



**Renata Dobrzyńska**

*Katedra Inżynierii Bezpieczeństwa i Energetyki*

*Wydział Techniki Morskiej i Transportu*

*Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie*

*al. Piastów 41, 71-065 Szczecin*

*e-mail: Renata.Dobrzynska@zut.edu.pl*

## WPLYW PRODUKTÓW POŻARU NA ZDROWIE I ŻYCIE CZŁOWIEKA

**Streszczenie.** Do podstawowych czynników zagrożenia pożarowego zalicza się wysoką temperaturę, dym, toksyczność produktów rozkładu termicznego i spalania materiałów, niedobór tlenu oraz uszkodzenie elementów konstrukcyjnych. Każdy z tych czynników może stanowić zagrożenie dla zdrowia lub życia osób znajdujących się w obiekcie objętym pożarem - budynku lub środka transportu. Badania literaturowe wskazują, że z wymienionych czynników zagrożenia pożarowego najczęstszą przyczyną śmierci lub uszczerbku na zdrowiu są toksyczne produkty rozkładu termicznego i spalania materiałów stanowiących elementy konstrukcyjne lub wyposażenia. Do najbardziej niebezpiecznych dla zdrowia i życia ludzi zalicza się tlenek węgla, cyjanowodór i chlorowodór. Jedną z metod zapobiegania oddziaływaniu toksycznych gazów na zdrowie i życie człowieka jest dobór odpowiednich materiałów konstrukcyjnych i wyposażeniowych, które podczas pożaru nie będą wydzielać gazów w stężeniach przekraczających stężenia graniczne. Nie jest to łatwe zadanie, ponieważ aby materiały nie stanowiły śmiertelnego zagrożenia dla człowieka podczas pożaru powinny wykazać się trudnozapalnością, niewielką emisją toksycznych produktów spalania i słabą dymotwórczością. Każda z tych cech ma ogromny wpływ na zdrowie lub życie ludzi znajdujących się w środowisku pożaru. Zapalność materiału, emisja gazów i dymu zależą od jego składu, ale też od warunków rozwoju pożaru: temperatury, dopływu tlenu itd. Aby materiały spełniały warunek trudnozapalności dodaje się do składu różnego rodzaju środki ogniouodporniające, które spowalniają proces spalania, czego skutkiem jest najczęściej rozkład bezpłomieniowy, któremu towarzyszy wydzielanie nadmiernych ilości toksycznych gazów i dymu. Badania materiałów wykazują, że konieczny jest pewien kompromis pomiędzy zapalnością materiału a dymotwórczością i toksycznością jego produktów spalania.

**Słowa kluczowe:** czynniki zagrożenia pożarowego, toksyczność produktów pożaru, toksyczne zagrożenie pożarowe, bezpieczeństwo pożarowe.

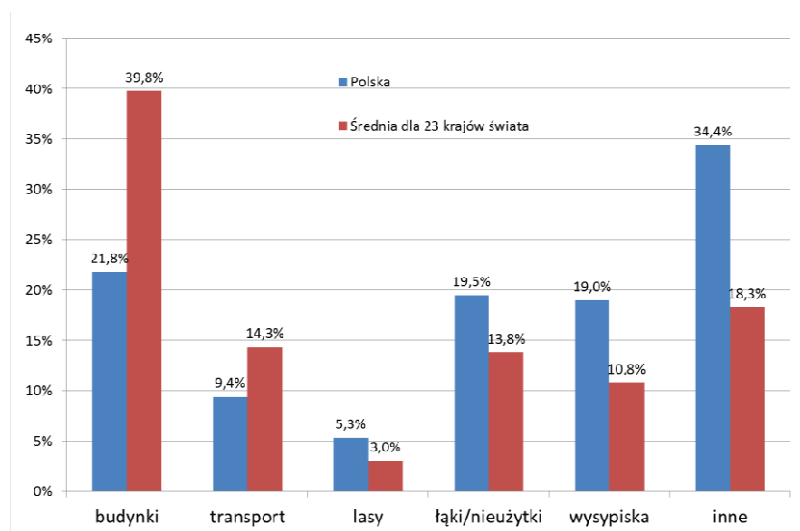
## INFLUENCE PRODUCTS OF FIRE ON HEALTH AND HUMAN LIFE

**Abstract.** The basic factors of fire hazards include heat, smoke, toxicity of the products of thermal decomposition and combustion of materials, lack of oxygen and damage to components. Each of these factors may pose a threat to the health or life of people in the building covered by the fire - a building or transport. Research literature indicates that these factors risk of fire most common cause of death or bodily injury are the toxic products of decomposition and combustion of materials that comprise structural or equipment. The most dangerous for the health and life of humans include carbon monoxide, hydrogen cyanide and hydrogen chloride. One of the methods to prevent the impact of toxic gases on human health and life is the selection of appropriate materials of construction and outfitting that the fire will not emit gases in concentrations exceeding concentration limits. It is not an easy task, because the materials do not constitute a mortal danger to man the fire should demonstrate low flammability, low emission of toxic combustion products and poor dymotwórczością. Each of these features has a huge impact on the health or life of people in the fire environment. Flammability of the material, the emission of gases and smoke depends on its composition, but also on the conditions for the development of fire temperature, oxygen etc. In order to comply with the condition retardant materials added to the composition of various types of fire retardants that slow down the combustion process, resulting in the most common distribution flameless, accompanied by the release of excessive amounts of toxic gases and smoke. Materials testing shows that it is necessary a compromise between the flammability of the material and smoke generation and toxicity of combustion products.

**Keywords:** fire hazard factors, toxicity of fire products, fire toxic hazard, fire safety.

### Wstęp

Według danych statystycznych pochodzących z 23 krajów świata, w 2013 roku wybuchło ponad 2,5 mln. pożarów, w wyniku których poniosło śmierć ok. 22 tys. ludzi [1]. Największe zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi powodują pożary budynków i środków transportu. Udział tego typu pożarów w liczbie wszystkich pożarów zgłoszonych w 23 krajach świata w 2013 roku przedstawiono na rysunku 1. W Polsce stanowiły one ponad 31%, ale w Rosji osiągnęły rekordowy udział – ponad 96%, niewiele mniej – 91,5% na Białorusi, a w Singapurze – 89,5%. Szacuje się, że w pożarach budynków i środków transportu poniosło śmierć 95% ofiar wszystkich pożarów.



Rys. 1. Dane statystyczne dotyczące miejsc wybuchów pożarów w Polsce na tle średniej dla 23 krajów świata w 2013 roku [opracowanie na podstawie 1]

## Czynniki zagrażające ludziom podczas pożaru

Podczas pożaru obiektów człowiek narażony jest na wiele czynników bezpośrednio wpływających na jego zdrowie, czy życie. Wśród tych czynników najczęściej wymienia się [2, 9]:

- płomień i gorące gazy,
- dym,
- toksyczność produktów rozkładu termicznego i spalania,
- niedobór tlenu,
- uszkodzenie obiektu lub jego elementów.

Płomień i gorące gazy są przyczyną poważnych oparzeń zarówno ciała, jak i dróg oddechowych. Mogą one również powodować przegrzanie organizmu, odwodnienie, utratę przytomności. Gdy temperatura ciała przekracza  $43^{\circ}\text{C}$  następuje udar cieplny. Określa się, że wartość krytyczna temperatury gazów  $T_{kr}$  dla człowieka wynosi około  $70^{\circ}\text{C}$  [10]. Przy takiej wartości temperatury dochodzi do oparzenia już po 1 sekundzie. Tymczasem średnia temperatura w środowisku pożaru w budynku może wynosić nawet ok.  $1000^{\circ}\text{C}$ .

Szybkość zmian temperatury pożaru zależy od intensywności wydzielania ciepła przez materiały objęte pożarem. Intensywność wydzielania ciepła ma decydujący wpływ również na zadymienie dróg ewakuacyjnych i ciągów komunikacyjnych objętego pożarem obiektu. Cząsteczki dymu oddziałują fizycz-

nie na drogi oddechowe, podrażniają oczy powodując ich pieczenie i łzawienie. Ponadto cząsteczki dymu (np. sadza) wykazują się dobrymi właściwościami adsorbcyjnymi. W związku z tym stanowią doskonały nośnik gazów toksycznych i przyspieszają przyjmowanie przez organizm związków toksycznych. Dym powoduje także znaczne ograniczenie widoczności, przez co utrudnia ewakuację i może być przyczyną paniki.

Dymotwórczość materiału i toksyczność produktów jego rozkładu termicznego i spalania zależy od składu chemicznego materiałów. W tabeli 1 przedstawiono produkty rozkładu termicznego i spalania, które mogą wydzielać się z wybranych materiałów stosowanych jako elementy wyposażenia wnętrza [6, 10].

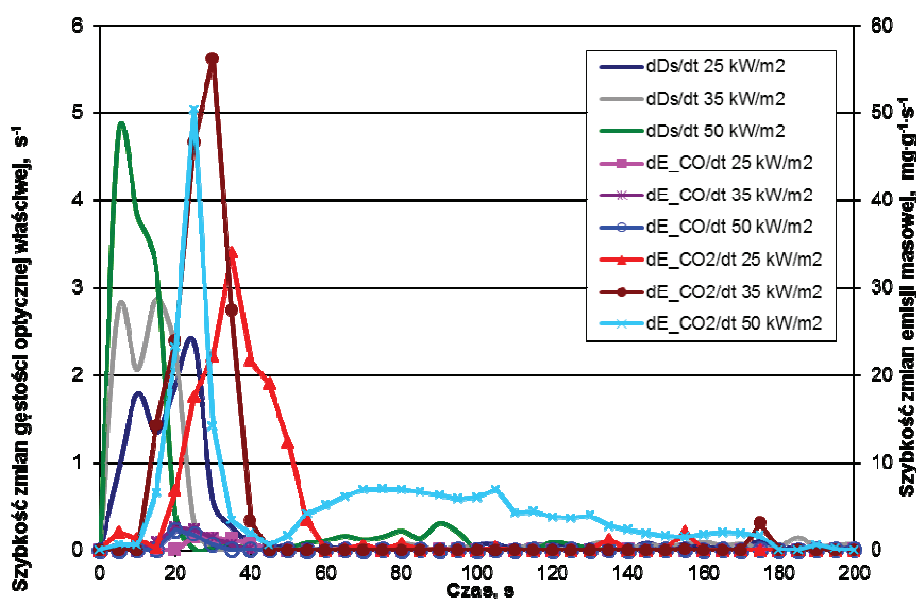
Tab..1. Produkty rozkładu termicznego i spalania wybranych materiałów [2,6,10]

Materiał	Produkty spalania i rozkładu	
	rozkład	spalanie
Drewnopochodne	węglowodory aromatyczne	CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>
Polietylen	etylen, mieszane węglowodory	CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub>
Polichlorek winylu	HCl, węglowodory aromatyczne, chlorek winylu (monomer)	HCl, Cl <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub>
Polistyren	monomery, dimery, trymery styrenu	CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub>
Poliamid	cyjanowodór	HCN, CO, CO <sub>2</sub>
Poliuretany	dwuizocjanki, cyjanowodór	CO, CO <sub>2</sub> , HCN, NO <sub>2</sub>

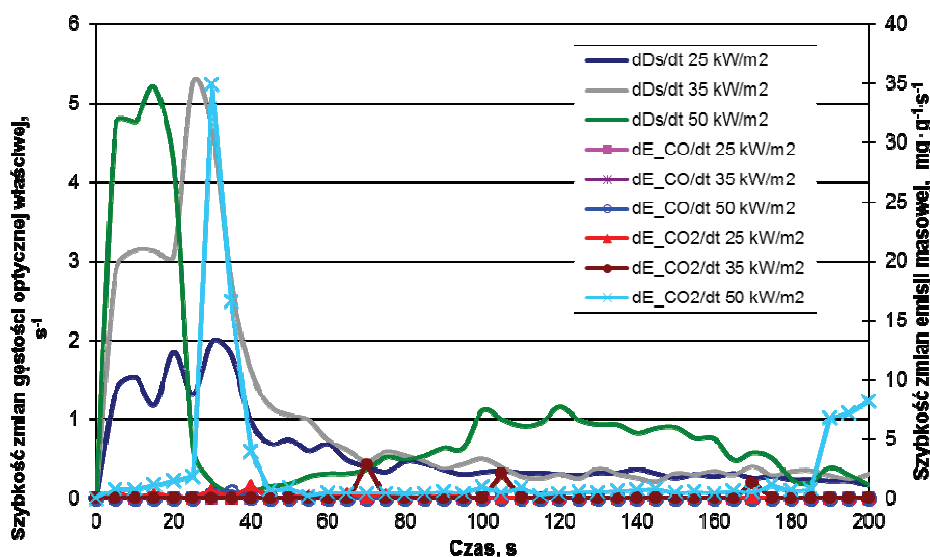
Dodatkowym czynnikiem wpływającym na emisję dymu i toksycznych produktów spalania jest proces ogniouodporniania tworzyw, który polega na dodaniu do tworzyw sztucznych środków opóźniających palenie (antypirenów) [8]. Dzięki nim może dochodzić do spowolnienia procesu zapłonu, a przez to do rozkładu bezpłomieniowego lub niecałkowitego spalania materiału, którym towarzyszy wzrost dymotwórczości i toksyczności produktów rozkładu termicznego i spalania materiałów. Poza tym same środki opóźniające palenie, w zależności od swojej budowy, mogą również własnymi produktami pirolizy spowodować dodatkowy wzrost dymotwórczości i toksyczności materiałów. Nie wszystkie środki ogniouodporniające działają jednak w ten sposób. Niektóre z nich opóźniają początek rozkładu termicznego i spalania polimeru lub zmniejszają szybkość pirolizy, a tym samym obniżają intensywność emisji dymu. To działanie ma istotne pozytywne znaczenie w rzeczywistych pożarach.

Emisja dymu i toksycznych produktów spalania zależy również od warunków pożaru. Dla każdego materiału istnieją charakterystyczne warunki

rozkładu termicznego i spalania, w których intensywność emisji dymu i toksycznych substancji jest największa. Potwierdzają to wyniki badań własnych przeprowadzonych na kalorymetrze stożkowym. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono przykład wpływu warunków rozkładu termicznego na wydzielanie dymu i toksycznych gazów. Na piankę poliuretanową C2328 skierowano strumień ciepła o natężeniu 25, 35 i 50 kW·m<sup>-2</sup> i zmierzono szybkość zmian gęstości optycznej właściwej oraz szybkość zmian emisji masowej tlenku węgla i dwutlenku węgla wydzielających się podczas rozkładu termicznego i spalania tej pianki. W pierwszej wersji badań produkty rozkładu termicznego zostały podpalone za pomocą palnika, co spowodowało w krótkim czasie wzrost emisji tlenku węgla i dwutlenku węgla (rys.2). Druga wersja badań została przeprowadzona bez użycia palnika. W tym przypadku można zauważyć, że ilość dymu zwiększyła się, ale zanotowano znaczne zmniejszenie ilości tlenku węgla i dwutlenku węgla (rys.3).



Rys. 2. Wyniki badań szybkości zmian gęstości optycznej właściwej oraz szybkości zmian emisji masowej tlenku węgla i dwutlenku węgla wydzielających się podczas rozkładu termicznego i spalania pianki poliuretanowej C2328. Badania z palnikiem metodą wg ISO 5660-1 (wyniki badań własnych)



Rys. 3. Wyniki badań szybkości zmian gęstości optycznej właściwej oraz szybkości zmian emisji masowej tlenku węgla i dwutlenku węgla wydzielających się podczas rozkładu termicznego i spalania pianki poliuretanowej C2328. Badania bez palnika metodą wg ISO 5660-1 (wyniki badań własnych)

Na przebieg pożaru, a w związku z tym również na człowieka przebywającego w palącym się obiekcie, ma także wpływ stężenie tlenu. W początkowej fazie rozwoju pożaru dosyć szybko zużywany jest tlen w procesie utleniania. Stopniowo stężenie tlenu się zmniejsza i w dymie jest mniej tlenu, niż go potrzeba człowiekowi do oddychania. Zagrożenie dla układu oddechowego człowieka następuje już przy niedoborze tlenu poniżej 17%. Szczególnie wrażliwa na niedobór tlenu jest tkanka mózgowa. Dodatkowo zmniejszenie stężenia tlenu w środowisku pożaru powoduje spowolnienie spalania i intensyfikuje wydzielanie toksycznych produktów.

### Wpływ toksyczności produktów rozkładu termicznego na zdrowie i życie człowieka

Dane literaturowe [2, 7–10] oraz wyniki badań własnych [3–4] wskazują, że podczas pożaru materiałów stanowiących wyposażenie wnętrz, ludzie narażeni są głównie na działanie tlenku węgla, cyjanowodoru i chlorowodoru. Stężenia graniczne dla toksycznych produktów spalania materiałów przedstawiono w tabeli 2.

Tab..2. Stężenia graniczne produkty rozkładu termicznego i spalania materiałów

Produkty rozkładu termicznego i spalania		Stężenia graniczne LC <sub>50i</sub> <sup>30</sup>	
		g · m <sup>-3</sup>	ppm
Tlenek węgla	CO	3,75	2999
Dwutlenek węgla	CO <sub>2</sub>	196,4	99963
Cyjanowodór	HCN	0,16	133
Dwutlenek azotu	NO <sub>2</sub>	0,205	100
Chlorowodór	HCl	1	614
Dwutlenek siarki	SO <sub>2</sub>	0,7	245

Działanie toksyczne tlenku węgla polega na wysokim stopniu jego powinowactwa do hemoglobiny (H<sub>B</sub>), z którą wiąże się około 200 razy szybciej, niż tlen, tworząc karboksyhemoglobinę (COH<sub>B</sub>). Tlenek węgla, reagując z hemoglobiną wypiera tlen z oksyhemoglobiny, w związku z czym krew staje się niezdolna do przenoszenia dostatecznej ilości tlenu z płuc do tkanek. Z powodu obniżonej zawartości tlenu we krwi następuje uduszenie. W zależności od stężenia tlenku węgla i tlenu we wdychanym powietrzu, po jakimś czasie we krwi ustala się równowaga: określony procent hemoglobiny zostaje związany z tlenkiem węgla, pozostała część z tlenem. Przy niewielkim stężeniu tlenku węgla w powietrzu występują takie objawy, jak uczucie ściskania czoła jakby obręczą czy kleszczami, ból czoła i w skroniach, szum i dzwonięcie w uszach, miganie w oczach, zawroty głowy. Następstwem ostrego zatrucia tlenkiem węgla mogą być objawy wskazujące na początek porażenia – oszołomienie, ogólne osłabienie, apatia, mdłości, wymioty, drgawki, duszność, utrata przytomności. Ostatnim stadium zatrucia jest zatrzymanie oddechu i śmierć.

Zatrucie CO jest zatruciem ciężkim, które może powodować skutki w odległym czasie od narażenia – nawet do 240 dni od wystąpienia zatrucia. Późne następstwa zatrucia CO związane są z zaistniałym niedotlenieniem ośrodkowego układu nerwowego [2].

Chlorowodór wydziela się podczas rozkładu termicznego i spalania różnego rodzaju tworzyw sztucznych tj.: polichlorku winylu, polichlorku winylidenu i chlorokauczuków. Może też wchodzić w skład dodatków do tworzyw lub strukturalnej ochrony polimerów. W związku z tym pojawia się w produktach rozkładu termicznego i spalania polistyrenu, poliwęglanów, poliuretanów i poliestrów. Ponadto chlorowodór może być wydzielany podczas rozkładu termicznego i spalania wełny. Chlorowodór występuje w gazach pożarowych jako ostra dusząca woń o ostrym, kwaśnym zapachu [7]. Chlorowodór w postaci

gazu lub aerozolu kwasu solnego wywołuje ból oczu, łzawienie, zaczerwienienie spojówek, piekący ból błony śluzowej nosa, gardła, kaszel. W stężeniach przekraczających wartości pułapowe może spowodować skurcz głośni, obrzęk krtani, obrzęk płuc. Skażenie skóry wywołuje bolesne oparzenie chemiczne. Skażenie oczu powoduje oparzenie powiek, spojówek, rogówki prowadzące do utraty wzroku. Drogą pokarmową wywołuje oparzenie błony śluzowej jamy ustnej, gardła, przełyku, powoduje bóle brzucha, krwawienia z przewodu pokarmowego. Może dojść do zapaści krążeniowej.

Cyjanowodor powstaje podczas rozkładu termicznego i spalania poliakrylonitrylu, poliamidów, wełny oraz tworzyw zawierających w cząsteczce azot, czyli poliuretanów, żywic melaminowych i mocznikowych jest gazem bezbarwnym o charakterystycznej migdałowej woni. Intensywnie wydzielający się z płonących materiałów cyjanowodor w pierwszym okresie pożaru może być wyłączną przyczyną zatrucia śmiertelnego osób przebywających w płonącym, zamkniętym pomieszczeniu. Cyjanowodor jest jednym z najbardziej toksycznych gazów, a jego gwałtowne działanie paraliżuje system oddechowy już w pierwszym momencie kontaktu, powodując zaburzenia oddychania tkankowego w następstwie zablokowania enzymów komórkowych [2].

Ze względu na dużą różnorodność materiałów palnych stosowanych do wyposażenia wnętrz, nie jest łatwo określić, w jaki sposób będą oddziaływać na człowieka ich produkty rozkładu termicznego i spalania. Dlatego dobór tych materiałów nie powinien być przypadkowy. Aby zminimalizować wpływ czynników zagrożenia pożarowego w Polsce wprowadzone są wymagania dla materiałów wyposażeniowych. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie w strefach pożarowych ZL I, ZL II, ZL III i ZL V jest zabronione stosowanie do wykończenia wnętrz materiałów łatwo zapalnych, których produkty rozkładu termicznego są bardzo toksyczne lub intensywnie dymiące [6]. Wymagania te nie obejmują jednak mieszkań, w których można umieszczać wszelkiego typu materiały, co niekorzystnie wpływa na bezpieczeństwo ludzi w przypadku pożaru.

## Podsumowanie

Podczas pożaru występuje szereg czynników, które zagrażają zdrowiu i życiu ludzi znajdujących się w płonącym obiekcie. Są to przede wszystkim wysoka temperatura i promieniowanie cieplne, dym, toksyczne produkty spalania, niedobór tlenu. O tym, kiedy te czynniki przekroczą wartości krytyczne, czyli takie, które zagrażają życiu człowieka decyduje głównie dobór materiałów zgromadzonych w strefie spalania. Z jednej strony materiały wyposażeniowe powinny wykazywać się trudnozapalnością, aby ich spalanie nie doprowadziło



do rozprzestrzeniania ognia i szybkiego wzrostu temperatury pożaru, ale również powinny spalać się bez wydzielania nadmiernych ilości dymu i toksycznych produktów rozkładu termicznego i spalania. Obowiązujące przepisy stawiają materiałom wymagania minimalne i nie zapewniają wystarczającego bezpieczeństwa pożarowego, szczególnie w odniesieniu do materiałów stosowanych w mieszkaniach, o czym świadczą statystyki pożarowe.

## Literatura

- [1] Brushlinsky N.N., Ahrens M., Sokolov S.V., Wagner P., *World Fire Statistics 2015*, Center of Fire Statistics of CTIF 2015.
- [2] Guzewski P., Wróblewski D., Małozieć D., *Czerwona księga pożarów. Wybrane problemy pożarów oraz ich skutków*, CNBOP-PIB, Józefów 2014.
- [3] Dobrzyńska R., *Zagrożenie toksyczne podczas pożaru pomieszczeń mieszkalnych*, Logistyka 2014, nr 5, s.329–338.
- [4] Dobrzyńska R., *Toksyczność produktów rozkładu termicznego i spalania pianek poliuretanowych stosowanych do wyrobu mebli tapicerowanych*, Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza Vol. 28, nr 4 (2012), s. 53–58.
- [5] PN-B-02855:1988. *Metoda badania wydzielania toksycznych produktów rozkładu i spalania materiałów*.
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690, z późn. zm.
- [7] Sawicki T., *Požary tworzyw sztucznych*, Tworzywa, marzec 2005.
- [8] Stefańczyk B., *Toksyczność polimerów podczas pożaru budynku*, Warsztwy, Dachy i Ściany, nr 1, 2008, p. 84–85.
- [9] Sychta Z., *Badanie materiałów i kryteria ich oceny z punktu widzenia stwarzanego zagrożenia pożarowego*, Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 530, Szczecin, 1996.
- [10] Sychta Z., *Spowolnienie procesu rozkładu termicznego i spalania materiałów podstawowym warunkiem bezpieczeństwa pożarowego obiektów technicznych*. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 570, Szczecin, 2002.
- [11] Wasielewski R., Hrycko P., *Efekty energetyczno-emisyjne spalania odpadów z przeróbki płyt drewnopochodnych w kotle młej mocy*, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, vol. 12 nr 1 (2010), p. 27–34.