnej i biernej admitancji są powyżej korytarza normy, natomiast w fazie wyczerpania towarzyszy zmniejszenie modułów składowych admitancji dla większości organów, a objawami stanu patologii są procesy puchnięcia i ogólnej arteriosklerozy.

Terapia stresu z wykorzystaniem pól elektromagnetycznych b.w.cz. ma charakter reaktywacyjny i polega na pobudzaniu i podtrzymaniu w organizmie reakcji adaptacyjnych. Celem terapii jest usprawnienie komunikacji informacyjnej między narządami i układami wewnątrz organizmu a środowiskiem zewnętrznym - skutkującym podwyższeniem odporności i normalizacją homeostazy organizmu. Przy terapii stymulacyjnej należy uwzględnić cykliczność i dyskretność reakcji adaptacyjnych organizmu. Dlatego terapia stresu powinna mieć charakter okresowy (dostosowany do biorytmu organizmu), a dawka pierwsza medium terapeutycznego powinna być mała, a następne powinny się różnić o (10÷20)%. Terapia (podobnie jak stany zachorowań) powinna przebiegać według algorytmu : informacja -> energia -> materia. Pierwsza dawka promieniowania elektromagnetycznego oddziałuje na cały organizm - aktywując właściwości regulacyjne komórek, a następnie wzmacniają tę aktywację - działając leczniczo. Ogólne i miejscowe reakcje adaptacyjne w czasie ich długotrwałego podtrzymania doprowadzają do ich inercyjnej stabilizacji - poziom reaktywności organizmu dostosowuje się do nowych warunków środowiskowych. Oznacza to, że człowiek dostosuje się do otaczającego środowiska - co jest równoznaczne ze skutecznym leczeniem.

Summary

Diagnosis of the human body using high frequency electrical signals consists in measuring the electrical parameters (active and passive components, electrical conductivity) of the cell or group of cells and tissue fluid (humoral environment). These parameters are measured through biologically active points (BAP) and are expressed in arbitrary units (a.u.) - relative to the parameters of disease patterns. Repeated tests on a large group of healthy patients have established „corridor standards,” which for the passive component of the electrical conductivity (admittance) is in the range (51 ÷ 65) already, and for the active component in the interval (60 ÷ 75) a.u.

Stress is defined as a condition of the body of an emotional - functional character, disrupting its proper functioning. Stress may have physical (biological) or psychological origins.

Stress has three phases: anxiety, fear (stability phase of immunity), exhaustion. The first two phases of stress are characterized by the fact that the body automatically runs the activation - adaptive mechanisms. Exhaustion phase is synonymous with the disease - as a result death may occur. In the first two phases values of the constituent modules of active and passive admittance are above the norm, while at the stage of exhaustion values are accompanied by a reduction in the constituent modules of admittance to most organs, and symptoms of pathology are the processes of swelling and general arteriosclerosis.

Treatment of stress with the use of RF & Microwave electromagnetic fields has a reactivation character and includes stimulating and sustaining adaptive reactions in the body. The aim of therapy is to improve communication of information between the organs and systems within the body and the external environment - resulting in an increase of immunity and normalization of homeostasis. Stimulation therapy should take into account the periodicity and the discretion of body's adaptive responses. Therefore, stress therapy should have periodic character (adapted to the biorhythm of the body), and the first dose of therapeutic medium should be small, and the next should be differ about (10 ÷ 20)%. Therapy (as well as disease states) should be handled by the algorithm: information -> energy -> matter. The first dose of electromagnetic radiation affects the whole body - activating the regulatory properties of cells, and then reinforcing this activation - acting therapeutically. General and local adaptive responses during their long-term maintenance have led to their inertial stabilization - the level of reactivity of the organism adapts to new environmental conditions. This means that a person adapts to the surrounding environment - which is tantamount to effective treatment.

Słowa kluczowe: nowe technologie medyczne, choroby psychosomatyczne, stres, efekt antystresowy;

Keywords: new medical technologies, psychosomatic illness, stress, antistress effect;

Wprowadzenie

Zgodnie z filozofią wschodu, człowiek nie staje się zdrowy uwalniając się od choroby. Proste obserwacje świadczą o tym, że stanów zdrowia może być wiele. Prawidłowe są wyobrażenia o zdrowiu jako o procesie całkowitego przystosowania organizmu do otaczającego środowiska.

Najbardziej stabilnym stanem organizmu z charakterystycznymi zmianami w organizmie, odpowiadającym górnym granicom normy, bliskiej normie młodego organizmu jest stan podwyższonej reaktywności.

Współcześnie opracowano szereg metod i sposobów oceny stanu funkcjonalnego organizmu i bezinwazyjnego sterowania tym stanem w celu ich profilaktyki i leczenia. Są to następujące diagnostyczne i terapeutyczne zestawy aparaturowo-programistyczne:

- zestaw do elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki stanu funkcjonalnego organizmu ludzkiego, bazujący na wskaźnikach określających poziom odporności i rodzaj reakcji adaptacyjnej organizmu;
- zestaw do informacyjno-punktowej terapii biorezonansowej z wykorzystaniem promieniowania elektromagnetycznego bardzo wielkiej częstotliwości o subniskim poziomie gęstości mocy.

W ramach diagnostyki i terapii stresu wykorzystuje się metodykę i aparaturę do:

- monitorowania stanu funkcjonalnego centralnego i wegetatywnego systemów nerwowych, różnych organów i sy-

stemów w warunkach początkowej fazy rozwoju stresu, a także w fazie ostrego i chronicznego stresu;

- dynamicznej obserwacji poziomu odporności i rodzaju reakcji adaptacyjnej w trakcie terapii stymulacyjnej z wykorzystaniem promieniowania elektromagnetycznego b.w.cz.

Zadania stawiane przed metodyką i zestawem aparaturowo-programistycznym służącym do diagnostyki i terapii stymulacyjnej stresu są następujące:

- ocenić stan funkcjonalny wszystkich organów i systemów tkankowych ludzkiego organizmu;
- wyznaczyć poziom reaktywności i rodzaj reakcji adaptacyjnej;
- wyprowadzić organizm z reakcji stresowej i przeprowadzić go na bardziej przyjazne (właściwe) organizmowi reakcje energetyczne;
- podtrzymać stałość podstawowych parametrów środowiska wewnętrznego organizmu, przede wszystkim, zapewnić oddziaływanie energo-informacyjne na procesy biochemiczne.

Diagnostyka stresu podczas zaburzeń funkcjonalnych organizmu z wykorzystaniem pól elektromagnetycznych

Istotną różnicą proponowanych diagnostycznych zestawów aparaturowo-programistycznych od klasycznej Wołowskiej diagnostyki jest wydzielenie z przewodności

elektrycznej zespolonej admitancji PBA dwóch składowych: biernej i czynnej. Wykorzystanie wartości składowych admitancji zespolonej - biernej i czynnej w elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyce pozwala jakościowo i ilościowo ocenić stan funkcjonalny badanego pacjenta, a także, w przypadku obecności stresu, określić jego stadium rozwoju, z perspektywnym określeniem taktyki leczenia danego stanu.

Składowa bierna charakteryzuje środowisko wewnątrzkomórkowe, a składowa czynna charakteryzuje przestrzeń międzykomórkową. Między środowiskami wewnętrznym i zewnętrznym komórki cały czas występują wzajemne oddziaływania, polegające na wymianie cząstek materialnych, energii i informacji. Mając na uwadze fakt, że procesy elektryczne zachodzące na poziomie komórki, podyktowane są prądem jonów, należy zaznaczyć, że między wewnętrznym i zewnętrznym środowiskami komórki do normalnego przebiegu życiodajnych procesów powinien być zachowany pewien gradient jonowy. W tym sensie niezgodność wartości modułów składowych admitancji zespolonej – biernej i czynnej w trakcie przeprowadzania elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki, okazuje się doskonałym naturalnym czynnikiem odzwierciedlającym jakość procesów życiodajnych.

W wyniku przeprowadzonych badań, na dużej grupie pacjentów, udowodniono, że wartość składowej czynnej jest w normie, jeżeli przy jednoczesnym pomiarze punktów biologicznie aktywnych (PBA), będzie większa od wartości składowej reaktancyjnej o 5-15 jednostek umownych (j.u.). Korytarz normy modułów składowej biernej odpowiada poziomowi 51-65 j.u., korytarz normy składowej czynnej wynosi 60-75 j.u.

Stres jest definiowany jako stan organizmu o charakterze emocjonalno-funkcjonalnym, zaburzającym jego właściwe funkcjonowanie. Stres może być pochodzenia fizycznego (biologicznego) lub psychologicznego. Pierwszy rodzaj stresu powodowany jest przez bodźce szkodliwe dla organizmu (tzw. Stresor) np. głód, zimno, wtargnięcie drobnoustrojów chorobotwórczych. Stres psychologiczny powodowany jest przez czynniki zewnętrzne utrudniające (lub uniemożliwiające) zaspokojenie potrzeb, osiągnięcie określonych wartości.

Przy braku stresu: wartości wskaźników składowych biernej i czynnej admitancji zespolonej elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki i wskaźnika wegetatywnego zabezpieczenia funkcji znajdują się w korytarzu normy.

Pierwszym etapem stresu (ogólnego syndromu adaptacyjnego) jest stan obawy. Jego rozwój jest bardzo intensywny (średnio w ciągu 6 godzin po oddziaływaniu czynnika stresogennego). Zgodnie z zasadami patofizjologii, w czasie tego etapu zostaje zainicjowana początkowa mobilizacja ochronna organizmu. Jednym z podstawowych mechanizmów ochronnych organizmu jest wyraźna aktywacja systemu sympatoadrenalogenicznego. Charakteryzuje się tym, że następuje zwiększenie i wzrost aktywno-

ści kory przysadki mózgowej, zmieniają się właściwości strukturalno-funkcjonalne między innymi węzłów limfatycznych.

Wykorzystując wyniki wieloletnich badań z zastosowaniem elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki i ontogenicznego modelu organizmu ludzkiego, który jest podstawą elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki, należy stwierdzić, że na etapie obawy występują następujące zmiany ogólnego syndromu adaptacyjnego. Nietypowe zmiany (mogą być charakterystyczne dla różnych systemów morfologiczno-funkcjonalnych, niezależnie od przynależności ich do tego lub innego bloku modelu ontogenetycznego): wartości składowej czynnej powyżej korytarza normy. Te zmiany podczas elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki są spowodowane tym, że zmiany zachodzące w organizmie na danym etapie, występują przede wszystkim na poziomie środowiska humoralnego, w przestrzeni międzykomórkowej. Przy czym w blokach tranzytowym, strukturalnym i adaptacyjnym systemu morfologicznego mogą mieć charakter wybiórczy – w zależności od indywidualnych właściwości organizmu pacjenta (celowe jest tutaj wspomnieć o takiej kategorii jak, locus resistens minoris – miejsce najmniejszego oporu). Zmiany typowe (odzwierciedlają rodzaj ogólnego syndromu adaptacyjnego): wartości wskaźników składowych reaktancyjnej biernej i czynnej, otrzymanych podczas badania systemu morfologicznego, odnoszących się do bloku adaptacyjnego organizmu przewyższają korytarz normy. Związane jest to z tym, że na etapie reakcji na strach zachodzą zmiany nie tylko funkcjonalne, ale zachodzą też zmiany biochemiczne i strukturalne. Badania za pomocą elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki dowodzą, że typowe oznaki, charakteryzujące etap strachu nie objawiają się jednocześnie. Doświadczenie z diagnozowania stanów ostrych w początkowym etapie ich rozwoju pozwalają wyodrębnić wskaźniki składowych biernej i czynnej morfologicznego systemu limfatycznego organizmu najbardziej reagujące na zachodzące procesy.

Należy zauważyć, że już na etapie niepokoju, na podstawie wskaźników ogólnego adaptacyjnego syndromu otrzymanych z elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki, można sądzić o tym, jak silny był wpływ czynnika stresogennego na organizm człowieka. Jeżeli składowa bierna systemu morfologicznego, odnosząca się do bloku adaptacyjnego nie przewyższa 80 j.u. (energetyka napięć, stany przedzapalne) to wynik oddziaływania czynnika stresogennego oceniamy jako umiarkowany. W takiej sytuacji organizm, z zasady, jest zdolny w niedługim okresie samodzielnie korygować dany stan. Jeśli wartość wskaźnika przewyższa 80 j.u. – oddziaływanie czynnika stresogennego oceniamy jako silne. Rekomendowana jest niezwłoczna interwencja medyczna – oddziaływanie lekami, fizjoterapeutycznie.

Stadium obawy: wartości wskaźników składowych biernej i czynnej impedancji zespolonej elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki, charakteryzujących system morfologiczny bloku adaptacyjnego powyżej kory-

tarza normy; składowa czynna i wskaźnik wegetatywnego zabezpieczenia funkcji szeregu systemów morfologicznych odnoszących się do bloków transportowego, produkcyjnego i strukturalnego są powyżej korytarza normy.

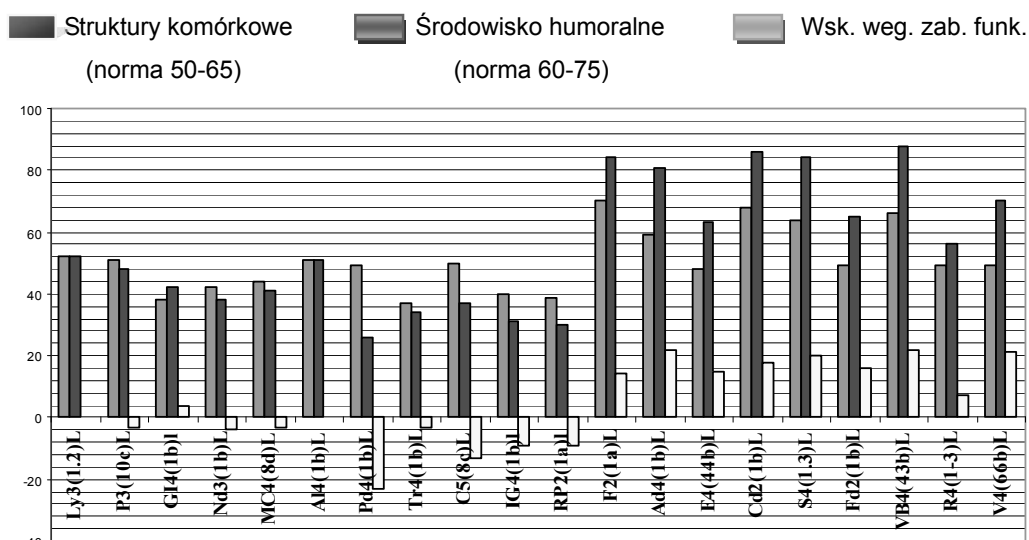
W praktyce diagnozowanie etapu niepokoju, ze względu na jego charakter ostry i krótkotrwały, nie jest zbyt częste. Bardziej aktualnym, przy przewidzianych wizytach pacjentów w gabinetach lekarskich i rehabilitacyjnych jest diagnozowanie następnych etapów ogólnego syndromu adaptacyjnego. Etap niepokoju w czasie 1-2 dni przechodzi w następny etap stresu – etap stabilności odpornościowej. Dla danego etapu charakterystyczne są takie pojęcia jak eustres (stres lekki, np. podniecenie przed podjęciem trudnego zadania, trema aktora lub sportowca przed występem) i distres. Eustres jest synonimem normalnego przebiegu procesu adaptacyjnego. Przykładem jego przebiegu mogą być procesy zachodzące w czasie treningów przy obciążeniu adekwatnym do możliwości sportowca. Badania, przeprowadzane na sportowcach wyczynowcach, dowodzą, że przy braku skarg i wyraźnych objawów klinicznych, wskaźniki elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki nie zawsze znajdują się w korytarzu normy. Tutaj pojawia się takie pojęcie, jak „zapłata za adaptację” – przebiegające jako dość stabilne odchylenie ze strony systemu morfologicznego, pośrednio odnoszące się do ostatecznego celu trenowanego organizmu (np.: system przygotowywania -stopniowania wysiłków, system wydolnościowy i inne). Diagnozowanie eustresu z następnym opracowaniem programów naprawczych odnosi się w większym stopniu do zagadnień medycyny sportowej niż medycyny klinicznej.

Stan distresu (drugi etap – odporność w stanie patologicznym) można zobrazować na przykładzie choroby chronicznej na etapie stabilnej remisji. Samopoczucie w tym stanie może charakteryzować się minimalnymi skargami (ponieważ stan systemu morfologicznego zmienia się dość dynamicznie) lub całkowitym ich brakiem.

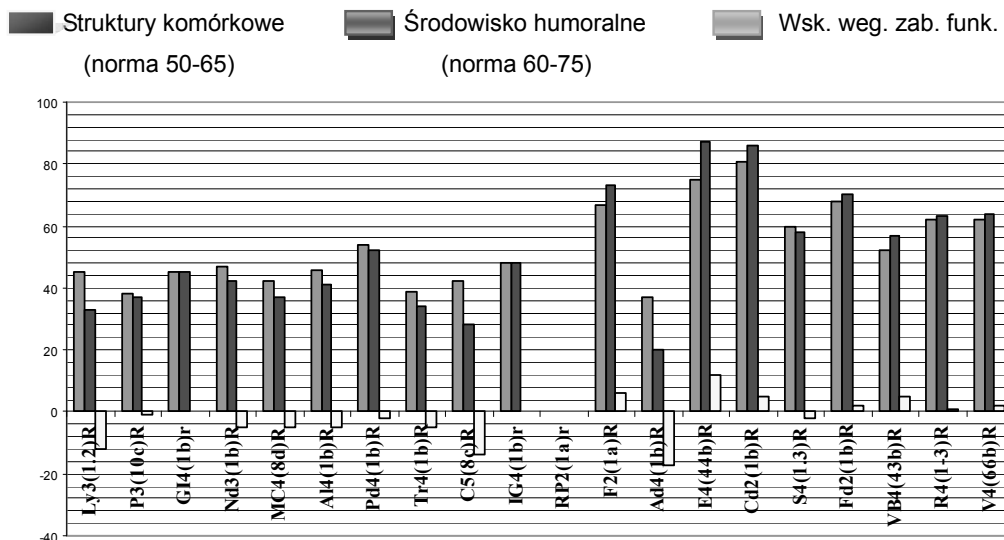
W związku z tym, wskaźniki elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki u pacjentów uwidoczniają się w wartości składowych reaktywnej jak i czynnej impedancji zespolonej. Specyfika patologii określana jest na podstawie odchyień od normy wskaźników systemu morfologicznego. Na etapie kompensacji pojedynczych wskaźników elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki mogą one mieć charakter prognostyczny.

Stadium odporności: stres fizjologiczny – wartości wskaźników składowych biernej i czynnej systemu morfologicznego (głównie - pośrednio zaangażowane w proces adaptacyjny) powyżej korytarza normy; stres patologiczny - wartości wskaźników składowych biernej i czynnej systemu morfologicznego, bezpośrednio zaangażowanych w proces adaptacyjny wyżej korytarza normy.

Jeżeli czynnik stresogenny okazuje się zbyt silnym lub organizm jest niezbyt stabilny, to wtedy następuje trzeci etap rozwoju ogólnego syndromu adaptacyjnego – etap wyczerpania organizmu (wycieńczenia). W odróżnieniu od poprzednich etapów, mobilizujących organizm, silne i długotrwałe oddziaływanie czynnika stresogennego prowadzi do choroby a nawet śmierci organizmu. Etapowi wycieńczenia towarzyszą także odpowiednie oznaki pochodzące z wartości modułów elektrograficznej punktowej ekspres- diagnostyki. Ten etap charakteryzuje się zmniejszeniem wartości absolutnych wskaźników składowych reaktancyjnej i czynnej składowych przewodności zespolonej. Przykładem takiej patologii, której towarzyszy trzeci etap ogólnego syndromu adaptacyjnego może być – proces puchnięcia, ogólna arteroskleroza. Praktyka pokazuje, że ponad połowa z diagnozowanych elektrograficzną punktową ekspres-diagnostyką ma zniżoną wartość wskaźników składowych reaktancyjnej i czynnej, jak i znaczące zmniejszenie wskaźnika wegetatywnego zabezpieczenia funkcji. Taką sytuację można zobrazować za pomocą wykresów przedstawiających wyniki otrzymane w codziennej praktyce (rys. 1 i rys. 2).



Ryc. 1. Wyniki elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki pacjenta W.D. – strona lewa
 Fig. 1. The results point electrographic express-diagnostics of patient W.D. – left



Ryc. 2. Wyniki elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki pacjenta W.D. – strona prawa
 Fig. 2. The results point electrographic express-diagnostics of patient W.D. - right

Na rysunkach przedstawiono wyniki elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki ogólnych zmian miążdżycy. Z przeprowadzonych badań wynika, że w około trzech czwartych badanych pacjentów systemy morfologiczne charakteryzują się zmniejszeniem wartości składowych biernej i czynnej elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki. W celu podkreślenia wyczerpania organizmu należy zaznaczyć, że charakterystyczne objawy występują nie tylko we wskaźnikach systemu morfologicznego a także odnoszą się do bloków adaptacyjnego, transportowego i produktywnego ontogenetycznego modelu ludzkiego organizmu. Nie w mniejszym stopniu niż zmiany w systemach morfologicznym odnoszą się także do bloku strukturalnego: system morfologiczny tkanki kostnej, chrząstki, naczyń krwionośnych, tkanki łącznej, mięśni i tkanki tłuszczowe.

Stadium wycieńczenia – składowe reaktacyjna i czynna admitancji zespolonej elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki poniżej korytarza normy. W trakcie całkowitego wycieńczenia organizmu (stan ciężkiej patologii organizmu) - wartości wskaźników składowych biernej i czynnej, dla ponad połowy badanych systemu morfologicznego poniżej korytarza normy.

Analiza danych z reakcji adaptacyjnych ma bezpośrednio powiązanie z problemem stresu. Jednak, w związku z dynamiką procesów zachodzących w czasie formowania tych reakcji, celowym środkiem jest poznanie ich - przez porównania wyników metody elektrograficznej punktowej ekspres-diagnostyki z innymi funkcjonalno-diagnostycznymi metodami, na przykład wspólnie z analizą widmową fali elektromagnetycznej.

Perspektywa technicznej realizacji operacyjnego sprzężenia zwrotnego w warunkach współczesnego rozwoju technologicznego okazuje się realnym. Najlepsze firmy proponujące rozwiązania aparaturowo-programistyczne wykorzystywane w biologii i medycynie, które są skomputeryzowanymi generatorami funkcyjnymi do fizy-

koterapii. Te urządzenia przeznaczone są do dozowanego oddziaływania czynnika leczniczego na organizm człowieka. Zasadniczo istnieje możliwość sterowania takim urządzeniem przez określony sygnał wejściowy zmieniający parametry w czasie rzeczywistym. Z tego wynika, że nieodzowne jest poszukiwanie sposobów i środków do technicznej realizacji urządzeń zdolnych przedstawiać wskaźniki stanu systemów morfologicznych w czasie rzeczywistym.

Zapoznanie się z rozwojem współczesnych funkcjonalno-diagnostycznych sposobów pozwala wnioskować, że perspektywnym podejściem do rozwiązania dowolnego zadania jest analiza widmowa fal elektromagnetycznych. Przekonanie o słuszności takiego podejścia ma swoje naukowe uzasadnienie. Potwierdza to odkrycie reakcji treningu i aktywacji, ilościowo wyrażone zespołem badań organizmu i jego systemów. To odkrycie pozwoliło rozwiązać szereg zadań związanych z diagnostyką. Przede wszystkim można określać rodzaj reakcji adaptacyjnej na podstawie pomiaru parametrów fali elektromagnetycznej. Został przebadany sygnał elektromagnetyczny, otrzymany za pomocą czujnika akustycznego pulsu z częstotliwością dyskretyzacji 100 Hz z wykorzystaniem 12 kanałowego analogowo-cyfrowego przetwornika.

Podczas badań z zastosowaniem analogowo-cyfrowego przetwornika udowodniono, że składowe harmoniczne widmowej analizy Fouriera mają różne poziomy regulacyjne dla różnych podsystemów. W trakcie rozwijania się różnych reakcji: stresu, treningu, spokojnej aktywacji, podwyższonej aktywacji i przewyższonej aktywacji w organizmie i jego podsystemach rozwijają się różne zespoły zmian. Posłużyło to za podstawę do wnioskowania, że różnice w charakterystykach częstotliwościowych fal elektromagnetycznych w różnych reakcjach adaptacyjnych wynikają z zestawu zmian w organizmie, szczególnie w jego adaptacyjności, wywoływaniem w mózgu wyciszenia (ochronnego lub poza zakresowego) lub

wzburzenia (fizjologicznego) funkcjonalnej aktywności podsystemów, ich synchronizacji i aktywnej wymiany energetycznej. Mając na uwadze, że organizm to złożony system drganiowy, należy założyć, że zmiany charakterystyk częstotliwościowych, amplitud harmoniczných i widma Fouriera powinny odzwierciedlać zmiany funkcjonalne organizmu.

Opisane rozwiązania mają bezpośrednie powiązania z praktycznym zastosowaniem w praktyce klinicznej jak i w ekspres-diagnostyce adaptacyjnych możliwości człowieka.

Terapia stymulacyjna z wykorzystaniem pól elektromagnetycznych b.w.cz. i o subniskim poziomie gęstości mocy

Terapia stymulacyjna – jest to terapia drogą pobudzenia i podtrzymywania w organizmie reakcji adaptacyjnych (reakcji treningu, spokoju i podwyższonej aktywności), przede wszystkim pobudzanie reakcji aktywacji. Pobudzając rozwój reakcji aktywacyjnej, tym samym podnosimy do górnych granic normy funkcjonalną aktywność regulacyjną podsystemów ochronnych organizmu, usprawniamy wzajemną komunikację informacyjną między organami i systemami wewnątrz organizmu oraz organizmu z zewnętrznymi czynnikami otoczenia, podwyższamy odporność i normalizujemy jego homeostazę. W następstwie organizm samoczynnie normalizuje stany funkcjonalne organów i systemów do poziomów charakterystycznych dla osoby zdrowej.

System okresowych reakcji adaptacyjnych pozwala wyjaśnić mechanizm adaptacyjny organizmu dla małych zmian czynników stresogennych. Na dowolny organizm oddziałują różne czynniki, pod względem ilościowym i jakościowym. Mechanizm adaptacji organizmu dla małych zmian czynników oddziałujących okazuje się najkorzystniejszy, ponieważ podczas reakcji na małe zmiany straty energetyczne są minimalne. Okresowość reakcji zwiększa efektywność i ekonomiczność adaptacji, wyjaśnia obecność zmian dyskretnych oraz różnic podczas przejścia z jednej reakcji w drugą.

System adaptacyjnych niespecyficznych reakcji (ogólnych i miejscowych) i system areaktywności, rozwój których podporządkowuje się okresowym ilościowo-jakościowym prawom, staje się podstawą rozwoju w organizmie stanów dyskretnych, realnych mechanizmów wielostopniowej regulacji homeostazy. W każdej chwili w organizmie zachodzą reakcje, następuje charakterystyczny zespół zmian, określaných rodzajem reakcji, a objawia się nowym poziomem reaktywności.

Autorzy opracowują metodę wielopoziomowego okresowego systemu regulacji organizmu, w celu ustanowienia mechanizmów samoregulacji za pomocą informacyjno-punktowej terapii biorezonansowej z wykorzystaniem promieniowania elektromagnetycznego b.w.cz. o subniskim poziomie gęstości strumienia mocy. Takie oddziaływanie wzmacnia reakcje adaptacyjne całego or-

ganizmu, samo staje się czynnikiem leczniczym, optymalizuje przeprowadzenie dowolnej terapii tradycyjnymi preparatami leczniczymi, przyczyniając się do zmniejszenia dawek leku.

Hierarchia stymulacyjnego oddziaływania informacyjno-punktowej terapii biorezonansowej przedstawia się następująco: informacja – energia - materia.

Dowolna zmiana patologiczna rozpoczyna się od zmian na bardzo subtelnym poziomie systemu biologicznego tam, gdzie zostaje naruszona równowaga na poziomie informacyjnym. Właśnie z tego powodu stosuje się informacyjno-punktową terapię biorezonansową. Promieniowanie elektromagnetyczne b.w.cz., o subniskim poziomie gęstości strumienia mocy, oddziałuje na najdelikatniejsze struktury energo-informacyjne organizmu, przywracając ich funkcje regulacyjne. Analogiczne oddziaływanie mają preparaty i biostymulatory pochodzenia roślinnego, zawierające w sobie informacyjną i materialną składową. Takie oddziaływanie jest możliwe na poziomie komórek jak i na poziomie organu, systemu organów i organizmu w całości.

W ten sposób ustanawiana jest synchroniczność pracy systemów regulacyjnych organizmu, w stanie równowagi dynamicznej, co prowadzi do pełnowartościowego funkcjonowania organizmu i systemów komórkowych.

Terapia stymulacyjna ma na celu indywidualny dobór mocy i dawki oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego b.w.cz. o subniskim poziomie gęstości strumienia mocy, preparatów i biostymulatorów roślinnego pochodzenia, na organizm ukierunkowanych na stopniowe polepszanie pracy systemów ochronnych i podsystemów regulacyjnych organizmu, i ma zastosowanie:

- w czasie zdrowienia;
- przy aktywnej profilaktyce;
- w czasie leczenia różnych zachorowań;
- w ochronie organizmu przed szkodliwym oddziaływaniem dowolnych czynników;
- w czasie wzmożonych obciążeń psychoemocjonalnych jak i fizycznych;
- w celu spowolnienia procesów starzenia;
- w celu zwiększenia efektywności sportowców.

Regulowana terapia stymulacyjna (najistotniejszym w niej nie jest środek, a sposób jego aplikacji) oparta jest na zasadach reakcji żywych systemów.

Drogą doświadczalną udowodniono, że struktury informacyjne organizmu reagują na zmianę dawki w granicach 10-20 %, co jest właśnie określane progiem czułości żywych systemów. Taka zmiana dawki wywołuje w organizmie różne poziomy reakcji, właściwe różnym reakcjom adaptacyjnym (trening, aktywność i inne). Udowodniono, że zaaplikowanie drugiej dawki, w przedziale od 3 do 6 godzin, też trafia na biorytmy fazowe. Jeśli przy pierwszej dawce oddziałujemy na nerwogenną, informacyjną składową, to przy drugiej na humoralną, materialną składową. Po drugie, bardziej mocne oddziaływanie, wzmacnia początkowe zmiany w tym kierunku, który doprowadza do

rozwoju pełnowartościowej reakcji, a w następstwie do bardziej efektywnego oddziaływania leczniczego.

W ten sposób, na początku oddziałujemy na cały organizm, aktywizujemy regulacyjne systemy i na tej podstawie podejmujemy konkretne rozwiązania zadania leczniczego. Każdy organizm pracuje tylko, w mniej lub bardziej wąskim korytarzu poziomów reakcji, który staje się dla niego przyzwyczajeniem, i dlatego należy przeprowadzić wielką i długą pracę, żeby zmienić granice korytarza energetycznego. Ogólne i miejscowe reakcje adaptacyjne w czasie długiego ich podtrzymywania, później przyjmują właściwą sobie inercję. Zazywanie różnych dawek leku lub niesystematyczne oddziaływanie z wykorzystaniem promieniowania elektromagnetycznego b.w.cz. subniskiego poziomu gęstości strumienia mocy lub też zazywanie preparatów farmakologicznych przez bardzo krótki okres jest niedopuszczalne, ponieważ do osiągnięcia wystarczająco stabilnego efektu nieodzowne jest okresowe powtarzanie oddziaływania według określonego algorytmu.

Koncepcja sterowania stanem funkcjonalnym organizmu za pomocą promieniowania elektromagnetycznego b.w.cz. o subniskim poziomie gęstości sprzyja oddziaływaniu na aktywacyjne zdrowienie, profilaktykę aktywacyjną i własną (regulacyjną) terapię, która:

- wzmacnia efekt dowolnego sposobu leczenia;
- sprzyja zmniejszeniu dawek preparatów tradycyjnych;
- podtrzymuje efekt terapeutyczny.

W ten sposób, metoda terapii stymulacyjnej z wykorzystaniem promieniowania elektromagnetycznego zakresu b.w.cz. subniskiego poziomu gęstości strumienia mocy, która pozwala hormonizować pracę wszystkich systemów organizmu zwiększając jego odporność, jest nieskomplikowana do kontroli, indywidualna dla każdego pacjenta i ma szerokie perspektywy zastosowania w praktyce medycznej. Taką drogą medycyna aktywacyjna zbliżyła się do leczenia różnych zachorowań, i takie leczenie można nazwać właściwym, dlatego, że przeprowadza go nie preparat i nie lekarz a sam organizm. Różnica nie jest zawarta w tym, kto leczy, a w wyniku: po samoregulacji efekt leczenia jest lepszy i trwa dłużej.

Zakończenie

Sedno sprawy w nowym podejściu do zagadnień profilaktyki i leczenia różnych zachorowań, w tym też i terapii stresu, z wykorzystaniem proponowanej aparatury zawiera się:

- w ukierunkowanym oddziaływaniu na PBA systemu akupunkturowego organizmu człowieka promieniowaniem elektromagnetycznym zakresu b.w.cz. o subniskim poziomie gęstości strumienia mocy, co pozwala, przez naprawienie zaburzeń w strukturze sygnałów informacyjnych powstających w komórkach, organach, systemach tkankowych i w całym organizmie, ustabilizować rozbalansowaną energoinformacyjną homeostazę;

- we wzmocnieniu mechanizmów kompensacyjnych i możliwości adaptacyjnych organizmu drogą wnoszenia ważnej informacji do organizmu ludzkiego drogą systemu akupunkturowego.

Wzmocnienie możliwości korelacyjnych i adaptacyjnych organizmu ludzkiego – to podstawowe i główne zadanie proponowanej metody diagnozowania i terapii z zastosowaniem nowej medycznej technologii z wykorzystaniem promieniowania elektromagnetycznego zakresu b.w.cz. o subniskim poziomie gęstości mocy.

Metoda i aparatura omówiona w artykule szczególnie przydatna może być w diagnostyce i terapii stresu u ratowników, pracujących w warunkach permanentnego stresu.

Literatura

1. Pylypenko O.V., Yatsunenko A.G., Hryniuk V.A., Kamkov V.P., *Punktturnaya elektrograficheskaya ekspress-diagnostika funkcjonalnogo sostoyaniya organizma cheloveka (Prakticheskoe rukovodstvo)*. Dnepropetrovsk: ITM NANU i NKAU, 2006. – 238 c.;
2. Pylypenko O.V., Yatsunenko A.G., Hryniuk V.A., Kamkov V.P.: *Biorezonansnaya informatsionno-punktturnaya terapiya s isnolzovaniem elektromagnitnykh voln (Prakticheskoe rukovodstvo)*. Dnepropetrovsk: ITM NANU i NKAU, 2006. – 248 s.;
3. Devatkov N.D., Holant M.B., Betsky O.V.: *Peculiarities od Medico-Biological Application of Millimetric Waves (in Russian)*, Moscow: Institute of Radio Physics and Electronics of the Russian Academy of Sciences, 1994. c. 164.;
4. Chwaleba A., Yatsunenko A.G., Szczurko J., Vintman Z.L.: *Therapeutic and diagnostic devices based on very high frequency and extremely low intensity electromagnetic radiation*, X Międzynarodowej Konferencji “Covremennye informatsionnye i elektronnye tekhnologii” - “SIET-2009”, Odessa 18-22 maja 2009, Materiały konferencyjne, s. 176.;
5. Chwaleba A., Yatsunenko S.A., Podciechowski M., Yatsunenko A.G., Vintman Z.: *Wymagania stawiane współczesnej aparaturze stosowanej w energoinformacyjnych medycznych technologiach*. XII Szkoła komputerowego wspomaganie projektowania, wytwarzania i eksploatacji, Materiały konferencyjne. Warszawa 2008, s. 243-247.;
6. Kamkov V.P., Yatsunenko A.G., Vintman Z.L., Para W., Szczurko J., *Metodyka bezinwazyjnej punktowej immunodiagnostyki z zastosowaniem aparatury „Ramed-ekspert”*, XIII Międzynarodowa Szkoła Komputerowego Wspomaganie Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji, Jurata 11-15 maja 2009, Materiały konferencyjne, ISBN 978-83-61486-13-8, s. 163-170.;
7. Chwaleba A., Yatsunenko A. G., Szczurko J.: *Zastosowanie modeli mechatronicznych zjawisk biorezonansowych występujących w organizmie ludzkim w diag-*

nostyce i terapii medycznej, Mechanik Nr 7/2010, PL
ISSN 0025-6552, Index 36522X, s. 492-495.

Augustyn Chwaleba

prof. elektronik; specjalność metrologia elektryczna - przetwarzanie informacji pomiarowej; w ostatnim dwudziestolecu zajmuje się wykorzystaniem elektroniki i technik pomiarowych w medycynie; autor lub współautor około 200 publikacji - w tym : szeregu książek, artykułów i referatów, kilkunastu patentów, wielu opracowań aparatury kontrolno - pomiarowej.

Anatoly G. Yatsunenko

radiofizyk; specjalizuje się w opracowywaniu aparatury mikrofalowej głównie na użytek medycyny; jest głównym metrologiem Instytutu Mechaniki Technicznej Ukraińskiej Akademii Nauk; autor lub współautor około 140 publikacji, ponad 60 patentów i 50 opracowań konstrukcyjnych aparatury mikrofalowej.

Volodymyr P. Kamkov

dr n. med. - internista; pracuje jako docent w Instytucie Mechaniki Technicznej Ukraińskiej Akademii Nauk i Instytucie Medycyny Konwencjonalnej i Niekonwencjonalnej w Dniepropietrowsku; jest autorem i współautorem 4 monografii i około 100 artykułów i referatów.

Jan Szczurko

dr n. tech. – dyscyplina mechanika, specjalność- diagnostyka techniczna; adiunkt w Instytucie Systemów Mechatromicznych Wydziału Mechatroniki Wojskowej Akademii Technicznej; jest autorem i współautorem kilkudziesięciu artykułów i referatów.

Sergey A. Yatsunenko - dr fizyki; specjalizuje się w badaniach właściwości optycznych półprzewodników; jest adiunktem w Instytucie Fizyki PAN; jest autorem i współautorem ponad 40 publikacji i patentu.

Józef Szmitkowski

dr inż. elektryk - specjalność metrologia elektryczna; adiunkt w . Centrum Naukowo - Badawczym Ochrony Przeciwpozarowej - PIB; zajmuje się analizą symulacyjną pól temperaturowych oraz detekcją zagrożeń ratowników w trakcie akcji; jest autorem lub współautorem kilkudziesięciu artykułów i referatów.

Stefan Wilczkowski

dr inż. - specjalność chemia pożaricza. Sekretarz Rady Naukowej Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpozarowej – PIB. Autor 17 patentów oraz wielu opracowań i artykułów z zakresu chemii pożaricznej.

dr inż. **Renata DOBRZYŃSKA**

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Wydział Techniki Morskiej i Transportu

Katedra Technicznego Zabezpieczenia Okrętów

TOKSYCZNOŚĆ PRODUKTÓW ROZKŁADU TERMICZNEGO I SPALANIA PIANEK POLIURETANOWYCH STOSOWANYCH DO WYROBU MEBLI TAPICEROWANYCH

The toxicity of products of thermal decomposition and combustion of polyurethane foams used in manufacturing of upholstered furniture

Streszczenie

Podczas pożaru człowiek narażony jest na działanie mieszaniny toksycznych gazów takich jak: tlenek węgla, dwutlenek węgla, cyjanowodór, dwutlenek azotu, chlorowodór, dwutlenek siarki, itd. Wydzielane są one podczas rozkładu termicznego i spalania materiałów znajdujących się w pomieszczeniu objętym pożarem. Największe zagrożenie toksyczne podczas pożaru pomieszczeń mogą stanowić meble tapicerowane. Przyczyną zagrożenia toksycznego w czasie pożaru mogą być produkty rozkładu termicznego i spalania pianek poliuretanowych stosowanych do wyrobu mebli tapicerowanych. Wyniki badań wskazują, że już w początkowej fazie rozwoju pożaru pianek poliuretanowych stężenia tlenku węgla i cyjanowodoru są często śmiertelne dla człowieka. Obecnie obowiązujące w budownictwie przepisy nie wymagają oceny toksyczności produktów rozkładu termicznego i spalania materiałów stosowanych w budynkach mieszkalnych. Tymczasem dane statystyczne dotyczące ofiar pożarów wskazują na znaczny procentowy udział śmiertelności spowodowanej dymem i toksycznością produktów pożaru. W związku z tym istnieje potrzeba opracowania metody oceny ilościowej toksycznego zagrożenia pożarowego. Parametrem oceny materiałów z punktu widzenia stwarzanego przez nie pożarowego zagrożenia toksycznego może być krotność przekroczenia stężenia granicznego produktów rozkładu termicznego i spalania jednostki masy materiału spalonego w danych warunkach termicznych w pomieszczeniu o określonej objętości. Zastosowanie w praktyce krotności przekroczenia stężenia granicznego produktów rozkładu termicznego i spalania materiałów do oceny toksycznego zagrożenia pożarowego pozwoli na dobór odpowiednich materiałów wyposażenia wnętrz, może wpłynąć na zmniejszenie poziomu pożarowego zagrożenia toksycznego pomieszczeń oraz umożliwi przeprowadzenie bezpiecznej ewakuacji ludzi z pomieszczeń objętych pożarem w początkowej jego fazie.

Summary

During the fire the man is exposed to a mixture of toxic gases such as: carbon monoxide, carbon dioxide, hydrogen cyanide, nitrogen dioxide, sulphur dioxide, hydrogen chloride, etc. They are emitted during thermal decomposition and combustion of materials which they are in the room of the fire. The highest fire toxic hazard is caused by upholstered furniture. The cause of the toxic fire hazard may be the products of thermal decomposition and combustion of polyurethane foams used in manufacturing of upholstered furniture. Results of the research indicate that already in the initial phase of fire progress of polyurethane foams the concentration of carbon monoxide and hydrogen cyanide are often lethal for humans. Valid in building at present recipes do not require the evaluation of toxicity of products thermal decomposition and combustion materials used in habitable buildings. Meanwhile, statistic data concerning victims of fires indicate a significant percentage of mortality caused by smoke and fire products toxicity. In this connection, is a need to develop a method of quantitative evaluation. Parameter of quantitative evaluation of materials in view of toxic fire hazards may be exceed multiplication factor of critical concentration of products of thermal decomposition and combustion materials in room of specific volume after burning under specific thermal conditions material mass unit. Practical application of the exceed multiplication factor of critical concentration of products of thermal decomposition and combustion materials of quantitative evaluation of materials, would decrease fire toxic hazard level in rooms and it permits on selection of suitable materials of equipment interiors, to in initial phase of fire to assure people safe evacuation from fire rooms.

Słowa kluczowe: toksyczność produktów pożaru, toksyczne zagrożenie pożarowe, bezpieczeństwo pożarowe;

Keywords: toxicity of fire products, fire toxic hazard, fire safety;

Wprowadzenie

Toksyczność produktów rozkładu termicznego i spalania materiału zależy od składu chemicznego jego podstawowego składnika, natury chemicznej różnego rodzaju dodatków, plastyfikatorów i wypełniaczy użytych w celu osiągnięcia pożądanych jego właściwości użytkowych oraz od warunków, w jakich ten rozkład termiczny i spalanie zachodzi [12].

Obecnie na rynku jest bogaty wybór pianek poliuretanowych, które stosowane są do wyrobu mebli tapicerowanych. Wyniki badań własnych wskazują, że mogą one podczas pożaru powodować poważne zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi, ze względu na emisję toksycznych gazów – głównie tlenku węgla i cyjanowodoru, których stężenia już w początkowej fazie rozwoju pożaru są często śmiertelne dla człowieka [2-4]. Ponadto, znajdujące się w meblach tapicerowanych pianki poliuretanowe z dodatkiem środka ogniouodporniającego, podczas bezpłomieniowego rozkładu termicznego mogą wydzielają duże ilości dymu, który może utrudniać lub nawet uniemożliwić bezpieczną ewakuację [5]. Tymczasem przepisy obowiązujące w budownictwie nie stawiają wymagań materiałom stosowanym do wyposażenia wnętrz w mieszkaniach, zapewniających pożarowe bezpieczeństwa toksyczne [10]. W związku z tym do wyrobu mebli tapicerowanych przeznaczonych do mieszkań, można stosować dowolne pianki poliuretanowe bez względu na toksyczność ich produktów rozkładu termicznego i spalania. Jakie są tego konsekwencje wskazują dane statystyczne dotyczące ofiar pożarów pomieszczeń mieszkalnych. Znaczny procentowy udział śmiertelności spowodowanej jest dymem i toksycznością produktów pożaru (60% ÷ 80%) [1,6,7,9,11].

Badania toksyczności produktów rozkładu termicznego i spalania pianek poliuretanowych stosowanych do wyrobu mebli tapicerowanych

W celu określenia zagrożenia powodowanego toksycznością produktów rozkładu termicznego i spalania pianek poliuretanowych stosowanych do wyrobu mebli tapicerowanych przeprowadzono badania własne tapicerskich pianek poliuretanowych będących produktami handlowymi dostępnymi na polskim rynku (pianka PU 1 – Pianka PU 12). Badania przeprowadzono metodą wg PN-B-02855 [8]. Metoda ta jest przeznaczona do klasyfikacji materiałów. Na podstawie wyników badań określa się czy produkty rozkładu termicznego i spalania badanych materiałów są umiarkowanie toksyczne, toksyczne, czy bardzo toksyczne. Jest to zatem metoda jakościowa i nie daje podstaw do określenia rzeczywistego zagrożenia pożarowego. Jednak otrzymane wyniki badań można zastosować również do oceny ilościowej toksycznego zagrożenia pożarowego.

Zasada metody polega na ilościowym, chemicznym oznaczeniu produktów rozkładu termicznego lub spalania materiałów decydujących o toksyczności śro-

dowiska pożaru. Rozkład termiczny i spalanie próbek przeprowadza się w piecu z programowaną w trzech temperaturach: 450°C, 550°C i 750°C. W czasie badań określa się stężenia tlenku węgla, dwutlenku węgla, chlorowodoru, cyjanowodoru, dwutlenku azotu i dwutlenku siarki. Na tej podstawie wyznacza się *emisję właściwą* (E_i) wymienionych produktów rozkładu termicznego i spalania. Emisja właściwa oznacza masę toksycznego produktu wytworzoną w czasie rozkładu termicznego i spalania jednostki masy materiału w danych warunkach badania:

$$E_i = \frac{m_i}{m_p}, \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \quad (1)$$

gdzie:

E_i - emisja właściwa i-tego toksycznego produktu rozkładu termicznego i spalania, g · g-1

m_i - masa i-tego toksycznego produktu rozkładu termicznego i spalania, g

m_p - masa próbki badanego materiału, g

Wartości średnie emisji właściwej produktów rozkładu termicznego i spalania wybranych pianek poliuretanowych przedstawiono w Tabeli 1.

Aby stwierdzić, czy stężenia gazów wydzielających się podczas rozkładu termicznego i spalania pianek poliuretanowych mogą być szkodliwe dla zdrowia lub życia ludzi narażonych na ich działanie, należy je odnieść do ich stężeń granicznych. **Stężenie graniczne** LC_{50i}^{30} danej substancji toksycznej oznacza stężenie powodujące śmierć 50% populacji przy 30 minutowej ekspozycji (Tabela 2).

Tabela 2.

Stężenia graniczne produktów rozkładu termicznego i spalania materiałów

Table 2.

Critical concentration of products of thermal decomposition and combustion of materials

Produkty rozkładu termicznego i spalania (Products of thermal decomposition and combustion)		Stężenia graniczne LC_{50i}^{30} (Critical concentration)	
		g · m-3	ppm
Tlenek węgla	CO	3,75	2999
Dwutlenek węgla	CO ₂	196,4	99963
Cyjanowodor	HCN	0,16	133
Dwutlenek azotu	NO ₂	0,205	100
Chlorowodor	HCl	1	614

W celu oceny toksyczności produktów rozkładu termicznego i spalania badanych pianek poliuretanowych wyznaczono **krotność przekroczenia stężenia granicznego** ($X_{gr.i}$) i-tego produktu rozkładu termicznego i spalania 1 kg materiału spalonego w danych warunkach termicznych w pomieszczeniu o objętości 30 m³ (V_{pom}):

Emisja właściwa produktów rozkładu termicznego i spalania pianek poliuretanowych

Emission of products of thermal decomposition and combustion of polyurethane foams

Lp.	Material (Material)	Temperatura rozkładu termicznego, °C (Thermal decomposition temperature)	Emisja właściwa produktów rozkładu termicznego i spalania, g/g (Emission of products of thermal decomposition and combustion)				
			CO	CO2	HCN	NO2	HCl
1	pianka PU 1	450	0,068	0,010	0,0002	0,0000	0,0005
		550	0,143	0,092	0,0006	0,0000	0,0002
		750	0,015	1,492	0,0015	0,0001	0,0017
2	pianka PU 2	450	0,018	0,004	0,0004	0,0000	0,0018
		550	0,055	0,123	0,0023	0,0000	0,0015
		750	0,060	1,319	0,0056	0,0000	0,0101
3	pianka PU 3	450	0,015	0,014	0,0085	0,0000	0,0033
		550	0,050	0,271	0,0472	0,0000	0,0052
		750	0,039	0,534	0,0621	0,0001	0,0119
4	pianka PU 4	450	0,022	0,010	0,0008	0,0000	0,0033
		550	0,066	0,125	0,0089	0,0000	0,0039
		750	0,018	0,934	0,0065	0,0003	0,0034
5	pianka PU 5	450	0,061	0,077	0,0199	0,0001	0,0048
		550	0,178	0,130	0,0201	0,0001	0,0057
		750	0,091	1,834	0,0698	0,0001	0,0126
6	pianka PU 6	450	0,077	0,127	0,0020	0,0000	0,0056
		550	0,053	0,256	0,0115	0,0000	0,0091
		750	0,048	1,246	0,0113	0,0000	0,0115
7	pianka PU 7	450	0,090	0,166	0,0005	0,0000	0,0006
		550	0,215	0,406	0,0151	0,0000	0,0002
		750	0,045	1,401	0,0057	0,0005	0,0011
8	pianka PU 8	450	0,113	0,119	0,0003	0,0000	0,0005
		550	0,214	0,436	0,0038	0,0000	0,0014
		750	0,095	3,166	0,0124	0,0000	0,0052
9	pianka PU 9	450	0,012	0,020	0,0007	0,0000	0,0042
		550	0,068	0,126	0,0061	0,0000	0,0044
		750	0,071	0,903	0,0123	0,0001	0,0077
10	pianka PU 10	450	0,001	0,002	0,0006	0,0000	0,0022
		550	0,074	0,261	0,0084	0,0000	0,0243
		750	0,275	1,662	0,0385	0,0000	0,0078
11	pianka PU 11	450	0,036	0,020	0,0006	0,0000	0,0014
		550	0,106	0,322	0,0064	0,0000	0,0006
		750	0,073	1,558	0,0022	0,0000	0,0072
12	pianka PU 12	450	0,025	0,289	0,0006	0,0000	0,0013
		550	0,138	0,289	0,0083	0,0000	0,0013
		750	0,065	1,188	0,0130	0,0000	0,0091

$$x_{gr_i} = \frac{E_i}{V_{pom} \cdot LC_{50}^{30}} \quad (2)$$

Aby warunek bezpieczeństwa toksycznego podczas pożaru był spełniony:

$$x_{gr_i} < 1 \quad (3)$$

Wyniki przedstawiono w Tabeli 3.

Tabela 3.

Krotność przekroczenia stężenia granicznego produktów rozkładu termicznego i spalania pianek poliuretanowych

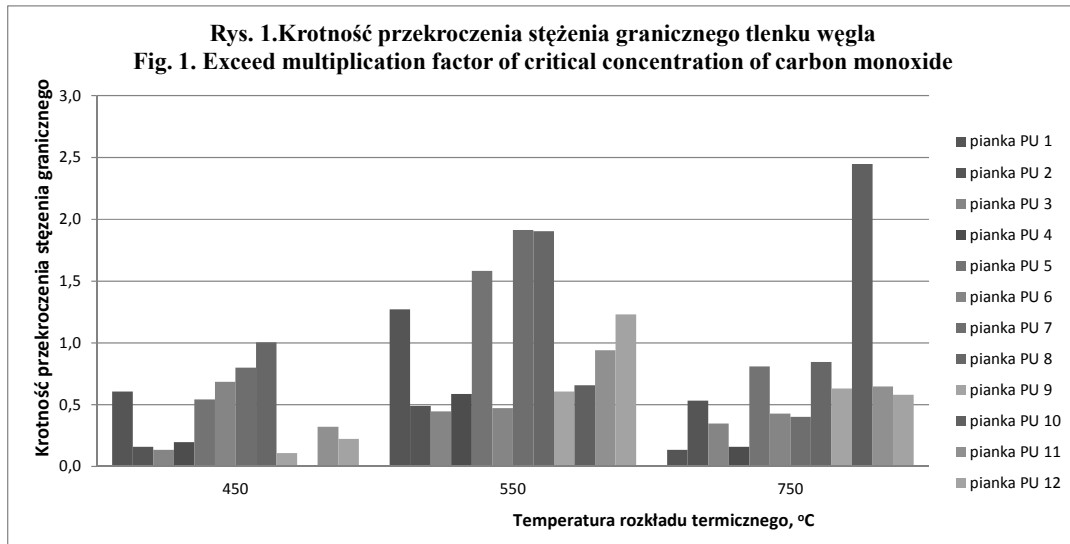
Table 3.

Exceed multiplication factor of critical concentration of products of thermal decomposition and combustion of polyurethane foams

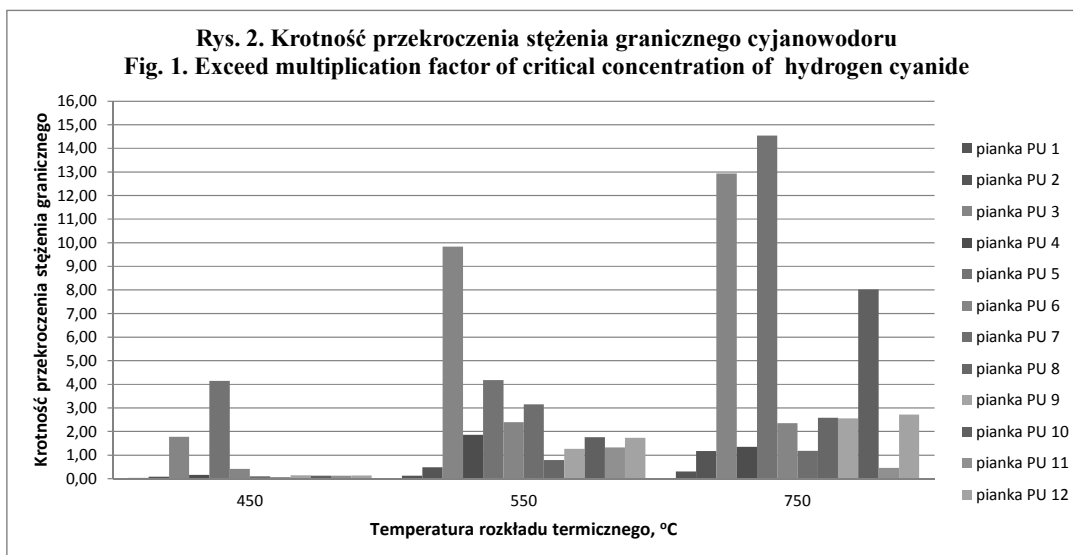
Lp.	Material (Material)	Temperatura rozkładu termicznego, °C (Thermal decomposition temperature)	Krotność przekroczenia stężenia granicznego (Exceed multiplication factor of critical concentration)				
			CO	CO2	HCN	NO2	HCl
1	pianka PU 1	450	0,6	0,002	0,04	0,000	0,02
		550	1,3	0,016	0,13	0,000	0,01
		750	0,1	0,253	0,31	0,016	0,06
2	pianka PU 2	450	0,2	0,001	0,08	0,000	0,06
		550	0,5	0,021	0,48	0,000	0,05
		750	0,5	0,224	1,17	0,000	0,34
3	pianka PU 3	450	0,1	0,002	1,77	0,000	0,11
		550	0,4	0,046	9,83	0,004	0,17
		750	0,3	0,091	12,94	0,014	0,40
4	pianka PU 4	450	0,2	0,002	0,17	0,003	0,11
		550	0,6	0,021	1,85	0,004	0,13
		750	0,2	0,159	1,35	0,049	0,11
5	pianka PU 5	450	0,5	0,013	4,15	0,011	0,16
		550	1,6	0,022	4,19	0,013	0,19
		750	0,8	0,311	14,54	0,012	0,42
6	pianka PU 6	450	0,7	0,022	0,42	0,000	0,19
		550	0,5	0,043	2,40	0,002	0,30
		750	0,4	0,211	2,35	0,002	0,38
7	pianka PU 7	450	0,8	0,028	0,10	0,000	0,02
		550	1,9	0,069	3,15	0,000	0,01
		750	0,4	0,238	1,19	0,078	0,04
8	pianka PU 8	450	1,0	0,020	0,06	0,000	0,02
		550	1,9	0,074	0,79	0,000	0,05
		750	0,8	0,537	2,58	0,000	0,17
9	pianka PU 9	450	0,1	0,003	0,15	0,000	0,14
		550	0,6	0,021	1,27	0,002	0,15
		750	0,6	0,153	2,56	0,015	0,26
10	pianka PU 10	450	0,0	0,000	0,12	0,001	0,07
		550	0,7	0,044	1,76	0,001	0,81
		750	2,4	0,282	8,01	0,006	0,26
11	pianka PU 11	450	0,3	0,003	0,12	0,002	0,05
		550	0,9	0,055	1,33	0,002	0,02
		750	0,6	0,264	0,46	0,004	0,24
12	pianka PU 12	450	0,2	0,049	0,13	0,001	0,04
		550	1,2	0,049	1,73	0,001	0,04
		750	0,6	0,202	2,72	0,007	0,30

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że badane pianki poliuretanowe wydzielają podczas rozkładu termicznego i spalania dwutlenek węgla, dwutlenek azotu i chlorowodór w ilościach, które nie zagrażają życiu człowieka. Sześć badanych pianek poliuretanowych może podczas pożaru powodować toksyczne zagrożenie pożarowe ze względu na emisję tlenku węgla. W ich przypadku krotność przekroczenia stężenia granicznego CO jest większa od 1, a to oznacza, że warunek pożarowego

retanowej, to wbrew pozorom nie jest dużo. Tylko w siedzisku fotela tapicerowanego o wymiarach 45x45x7,5 cm może znajdować się od około 0,3 kg do 1,5 kg pianki poliuretanowej. W związku z tym niezwykle istotne jest, aby stosować w meblach tapicerowanych takie pianki poliuretanowe, które w początkowej fazie rozwoju pożaru nie będą wydzielały gazów w śmiertelnych dla człowieka stężeniach i umożliwią mu bezpieczną ewakuację z pomieszczenia objętego pożarem.



Ryc. 1. Krotność przekroczenia stężenia granicznego tlenku węgla
Fig. 1. Exceed multiplication factor of critical concentration of carbon monoxide



Rys. 2. Krotność przekroczenia stężenia granicznego cyjanowodoru
Fig. 2. Exceed multiplication factor of critical concentration of hydrogen cyanide

bezpieczeństwa toksycznego nie jest spełniony (Rys. 1). Największe zagrożenie dla życia ludzkiego może podczas pożaru badanych pianek poliuretanowych powodować emisja cyjanowodoru. Po spaleniu 1 kg większości badanych pianek w pomieszczeniu o objętości 30 m³ stężenie graniczne cyjanowodoru zostanie przekroczone wielokrotnie (Rys. 2). Należy zwrócić uwagę, że 1 kg pianki poli-

Wnioski

- Tapicerskie pianki poliuretanowe będące produktami handlowymi dostępnymi na polskim rynku mogą stwarzać poważne zagrożenie toksyczne w czasie pożaru.
- Największe zagrożenie podczas pożaru pianek poliuretanowych stosowanych do wyrobu mebli tapi-

cerowanych może powodować emisja tlenu węgla i cyjanowodoru.

- Stężenia tlenu węgla i cyjanowodoru wydzielanych podczas rozkładu termicznego i spalania pianek poliuretanowych przekraczają stężenia graniczne tych gazów, co może powodować śmiertelne zagrożenie w czasie pożaru.
- Krotność przekroczenia stężenia granicznego pozwala na dokonanie oceny toksycznego zagrożenia pożarowego.

Literatura:

1. Asgary A., Ghaffari A., Levy J., *Spatial and temporal analyses of structural fire incidents and their causes: A case of Toronto, Canada*, Fire Safety Journal 45 (2010) 44–57;
2. Dobrzyńska R., *Ocena poziomu zagrożenia toksycznego pomieszczeń mieszkalnych na statku w początkowej fazie rozwoju pożaru. Perspektywy rozwoju systemów transportowych*, Materiały VIII Konferencji Okrętownictwo i Oceanotechnika Szczecin: Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, 2006 s. 67-75;
3. Dobrzyńska R., *Ocena zagrożenia toksycznego w czasie pożaru układów tapicerskich stosowanych do wyrobu mebli tapicerowanych*, Archiwum Spalania Vol. 10 (2010) nr 1-2 s. 1-9;
4. Dobrzyńska R., *Selection of outfitting and decorative materials for ship living accommodations from the point of view of toxic hazard in the initial phase of fire*, Polish Maritime Research Vol. 16, No 2 (2009), s. 72-74;
5. Dobrzyńska R., *Wpływ ilości środków ogniouodporniających na wydzielanie toksycznych produktów rozkładu termicznego pianek poliuretanowych*, XLII

Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Chemicznego I Stowarzyszenia Inżynierów I Techników Przemysłu Chemicznego, Rzeszów 1999;

6. Irvine D.J., McCluskey J.A., Robinson I.M., *Fire hazards and some common polymers*. Polymer Degradation and Stability 67 (2000) 383-396
7. Kobes M., Helsloot I., de Vries B., Post J.G.: *Building safety and human behaviour in fire: A literature review*, Fire Safety Journal 45 (2010) 1–11
8. PN-88/B-02855. Metoda badania wydzielania toksycznych produktów rozkładu i spalania materiałów
9. Półka M., Piechocka E., *Co czyha we wnętrzu?*, Przegląd pożarniczy (2008) 8, str. 28-31;
10. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 12 marca 2009 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. nr 56, poz. 461 z późn. zm.)
11. Stec A.A., Hull T.R., *Fire toxicity*, University of Central Lancashire, UK 2010;
12. Sychta Z., *Spowolnienie procesu rozkładu termicznego i spalania materiałów podstawowym warunkiem bezpieczeństwa pożarowego obiektów technicznych*. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 570, Szczecin, 2002.

dr inż. **Renata DOBRZYŃSKA**

jest adiunktem w Katedrze Technicznego Zabezpieczenia Okrętów Wydziału Techniki Morskiej i Transportu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Główną tematyką jej zainteresowań naukowych jest inżynieria bezpieczeństwa pożarowego ze szczególnym uwzględnieniem toksyczności produktów pożaru.

Dr.-Ing. Hauke SPETH

Institute for Fire and Rescue Technology
in Dortmund

END-USER ORIENTED RESEARCH: ABOUT THE BENEFITS FOR LOCAL SAFETY AND SECURITY

Badania zorientowane na użytkownika końcowego: korzyści dla bezpieczeństwa i ochrony społeczności lokalnej

Summary

Research activities within the field of civil safety and security are comparatively new tasks for German fire brigades and disaster management authorities. For a long time, the field has been dominated by military demands and aimed strongly towards military results. The changes in the global safety situation have over the last decade brought a significant increase in financial support for civil research activities, e. g. within the 7th European Framework Programme or several national programmes. Most of these programmes require the co-operation of research institutions, industrial partners and end-users. In Germany, fire brigades are organised on a municipal level. The municipalities are responsible for fire prevention and suppression, counties and county boroughs are responsible for disaster management. There is no centralised fire brigade on the level of the states (*Länder*) or even the national level: The *Länder* are responsible for the legal framework and certain central support measures such as officer's training. The national level plays a role in civil protection only in case of tension or defence. Therefore, no central research institutions for fire and rescue tasks exist on these levels, and the legal framework does not address the necessity of research on the municipal level. Nevertheless, several German fire brigades show own activities and participate in various programmes. The presentation will discuss which positive effects these activities have on the fire brigades. Also, it will deal with the questions how the strongly decentralised structures of the fire brigades can despite be used to obtain a common picture of the demands the end-users have regarding topics to be addressed: Only showing activities in the area of research today will enable the end-users to have a strong impact on the development of the technology which will be in use ten years from now.

Streszczenie

Działania badawcze w zakresie bezpieczeństwa cywilnego i bezpieczeństwa są stosunkowo nowym zadaniem dla niemieckiej straży pożarnej i służb zarządzania kryzysowego. Od dłuższego czasu, ten obszar był zdominowany przez potrzeby wojska i silnie skierowany ku wojskowym wynikom. Zmiany w sytuacji globalnego bezpieczeństwa, w ciągu ostatniej dekady, przyniosły znaczny wzrost wsparcia finansowego dla cywilnych działań badawczych, np. w ramach 7. Europejskiego Programu Ramowego lub poszczególnych programów krajowych. Większość z tych programów wymaga współpracy instytucji badawczych, partnerów przemysłowych i użytkowników końcowych. W Niemczech straż pożarna jest zorganizowana na poziomie gmin. Gminy są odpowiedzialne za zapobieganie i gaszenie pożarów, a powiaty i gminy powiatowe są odpowiedzialne za zarządzanie kryzysowe.

Nie ma scentralizowanej straży pożarnej na szczeblu krajów związkowych (*Länder*) lub nawet na poziomie krajowym: Kraje Związkowe (*Länder*) są odpowiedzialne za ramy prawne oraz niektóre główne środki wsparcia, takie jak szkolenie oficerów. Krajowy poziom odgrywa ważną rolę w zakresie ochrony ludności tylko w sytuacjach napięć lub obrony. Dlatego też niescentralizowane instytuty badawcze pracujące dla dziedziny ochrony przeciwpożarowej i ratownictwa istnieją właśnie na tym poziomie podziału administracyjnego, a prawne ramy nie są ograniczone koniecznością badania na poziomie gminy.

Jednak wiele niemieckich jednostek organizacyjnych straży pożarnej wykazuje się dużą aktywnością i uczestniczy w różnych programach. Niniejszy artykuł omówi, jakie pozytywne efekty dla straży pożarnej mają tego rodzaju działania. Postara się także omówić jak silnie zdecentralizowane struktury straży pożarnej obrazują wspólne potrzeby użytkowników końcowych. Ich aktywność na polu badań pozwoli im mieć duży wpływ na rozwój technologii, która będzie stosowana w ciągu następujących 10 lat.

Słowa kluczowe: straż pożarna, ochrona przeciwpożarowa, użytkownik końcowy, badania, Republika Federalna Niemiec;

Keywords: fire service, fire protection, end-user, research, Federal Republic of Germany;

Research activities in the field of civil safety and security are comparatively new tasks for German fire brigades and disaster management authorities. For a long time, the field has been dominated by military demands and strongly aimed towards military results and solutions. The actors in this field traditionally have in the past received quite intense financial grants. Civil applications often have been modifications or spin-offs of military technologies. Nevertheless, the changes to this research field have been significant in the last decades. The change of the global safety situation have brought a significant increase in financial support for civil safety and security research activities, e. g. within the 7th European Framework Programme or several national programmes such as the programme “Research for Civil Security” funded by the German Federal Government. In future, the support for civil safety and security research still will increase. With “Horizon 2020”, the European Commission has launched another large-scale funding programme which will enable a cross-border and multi-disciplinary research over several years. But research shall not be done for its own purpose, but has to be based on the needs and demands of the end-users. Therefore, most of these programmes mandatorily require the co-operation of (university or non-university) research institutions with both industrial partners and end-users. Besides, it is stated that scenario-driven research approaches will be supported stronger. However, this ideal state of co-operation is in Germany not reached until today in safety and security research. While research institutions and industrial partners are used to the methods and procedures of research funding, most organisations participating in the systems of disaster management still have to adapt to the system of calls, tenders and grants. Taking a closer look at the structure of disaster management in general and fire brigades in special, the reason for this can be understood better.

Structure of Fire Brigades and Disaster management in Germany

After World War 2, Germany was designed and rebuilt as a federal republic, so the political and administrative systems show a strongly decentralised structure. Additionally, there is a clear separation between police and non-police tasks and their operations. The consequence is a comparatively complex system of roles and responsibility also in the area of disaster management which is based on the principles of federalism and subsidiarity. The Fire Brigades are organised on a municipal level. The municipalities are by law responsible for both fire prevention and suppression; counties and county boroughs are responsible for establishing a disaster management system and obtaining an emergency medical service. Even in case of large-scale incidents, incident command will therefore always remain on the level of a county or county borough.

There is no centralised fire brigade on the level of the 16 German states (*Länder*) or even at the national level: The states are responsible for setting up the legal framework and certain central support measures such as high-level co-ordination in case of incidents, officer’s training or financial / technical support for highly specialised forces. In consequence, this leads to 16 different fire service and disaster management laws. The national level plays a role in civil protection only in case of tension or defence, supports certain high-level trainings and gives financial / technical support to the states. Therefore, there is no central research institution for fire and rescue tasks on the national level in Germany, and the legal framework of the states also does not address the necessity of safety and security research on the municipal level.

„Solution looking for a problem ... ?“

Despite the problems pointed out above, only showing today activities in the area of research will enable the fire brigades to give a strong impact on the development of the technology which will be in future use several years from now. Several German fire brigades therefore do show own research activities and participate in various programmes. Innovations can be successful when they will find acceptance among the end-users. Thus, it is on the one hand consequent to participate in research programmes. But since Fire Brigades are municipally organized, there are many brigades, but all of a relatively small size compared to organisations of the states or national agencies or institutions. Thus, it is difficult to be steadily active in the field of research. Additionally, the tense financial situation in the majority of German municipalities often is a reason for not participating in research projects. Obviously, one is then in danger of lose track to the state of art of technical developments. Besides, the present funding instruments will in any way be used by those being able to establish cooperation consortia and produce tenders to research calls. Obtaining a more or less passive role, Fire Brigades often are taken into a consortium in a relatively late stage when they will not be able to influence the contents of the cooperation. As a result, it can frequently be observed that new technical solutions are developed which in the end do not meet and have never met the needs of the end-users or do not correspond to the structures of disaster management.

Benefit of a common approach

One way to overcome the obstacles mentioned above is to cooperate. In the state of North-Rhine Westphalia (NRW), the Federation of Professional Fire Brigades Chiefs (*Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren* – AGBF) for this purpose has established a permanent working group “Research” in which Fire Brigades with an interest in safety and security research topics can exchange their experiences. A position paper showing the research needs and demands of the end-users

has currently been developed as one of the first results of the working group. This paper shall help potential industrial or scientific partners to recognize the needs of the Fire Brigades already in a very early concept stage of a consortium. Furthermore, the working group carries out information events to inform potential partners about the structure of Fire Brigades and their research needs and demands. Additionally, the German Fire Protection Association (GFPA, *Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. – vfdb*) is an important national and international platform to establish contacts between fire brigades and industry or universities. Last not least the German Fire Brigades Association (*Deutscher Feuerwehrverband – DFV*) has recognized the importance of research for fire brigades and has placed this topic as a key assignment within its steering committee.

Federalism can work well

All efforts to cooperate shall not aim towards centralised structures in which research work is structured with regards to contents or distributed to certain fire brigades. This would on the one hand not fit to the decentralised structures of the German fire brigades. On the other hand, it would be a contradiction to the character of science itself where progress always is achieved in a healthy competition of various institutions. We have to concentrate on defining our research needs and demands on a broad and common basis and influencing the future funding programmes with regards to both content and general conditions.

Institute for Fire Service and Rescue Technology (IFR)

The City of Dortmund Fire Brigade (FDDO) is active within the field of research for more than ten years now and has, so to say, carried out safety and security research even before this term has been invented. With a staff of approx. 750 professional and 850 voluntary members, FDDO is the 6th largest fire brigade in Germany and provides safety for about 600.000 inhabitants of Dortmund. IFR has been established as a research institute within the fire brigade in 2006 and currently focuses its research on information and communication technology, mechatronical and robotical systems as well as on decision support instruments. Starting with end-user expertise in several single projects, IFR now looks back on 16 national and international projects and has developed a structure which combines both scientific work and end-user expertise. Scientists, some of them with a background in fire-fighting, closely work together with fire fighters or officers with a broad all-day operational expertise. Since IFR also has an appropriate administrative background, the institute is also able to handle co-ordination tasks such as the leadership of a consortium or the management of the permanent working group “Research” of AGBF NRW.

Some project examples: AirShield, NIFTi and ANCHORS

IFR has been involved in the national project AirShield¹ and is involved as full partner in the EU project NIFTi² (Natural Human-Robot Co-operation in Dynamic Environment) and acts as full partner and co-ordinator of the German consortium in the French-German cooperation ANCHORS³ (Ad-hoc Network for Crisis Management and Hostile Environment Sensing).



Fig. 1. AirShield: Quadrocopter as part of the AirShield Swarm during the practical demonstration

The focus of NIFTi lies on a simplified and intuitive interaction between humans and robots, for which both unmanned ground (UGV) and aerial vehicles (UAV) are used.

AirShield aimed towards designing an autonomous swarm of several UAV which can be used for measurements of hazardous substances. The command and control task for a human operator should be limited to an absolutely necessary minimum, so that the swarm can perform several operations (measuring path, area coverage, holding position and distance) on its own. IFR has been active in defining use-cases and scenarios and has performed several practical test operations in field. The AirShield project has been completed with the end of 2011 and has demonstrated the feasibility of the concept in various exercises. FDDO will keep two quadcopters from the AirShield project and currently is working on bringing them from the demonstration phase into an operational use for all-day emergency operations with a 24/7 availability.



Fig. 2. ANCHORS (left) and NIFTi (right): Unmanned ground and aerial vehicles in combined operations

¹ <http://www.airshield.de/>

² <http://www.nifti.eu/>

³ <http://www.anchors-project.org/>

ANCHORS aims at larger-scale scenarios and will combine the operations of UAV swarms with UGV operations. The basic idea is to let UAV enter large-scale contaminated areas on a carrier (anchor) platform which will transport the UGV swarm as close as possible to the incident scene where the UAV will then be released to perform their operation. During the operation, the UGVs will return to their anchor platform to have their batteries automatically recharged. Since the flight time of UAVs is limited to a maximum of 30 minutes depending on the load they carry, response and return times can be minimized and operational air time is kept high. It will be able to access and assess highly dangerous scenes by using the ANCHORS system without bringing personnel into dangerous situations. Even though the project still is in the research phase, FDDO will also draw a direct profit since parts from the system will remain with FDDO in operation. Besides, being active as coordinator already in very early stages of the project definition has made it possible to give the right impact to the project in order to meet the demands and structures of disaster management. This increases the probability that the system one day finds its way into real operations.

Benefit beyond Disaster Management

Being active in the field of security research can also have impacts beyond the plain development of new technologies for operations. By cooperating in research consortia, further business partners draw a profit from these works either because they can be integrated into the works or because they may act as further suppliers of technology. This can, depending on the structure of the consortia, have an impact on a region as well and may for a city lead to a locational advantage – not only due to an increased operational capability of the Fire Brigade, but also due to scientific reputation in case a scientific cluster will develop.

dr ing. Hauke Speth

absolwent wydziału Mechanicznego Uniwersytetu w Aachen (1998).

W 2003 r. uzyskał stopień doktora inżyniera na tym samym Uniwersytecie. Od 1994 r. związany ze strażą pożarną, początkowo z jej strukturami ochotniczymi. Był koordynatorem wielu projektów realizowanych w dziedzinie bezpieczeństwa. Obecnie, od 2011 r. pracuje na stanowisku dyrektora Institute for Fire and Rescue Technology w Dortmundzie.

st. kpt. mgr inż. **Rafał POROWSKI**¹
mgr inż. **Wojciech RUDY**
Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej
Państwowy Instytut Badawczy
prof. dr hab. inż. **Andrzej TEODORCZYK**
Wydział Mechaniczny, Energetyki i Lotnictwa
Politechnika Warszawska

ANALIZA METOD BADAWCZYCH GRANIC WYBUCHOWOŚCI CIECZY PALNYCH

Analysis of experimental methods for explosion limits of flammable liquids

Streszczenie

W artykule tym dokonano przeglądu metod oraz stanowisk badawczych służących do określania granic wybuchowości cieczy palnych. Zaprezentowano tu stanowiska i metody zalecane przez międzynarodowe standardy, takie jak PN-EN, czy ASTM. Opisano również prowadzone dotychczas wybrane prace naukowe w zakresie badań eksperymentalnych granic wybuchowości cieczy palnych. Artykuł ten stanowi przegląd dostępnych metod badawczych oraz aparatury do prowadzenia pomiarów granic wybuchowości cieczy palnych na potrzeby bezpieczeństwa w przemyśle.

Abstract

This paper presents a state of the art on testing methods and experimental facilities for determination explosion limits of vapors from combustible liquids. The paper presents facilities and testing methods recommended by international standardization authorities, e.g. PN-EN and ASTM standards. Also a survey of experimental research works on explosion limits of flammable liquids is given. The paper summarizes the available testing methodologies and facilities which can be necessary for proper determination of vapors flammability in the process industries.

Słowa kluczowe: granice wybuchowości, ciecze palne, spalanie cieczy, wybuchowość;

Keywords: explosion limits, flammable liquids, combustion of liquids, explosibility;

Wprowadzenie

Z uwagi na bezpieczeństwo transportu i magazynowania substancji palnych, parametry wybuchowości, takie jak granice wybuchowości, minimalna energia zapłonu, czy minimalna temperatura zapłonu są od wielu lat badane przez instytuty badawcze na całym świecie, jak również stosowane jako kryteria bezpieczeństwa w kartach charakterystyk paliw samochodowych i lotniczych, w tym również paliw ciekłych [1-2]. Obowiązek posiadania przez producentów i dystrybutorów kart charakterystyk substancji niebezpiecznych dla paliw samochodowych i lotniczych zapewnia odbiorcom tych paliw wiedzę o potencjalnych zagrożeniach pożarowo-wybuchowych, a także ułatwia proces projektowania i doboru technicznych systemów zabezpieczeń związanych z transportem oraz magazynowaniem tych paliw. Brak posiadanej wiedzy na ten temat zwiększa ryzyko wystąpienia zdarzeń

niepożądanych, niejednokrotnie o katastroficznych skutkach, tj. pożarów, czy wybuchów, do których może dojść podczas niewłaściwego magazynowania, użytkowania, czy też transportu paliw [3].

Metody badawcze

Jedną z metod eliminowania zagrożeń związanych z wybuchem substancji palnych jest zapobieganie tworzeniu się atmosfery wybuchowej gazów i/lub par z powietrzem [3]. Aby uzyskać w wyniku badań wiarygodne i porównywalne wyniki należy ujednotlić metodę badawczą tj. wykorzystywaną aparaturę i procedury. W tym celu wprowadzono normy badawcze dokładnie opisujące sposób, w jaki określone powinny być granice wybuchowości gazów i par zarówno stężeniowe [4], jak i temperaturowe [5]. W celu unikania zagrożenia wybuchem należy stosować odpowiednie środki zapobiegające tworzeniu się atmosfery wybuchowej. W tym celu konieczne jest określenie granic wybuchowości substancji palnych. Granice wybuchowości zależą od wielu czynników, takich jak:

¹ Autorzy w równych częściach (1/3) przyczynili się do powstania artykułu.

- właściwości substancji palnych,
- temperatura i ciśnienie początkowe,
- rozmiar i kształt urządzenia badawczego,
- źródła zapłonu (rodzaj i energia),
- kryterium dla oznaczania granicy (kryterium dla samopodtrzymującego się spalania).

Z uwagi na fakt, iż nie jest możliwe określanie granic wybuchowości dla wszystkich substancji palnych przy pomocy jednej metody badawczej, standardy dopuszczają wykorzystanie różnych metod w zależności od rodzaju substancji. Norma PN-EN 1839 [4] dopuszcza i opisuje dwie metody określania stężeniowych granic wybuchowości gazów i par cieczy:

- metodę T, tzw. metodę „rury”,
- metodę B, tzw. metodę „bomby”.

Jak stwierdza powyższa norma, na ogół metoda T daje szerszy zakres wybuchowości, niż metoda B. Różnice w wartościach sięgają nawet do 10 %. W metodzie T naczynie badawcze jest cylindryczne, badana mieszanina wprowadzana jest od dołu do góry, do momentu, gdy mieszanina w naczyniu zostanie całkowicie zastąpiona nową. W mieszaninie inicjuje się zapłon przy pomocy serii iskier indukcyjnych i obserwuje, czy zachodzi zjawisko oderwania płomienia, na co najmniej 100 mm od przerwy iskrowej lub zaobserwowano tzw. zjawisko poświaty osiagające szczyt rury lub na wysokość co najmniej 240 mm. Zawartość badanej substancji w powietrzu zmienia się krokowo, aż do ustalenia dolnej lub górnej granicy wybuchowości, w skrócie odpowiednio DGW i GGW. Aparatura badawcza do tej metody składa się z następujących elementów [4]:

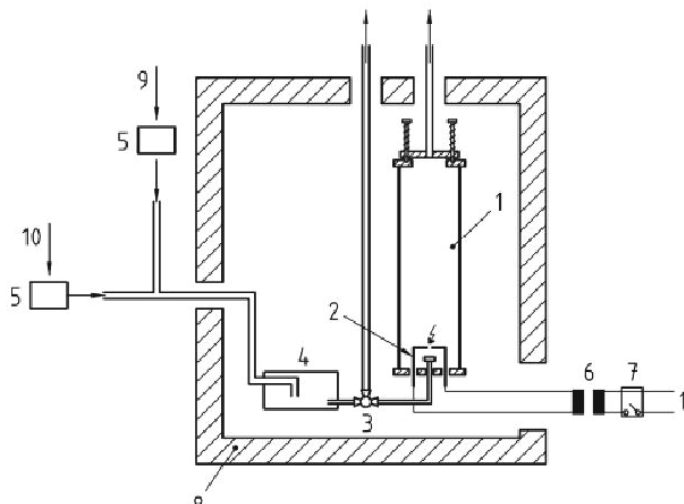
- zbiornika badawczego – pionowy, cylindryczny wykonany ze szkła lub innego przezroczystego materiału o średnicy wewnętrznej 80 mm i min. długości 300 mm;
- źródła zapłonu – seria iskier indukcyjnych pomiędzy dwiema elektrodami umieszczonymi w odległości 60 mm nad dnem zbiornika. Czas wyładowania iskrowego to 0,2 z energią wyładowania ok. 10 W;
- urządzenia do sporządzania mieszanin;
- urządzenia do regulacji temperatury;
- wyposażenia zabezpieczającego.

Schemat stanowiska badawczego do pomiarów granic wybuchowości par cieczy palnych wg metody T przedstawiono na Rysunku 1.

Ze względu na poprawność badania wymagane jest, aby użyte substancje miały odpowiednią czystość, nie mniejszą niż 99,8 % wyrażone jako ułamek molowy. Nie dopuszczalna jest obecność wody lub oleju.

W metodzie B urządzenie badawcze jest sferyczne lub cylindryczne (stosunek długości do średnicy musi zawierać się w przedziale 1 a 1,5) o pojemności co najmniej 0,005 m³. W mieszaninie inicjuje się zapłon i mierzy nadciśnienie spowodowane zapłonem, które charakteryzuje wybuchowość danej mieszaniny. Aparatura badawcza składa się z następujących elementów:

- zbiornika badawczego,
- urządzenia zapłonowego emitującego serię iskier indukcyjnych lub przepalający się drut topikowy,
- urządzenia do przygotowywania mieszaniny metodą ciśnień cząstkowych;
- układu pomiaru ciśnienia – przetwornik ciśnienia, wzmacniacz, urządzenie rejestrujące;



Opis (Specification)

- | | |
|---|---|
| 1 Zbiornik badawczy (Research tank) | 7 Przekaznik czasowy (Time transmitter) |
| 2 Elektrody (Electrodes) | 8 Urządzenie do utrzymywania temperatury (Thermostat) |
| 3 Zawór trójdrożny (Three-way valve) | 9 Substancja palna (Combustible substance) |
| 4 Zbiornik do mieszania (Mixing tank) | 10 Powietrze (Air) |
| 5 Urządzenie dozujące (Dosing device) | 11 Zasilanie (Power) |
| 6 Transformator wysokonapięciowy (High voltage transformer) | |

Ryc. 1. Schemat stanowiska badawczego do oznaczania stężeniowych granic wybuchowości metodą T.

Fig. 1. Scheme of apparatus for determination of explosion limits by T method.

- układu pomiaru temperatury;
- wyposażenia zabezpieczającego.

Schemat stanowiska badawczego do pomiarów granic wybuchowości par cieczy palnych wg metody B przedstawiono na Rysunku 2.



Ryc. 2. Stanowisko do oznaczania stężeniowych granic wybuchowości metodą B o poj. 20 litrów, stosowane w Politechnice Warszawskiej [4].

Fig. 2. 20-litre sphere for determination of explosion limits by B method, used by Warsaw University of Technology [4].

Ciecze palne mogą stwarzać zagrożenie wybuchem w wyniku ich parowania oraz utworzenia atmosfery wybuchowej z powietrzem. W celu oceny prawdopodobieństwa powstania atmosfery wybuchowej konieczne jest zatem poznanie temperaturowych granic wybuchowości cieczy palnych. Granice te zależą w szczególności od:

- właściwości cieczy palnej (prężności pary, składu chemicznego cieczy),
- ciśnienia początkowego,
- wielkości i kształtu naczynia oraz procentowego jego wypełnienia cieczą,
- źródła zapłonu (rodzaju i energii),
- kryterium samo-rozprzestrzeniającego się spalania.

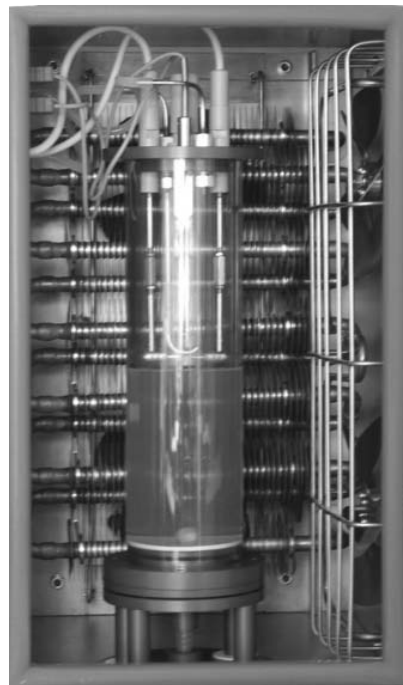
Temperaturowa granica wybuchowości cieczy jest zazwyczaj niższa niż jej temperatura zapłonu. Dla czystych substancji różnica może dochodzić do 10 K natomiast dla mieszanin nawet do 25 K. Niektóre ciecze mogą mieć granice wybuchowości, ale nie posiadają temperatury zapłonu dlatego charakteryzują się temperaturową granicą wybuchowości. Aparatura badawcza do pomiaru temperaturowych granic wybuchowości składa się z [5]:

- naczynia badawczego będącego pionowym cylindrycznym zbiornikiem o średnicy wewnętrznej po-

między 80 a 100 mm i wysokości pomiędzy 300 a 500 mm, wykonanym ze szkła odpornego na ciśnienie 10 bar;

- komory grzewczej/chłodzącej z cyrkulacją powietrza i izolowanej od podłoża o objętości co najmniej 10-krotności objętości naczynia badawczego i współczynnikiem wymiany powietrza co najmniej 10 wymian powietrza na godzinę;
- urządzenia zapłonowego, tj. seria iskiek indukcyjnych pomiędzy dwiema elektrodami;
- mieszadła magnetycznego zanurzonego w badanej cieczy;
- barometru o dokładności pomiaru do 0,1 kPa.

Schemat stanowiska badawczego do pomiarów temperaturowych granic wybuchowości par cieczy palnych przedstawiono na Rysunku 3.



Ryc. 3. Stanowisko do pomiaru temperaturowych granic wybuchowości cieczy palnych stosowane w Politechnice Warszawskiej [5].

Fig. 3. Apparatus for determination of explosion limits used by Warsaw University of Technology [5].

Według metody badawczej opisanej w standardzie PN-EN 15794 [5], kryterium zapłonu (samo rozprzestrzeniającego się spalania) jest:

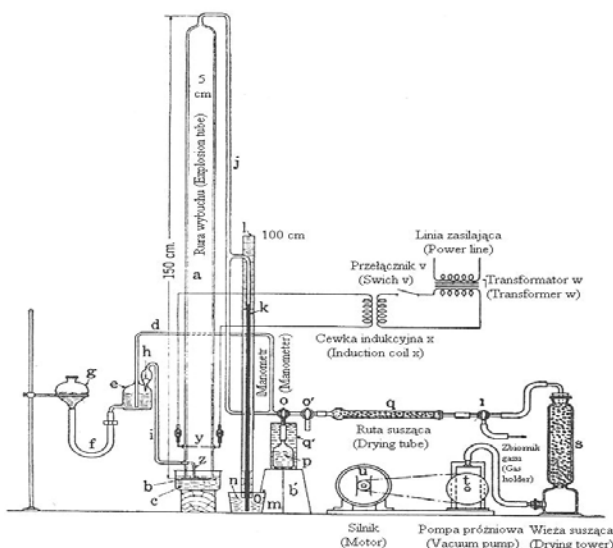
- wizualna obserwacja oderwania się płomienia na co najmniej 100 mm od iskiernika lub;
- osiągnięcie szczytu naczynia lub;
- alternatywnie jako zapłon można uznać wzrost temperatury o 1 K zmierzony przez termoparę umieszczoną w fazie gazowej.

Przy określaniu dolnej lub górnej temperaturowej granicy wybuchowości należy stosować krok temperaturowy równy 5 K, aż do osiągnięcia wyniku negatywnego, następnie stosować kroki temperaturowe 1 lub 2 K, aż do

osiągnięcia wyniku negatywnego. Ostatnia wartość temperatury, przy której nie zaobserwowano zapłonu podczas, gdy dla następnej lub poprzedzającej zapłon był możliwy, jest temperaturą zapłonu. Potwierdzenie wyniku powinno być przeprowadzone co najmniej w jednym dodatkowym badaniu.

Przegląd prac badawczych

Stężeniowe granice wybuchowości badane są już od wielu lat [6-8]. Zgodnie z ogólnie przyjętym kryterium, mieszanina paliwa z utleniaczem jest mieszaniną palną, gdy zapalona za pomocą zewnętrznego źródła zapłonu umożliwia utworzenie płomienia, który będzie mógł się przez nią przemieszczać [2]. Jednakże, doświadczalnie stwierdzono, że nie każda mieszanina paliwa i utleniacza jest palna. Istnieją zatem granicznie ubogie i granicznie bogate mieszaniny, które określają granice obszaru palności tych mieszanin. Wielokrotnie stwierdzono podczas badań, że granice te zależą od fizycznych warunków przeprowadzania eksperymentów [9]. Pierwszą definicją oraz propozycją standaryzacji metody określania granic wybuchowości wystąpili Coward i Jones w roku 1952 [6]. Zaproponowali oni, aby określanie granic wybuchowości odbywało się w pionowej rurze testowej o średnicy wewnętrznej ok. 50 mm i długości ok. 1,5 m, zamkniętej na górze i otwartej na dole i połączonej z atmosferą. Zgodnie z zaproponowanym kryterium, jeśli po zapłonie w dolnej części rury płomień przemieści się wzdłuż całej jej długości, wówczas uznaje się, że mieszanina jest palna. Jeśli płomień zgaśnie wcześniej, to mieszaninę uznaje się za niepalną. Ponieważ zaproponowana aparatura nie była stabilizowana termicznie, nadawała się jedynie do badania granic wybuchowości cieczy, które stosunkowo łatwo parowały w temperaturze pokojowej. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na Rysunku 4

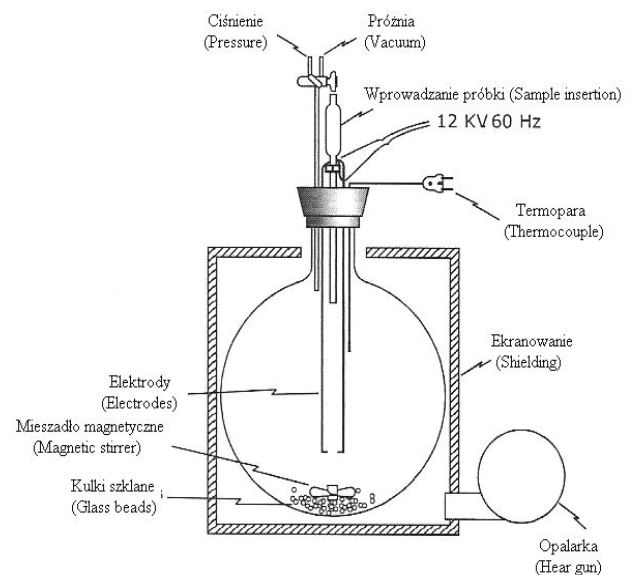


Ryc. 4. Schemat stanowiska badawczego do pomiaru granic palności gazów i par [6].

Fig. 4. Testing apparatus for determination of explosion limits of gases and vapors [6].

Zmodyfikowane stanowisko badawcze wykorzystywał Zabetakis [7], przez co możliwe było badanie granic wybuchowości w temperaturach do 2030C. Stabilizacja termiczna polegała na umieszczeniu standardowej rury badawczej w zbiorniku wypełnionym powietrzem o regulowanej temperaturze. Podczas swoich badań Zabetakis [8] zaobserwował wpływ średnicy rury na górną granicę wybuchowości. W momencie, gdy średnicę zwiększono dwukrotnie, GGW obniżała się, podczas gdy DGW pozostawała stała.

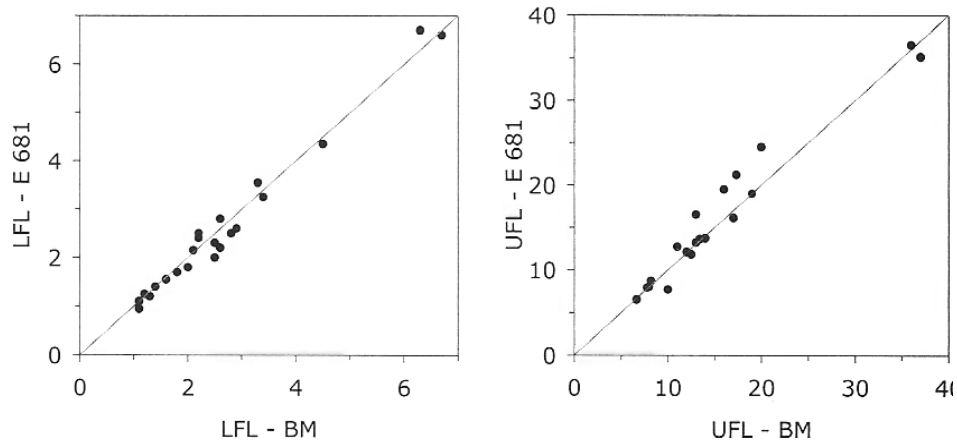
Badania autorów pracy [6] wykazały również, że dla niektórych substancji (halogeny) standardowa rura badawcza nie pozwala na określenie granic wybuchowości, natomiast zwiększając średnicę rury dwukrotnie okazywało się, że dana substancja jest palna. Stanowisko badawcze o zwiększonej średnicy nie zostało jednak wprowadzone jako standardowe. W roku 1972 zbudowano na zlecenie firmy Kodak 5 l stanowisko badawcze do określania stężeniowych granic palności gazów i par cieczy w powietrzu [14]. Stanowisko badawcze zostało potem ustandaryzowane jako ASTM E-681 [9]. Stanowisko to składało się ze stabilizowanego termicznie (do 1500C) zbiornika badawczego o kształcie kulistym oraz pojemności 5 litrów. Zbiornik badawczy wyposażono w mieszadło magnetyczne oraz układ zapłonowy położony poniżej środka zbiornika. Norma ASTM E-681 opisuje również podobny zbiornik o pojemności 12 litrów, który mógłby być użyty do badań nad substancjami, które nie zapaliły się w zbiorniku 5 l. Schemat stanowiska przedstawiono na Rysunku 5.



Ryc. 5. Stanowisko badawcze wg ASTM E-681, zbiornik o pojemności 5 litrów [9].

Fig. 5. Testing apparatus according to ASTM E-681, with 5-liter vessel [9].

Na Rysunku 6 przedstawiono porównanie uzyskanych wyników przy wykorzystaniu dwóch powyżej opisanych stanowisk badawczych [14]. Z kilkoma wyjątkami różnice pomiędzy otrzymanymi wynikami są niewielkie.

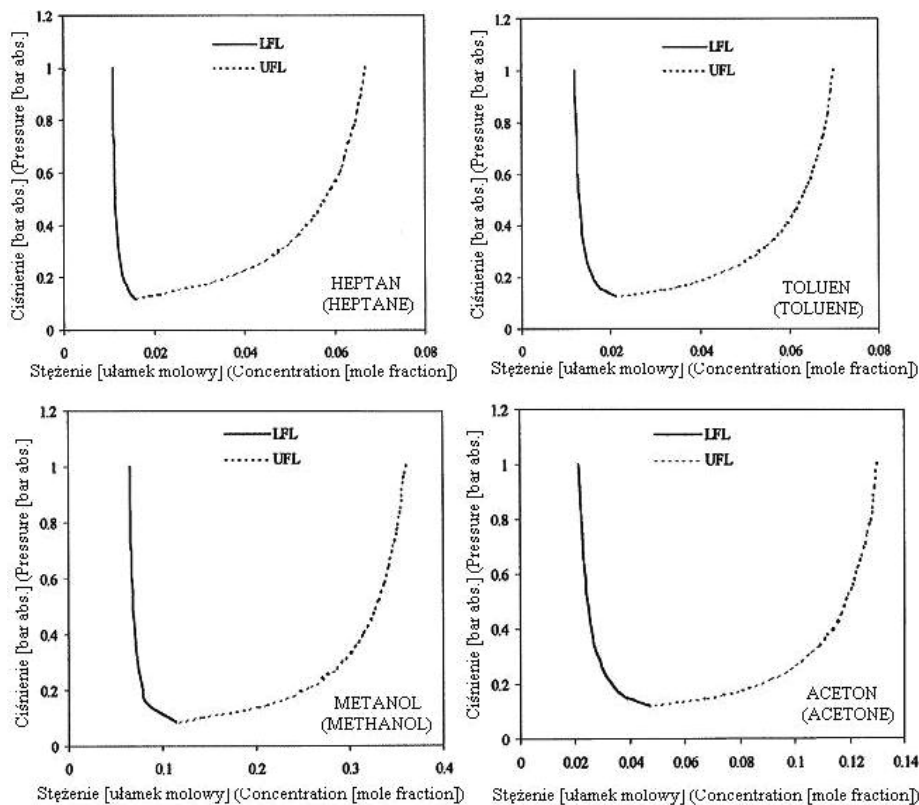


Ryc. 6. Porównanie wyników z dwóch różnych stanowisk badawczych: BM i ASTM E-681 [14].
 Fig. 6. Comparison of results from two different testing apparatus: BM and ASTM E-681 [14].

Podobna aparatura badawcza, opisana w ASTM E-681 została przedstawiona w standardzie ASTM E-1232, dotyczącym określania temperaturowych granic wybuchowości cieczy [10]. Badania przeprowadzone przez Cowarda i Jonesa w pionowej rurze [6] posłużyły do stworzenia niemieckiej normy DIN 52649 [14]. Standard ten opisuje użycie cylindrycznego, szklanego, pionowego zbiornika o długości 300 mm i średnicy wewnętrznej 60 mm. Wykorzystuje się tam zapłon iskrowy z elektrodami umieszczonymi 60 mm nad dolną powierzchnią urządzenia. W zakresie podwyższonych temperatur używa się stabilizacji temperaturowej gorącym powietrzem opływającym zbiornik badawczy. Mieszaninę gazową tworzy się

metodą przepłukiwania strumieniem natomiast mieszaninę par z powietrzem przy użyciu dodatkowego parownika. Metoda ta posłużyła za podstawę normy PN-EN 1839 [4]. Dalsze modyfikacje tej normy doprowadziły do zwiększenia średnicy naczynia badawczego do 80 mm (metoda T) oraz wprowadziły sferyczne urządzenie badawcze (metoda B) o pojemności co najmniej 5 litrów. Zapłon w tym urządzeniu sferycznym realizowany jest poprzez drut topikowy lub serię iskiek [4].

Standard opisujący określanie granic wybuchowości par cieczy i gazów w podwyższonych ciśnieniach i temperaturach to ASTM E-918 [11]. Standard ten dopuszcza badanie granic wybuchowości dla ciśnienia do 13,8 bar



Ryc. 7. Wpływ ciśnienia na zakres granic wybuchowości dla heptanu, toluenu, metanolu i acetonu [13].
 Fig. 7. Pressure influence on explosion limits for heptane, toluene, methanol and acetone [13].

i temperatury do 2000C. Zbiornik badawczy jest cylindryczny o średnicy 76 mm i pojemności 1 litr. Zapłon następuje na skutek eksplozji drutu topikowego nad dnem zbiornika. Kryterium zapłonu jest wzrost ciśnienia powyżej 7% ciśnienia początkowego.

Z kolei standard ASTM E-2079 [12] opisuje aparaturę i procedurę badawczą używaną do określania minimalnego stężenia tlenu lub innego utleniacza. Zbiornik powinien mieć pojemność co najmniej 4 l, a zapłon możliwy jest do realizacji poprzez 1 z 5 dopuszczalnych metod. Kryterium zapłonu jest identyczne jak w normie ASTM E-918.

Badaniem wpływu ciśnienia na granice wybuchowości różnych ciekłych substancji zajmował się Arnaldos [13]. Większość przebadanych przez niego substancji wykazało silny wpływ ciśnienia na zakres granic wybuchowości, większy na GGW niż na DGW. Wpływ ciśnienia na granice przedstawiono na Rysunku 7. Z przedstawionych danych wynika również, że istnieje pewne ciśnienie, poniżej którego płomień nie propaguje w mieszaninie. Dla heptanu, toluenu, metanolu i acetonu graniczne ciśnienie wynosi odpowiednio: 0,101; 0,129; 0,106; 0,126 bar.

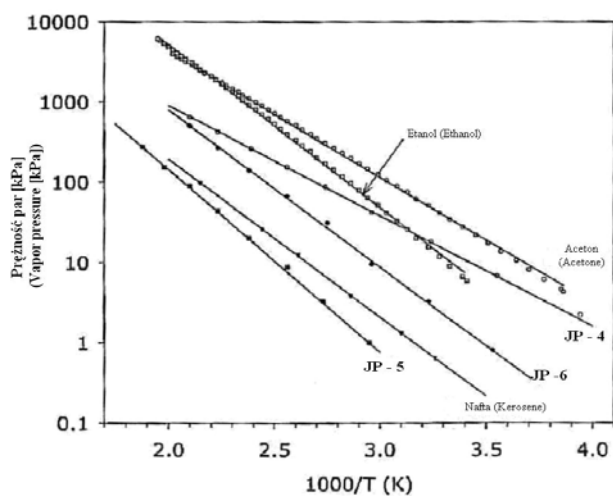
Niezwykle ważną właściwością cieczy palnych jest to, iż ciśnienie cząstkowe ich par zależy ściśle od temperatury. Najprostszą zależnością łączącą ciśnienie cząstkowe par z temperaturą zaproponował Clapeyron:

$$\ln P_{vp} = A - \frac{B}{T} \quad (1)$$

gdzie:

A, B to stałe empiryczne dla różnych substancji,
T to temperatura [K].

Zależność ciśnienia nasycenia par w funkcji temperatury dla wybranych cieczy palnych przedstawiono na Rysunku 8.



Ryc. 8. Zależność ciśnienia nasycenia par w funkcji temperatury dla wybranych cieczy palnych (punkty – dane eksperymentalne, linie – równania Clapeyrona) [14].

Fig. 8. Vapor pressure vs. temperature for selected flammable liquids (dots – experimental data, lines – Clapeyron's equations) [14].

Ponieważ równanie (1) opiera się na założeniu, że pary cieczy są gazami idealnymi, to nie pokrywa całego zakresu temperatur z odpowiednią dokładnością. Aby uzyskać dokładniejsze wyniki należy użyć innych modeli numerycznych. Modyfikacji równania Clapeyrona dokonał Antoine [23], poprzez wprowadzenie dodatkowej stałej empirycznej C. W niektórych pracach badawczych podawane są wartości współczynników empirycznych dla postaci równania Antoine, w oparciu o logarytm dziesiętny, a nie naturalny lub dla jednostek innych niż SI np. w mm Hg, na co należy zwrócić szczególną uwagę przy korzystaniu z danych literaturowych. Standard PN-EN 15794 [5] podaje przekształcone równanie Antoine do szacowania granic wybuchowości EP czystych substancji w formie przedstawionej poniżej:

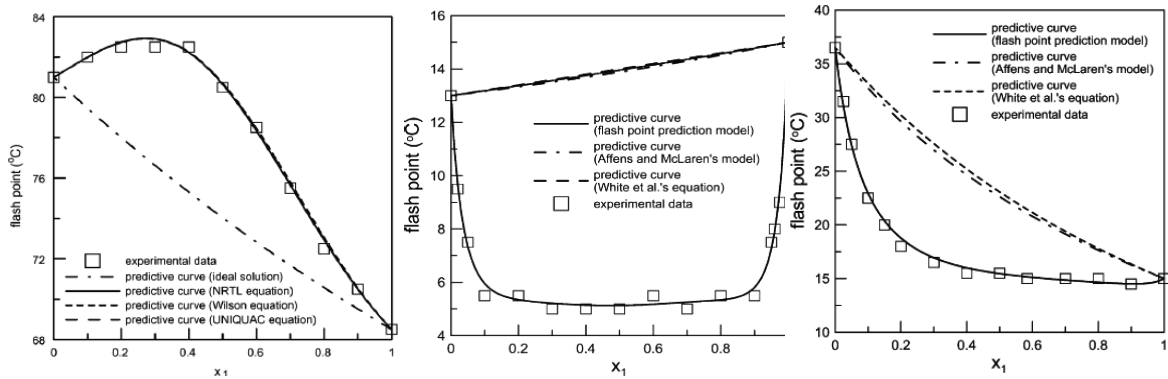
$$EP = \frac{B}{A - \log_{10}(\varphi_{lim} \cdot P_o \cdot 0,01)} - C \quad (2)$$

Gdzie: φ_{lim} to stężeniowa granica wybuchowości (w % obj.), P_0 to ciśnienie atmosferyczne w kPa.

W standardzie PN-EN 15794 podkreśla się, że równanie (2) może być użyte jedynie w celach wstępnego określenia przybliżonych wartości EP, jako początkowej temperatury badawczej. W publikacji opracowanej przez Reida [15] znajduje się zbiór stałych równania Antoine dla wielu substancji. Przydatna jest również publikacja stworzona przez Babrauskasa [14] oraz inne prace [16-19].

Temperaturą, przy której ciśnienie nasycenia par paliwa odpowiada dolnej stężeniowej granicy wybuchowości jest określane jako tzw. „lower explosion point” (LEP), a temperaturą, przy której ciśnienie nasycenia par paliwa odpowiada górnej stężeniowej granicy wybuchowości jest określane jako „upper explosion point” (UEP) [5]. Znając zatem postać równania Antoine dla danej substancji oraz wartość DGW i GGW można obliczyć LEP oraz UEP. Takie podejście ma jednak praktyczne zastosowanie jedynie dla czystych substancji. W przypadku mieszanin substancji wykazujących różne wartości DGW i GGW, LEP i UEP mieszaniny będą zmienne w funkcji stężenia poszczególnych składników. Mieszaniny nieidealne, których składniki nie mieszają się ze sobą w dowolnej proporcji mogą ponadto wykazywać ekstremum w funkcji stężenia składników, co oznacza że istnieje takie stężenie składników, dla których mieszanina ma mniejszą lub większą wartość LEP i UEP niż poszczególne składniki rozpatrywane osobno. Mieszaniną wykazującą minimum explosion point jest np. mieszanina oktanu i etanolu. Na Rysunku 9 przedstawiono wykres zależności temperatury zapłonu (flash point) dla wybranych mieszanin dwuskładnikowych w funkcji stężenia poszczególnych składników od 0% do 100% [20-22].

Różnice w rezultatach badań doświadczalnych wynikają z różnic w metodach badawczych, stosowanych urządzeniach oraz kryteriach zapłonu. Przy określaniu flash



Ryc. 9. Zależność flash point od stężenia dla mieszanin: cykloheksanol(x_1) + fenol, oktan(x_1) + etanol, oktan(x_1) + 1-butanol [20-22].

Fig. 9. Flash point dependence on concentration for mixtures: cyclohexanol (x_1) + phenol, octane (x_1) + ethanol, octane (x_1) + 1-butanol [20-22].

point, kryterium zapłonu jest rozprzestrzenienie się płomienia na całej powierzchni swobodnej cieczy, natomiast dla badania explosion point kryterium tym jest oderwanie się płomienia na co najmniej 100 mm. Nie bez znaczenia pozostaje również to, że badanie explosion point odbywa się w stabilizowanym termicznie urządzeniu badawczym natomiast dla flash point w urządzeniu, które grzane jest z określoną prędkością, przez co występuje quasi-równowaga pomiędzy cieczą i jej parami.

Istnieje kilka sposobów pozwalających na szacowanie granic wybuchowości za pomocą zależności empirycznych. Większość z nich bazuje na stężeniu stechiometrycznym X_0 , które pomnożone przez odpowiedni współczynnik dla określonych grup związków powoduje otrzymanie wartości górnej lub dolnej granicy wybuchowości. Ze względu na warunki bezpieczeństwa w przemyśle, większe znaczenie ma parametr DGW i ten parametr jest przedmiotem większego zainteresowania naukowców.

Różnice w rezultatach badań doświadczalnych wynikają z różnic w metodach badawczych, stosowanych urządzeniach oraz kryteriach zapłonu. Przy określaniu flash point, kryterium zapłonu jest rozprzestrzenienie się płomienia na całej powierzchni swobodnej cieczy, natomiast dla badania explosion point kryterium tym jest oderwanie się płomienia na co najmniej 100 mm. Nie bez znaczenia pozostaje również to, że badanie explosion point odbywa się w stabilizowanym termicznie urządzeniu badawczym natomiast dla flash point w urządzeniu, które grzane jest z określoną prędkością, przez co występuje quasi-równowaga pomiędzy cieczą i jej parami.

Istnieje kilka sposobów pozwalających na szacowanie granic wybuchowości za pomocą zależności empirycznych. Większość z nich bazuje na stężeniu stechiometrycznym X_0 , które pomnożone przez odpowiedni współczynnik dla określonych grup związków powoduje otrzymanie wartości górnej lub dolnej granicy wybuchowości. Ze względu na warunki bezpieczeństwa w przemyśle, większe znaczenie ma parametr DGW i ten parametr jest przedmiotem większego zainteresowania naukowców.

Podsumowanie

W artykule tym dokonano przeglądu metod oraz stanowisk badawczych służących do określania granicy wybuchowości cieczy palnych. Zaprezentowano tu stanowiska i metody zalecane przez międzynarodowe standardy, takie jak PN-EN, czy ASTM. Opisano również prowadzone dotychczas prace naukowe w zakresie badań eksperymentalnych granic wybuchowości cieczy palnych. Wiedza w zakresie dostępnych metodyk oraz aparatury badawczej do pomiarów palności cieczy palnych stanowi podstawę do prawidłowego doboru tej aparatury w laboratoriach badawczych, a dzięki temu przyczynić się może do podniesienia świadomości przemysłu w zakresie zagrożenia, jakie może stwarzać nieprawidłowe stosowanie, magazynowanie, czy transport cieczy palnych.

Praca została sfinansowana w ramach projektu rozwojowego NCBiR nr NR10-0002-10/2010 pt. „Określenie parametrów flash point i explosion point dla wybranych paliw ciekłych oraz ich wpływu na bezpieczeństwo magazynowania i transportu tych paliw”.

Literatura

1. Mannan S., *Lee's Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 2, 2007;
2. Law C.K., *Combustion physics*, Cambridge University Press, 2006;
3. Eckhoff R.K., *Explosion hazards in the process industries*, GPC, 2005;
4. PN-EN 1839, Oznaczanie granic wybuchowości gazów i par, PKN, 2005.
5. PN-EN 15794, Oznaczanie punktów wybuchowości cieczy palnych, PKN, 2010.
6. Coward H.F., Jones G.W., *Limits of flammability of gases and vapors*, Bulletin 503 Bureau of Mines, Pittsburg, 1952;
7. Zabetakis M.G., Scott G.S., Jones G.W., *Limits of flammability of paraffin hydrocarbons in air*, Ind. And Eng. Chem. 43, 1951;
8. Zabetakis M.G., *Flammability characteristics of combustible gases and vapors*, Bulletin 627, Bureau of Mines, 1965;

9. ASTM E-681, *Standard test method for concentration limits of flammability of chemicals*, ASTM;
10. ASTM E-1232, *Standard test method for temperature limit of flammability of chemicals*, ASTM;
11. ASTM E-918, *Standard practice for determining limits of flammability of chemicals at elevated temperature and pressure*, ASTM;
12. ASTM E-2079, *Standard test methods for limiting oxygen concentration in gases and vapors*, ASTM;
13. Arnaldos J., Casal J., Planas-Cuchi E., *Prediction of flammability limits at reduced pressures*, Chemical Engineering Science 56, 2001;
14. Babrauskas V. *Ignition Handbook*, SFPE, 2001;
15. Reid R.C., Prausnitz J.M., Sherwood T.K., *The properties of gases and liquids, 4th edition*, McGraw-Hill, New York, 1987;
16. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 2nd ed., Society of Fire Protection Engineers, Boston, 1995;
17. Merck, *The Merck Index, 12th ed.*, Merck & Co., NJ, 1996;
18. <http://webbook.nist.gov/chemistry/>
19. <http://www.lib.utexas.edu/thermodex/>
20. Pintar A.J., *Predicting lower and upper flammability limits*, Proc. Intl. Conf. on Fire Safety, vol. 28, Product Safety Corp., Sissonville WV, 1999;
21. Hilado C.J., *A method for estimating limits of flammability*, Journal of Fire and Flammability 6, 1975;
22. Shimy A.A., *Calculation flammability characteristics of hydrocarbon and alcohols*, Fire Technology 6, 1970;
23. Antoine C., *Tensions des vapeurs; nouvelle relation entre les tensions et les températures*, Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences 107, 1888;

mgr inż. Rafał Porowski

w 2002r. ukończył studia w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. W roku 2010 ukończył studia doktorskie na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. Temat rozprawy doktorskiej dotyczy badań doświadczalnych i symulacji numerycznych przejścia do detonacji w mieszaninach gazowych. Pełni funkcję kierownika Zespołu Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwożarowej PIB w Józefowie.

mgr inż. Wojciech Rudy

doktorant w Instytucie Techniki Ciepłej Wydziału MEiL Politechniki Warszawskiej. Zainteresowania naukowe: badania w spalaniu paliw oraz obliczenia numeryczne CFD w tym zakresie.

prof. dr hab. inż. Andrzej Teodorczyk

pracownik Instytutu Techniki Ciepłej Wydziału MEiL Politechniki Warszawskiej, uznany ekspert międzynarodowy w dziedzinie spalania paliw oraz detonacji mieszanin gazowych, prezes Polskiego Instytutu Spalania.