



ZMNIEJSZANIE PALNOŚCI TWORZYW POLIMEROWYCH

Zagrożenia związane z palnością tworzyw

Statystyki pożarowe świadczą o tym, że w Polsce odnotowuje się rocznie ponad 150 tys. pożarów. Zdecydowanie najwięcej ofiar pochłaniają pożary w budynkach mieszkalnych, w których w Polsce rocznie ginie ok. 500 osób, a 95% z nich to ofiary zetknięcia się z dymem i toksycznymi produktami spalania, w tym materiałów polimerowych.

Straty materialne oraz zagrożenie zdrowia i życia ludzi powstają w wyniku oddziaływania takich czynników jak: temperatura pożaru, szybkość rozprzestrzeniania się ognia, toksyczność produktów rozkładu i spalania, zadymienie utrudniające ewakuację i akcję gaśniczą, obniżenie stężenia tlenu.

Czynniki te są uzależnione od wielu parametrów, z których istotnym jest rodzaj materiału ulegającego spalaniu, często materiału polimerowego, mieszaniny polimerów lub kompozytu polimerowego.



Zagrożenia związane z palnością tworzyw

Materiały polimerowe i kompozyty są powszechnie stosowane w miejscach stwarzających, w przypadku wybuchu pożaru, zagrożenie dla przebywających tam ludzi, takich jak budynki mieszkalne, budynki użyteczności publicznej, hale widowiskowe i produkcyjne, szkoły, szpitale, tunele drogowe, kolejowe, stacje metra, mosty i wiadukty, kopalnie, a zwłaszcza pojazdy samochodowe



Zdjęcia: www.mojeosiedle.pl, www.serwisy.gazeta.pl, <http://www.fakt.pl>, <http://www.mmtrojmiasto.pl>

Zagrożenia związane z palnością tworzyw

Główne zagrożenia związane z paleniem się tworzyw to:

- wydzielanie dużej ilości energii cieplnej,
- duża szybkość przenoszenia płomienia wzdłuż materiału,
- zdolność przenoszenia się płomienia na inne materiały, np. poprzez kapanie i odrywanie się cząsteczek,
- wydzielanie toksycznych gazów pożarowych, w tym tlenku węgla, chlorowodoru, tlenków azotu, cyjanowodoru,
- zadymienie, związane głównie z wydzielaniem sadzy w procesie spalania.



Proces spalania tworzyw

Spalanie polimerów jest procesem wieloetapowym, w którym występują złożone i powiązane ze sobą zjawiska chemiczne i fizyczne.



Proces spalania tworzyw

Bilans energetyczny procesu spalania

Nr	Proces	Wartość cieplna [kcal/kg]
1	Rozgrzewanie do temperatury topnienia	70
2	Ciepło topnienia	30
3	Rozgrzewanie do temperatury rozkładu	50
4	Rozkład	600
5	Odparowanie produktów pirolizy	150
6	Rozgrzewanie do temperatury zapłonu	20
7	Straty ciepła do otoczenia	1000-3000
8	Ciepło uwalniające się podczas spalania	2000-4000



Metody zmniejszania palności tworzyw

Większość stosowanych materiałów polimerowych cechuje wysoka podatność na zapłon i spalanie oraz duże wartości ciepła spalania, a powyżej 400°C ulega procesom rozkładu cieplnego.

Ponieważ temperatura płomienia przekracza zwykle 1000°C, wszystkie materiały organiczne ulegają w nim całkowitemu spalaniu w warunkach, gdy proces palenia jest podtrzymywany przez dostarczanie paliwa i tlenu do strefy płomienia.

W związku z tym zmniejszenie palności tych materiałów nie polega na nadaniu materiałowi organicznemu odporności na ogień, bo jest to niemożliwe, a na takich zmianach budowy i składu tworzywa, by powstrzymać lub ograniczyć jego palenie, gdy brak jest zewnętrznego źródła ognia.



Metody zmniejszania palności tworzyw

Palność materiałów polimerowych można zmniejszyć poprzez:

- stosowanie polimerów termoodpornych,
- reaktywne przetwarzanie w stanie ciekłym lub plastycznym w celu chemicznej modyfikacji,
- mieszanie tworzyw palnych z trudnopalnymi,
- mieszanie z niepalnymi wypełniaczami mineralnymi standardowymi lub nanowypełniaczami,
- wprowadzanie środków opóźniających palenie,
- wprowadzanie cząstek metali i ich związków.



Polimery termoodporne

Rodzaje:

- karbocykliczne polimery łańcuchowe, polimery zawierające heteroatomy lub pierścienie aromatyczne
w łańcuchu głównym i zawierające grupy funkcyjne (poliamidy, poliestry, poliwęglany, polietery, polisiarczki, polisulfony),
- łańcuchowe polimery heterocykliczne (aromatyczne poliimidy, polibenzoimidazole, polibenzotiazole) oraz polimery sieciowane.

Ogólnie zwiększenie zawartości wodoru, węgla i siarki w polimerze pociąga za sobą zwiększenie jego palności; duża ilość azotu zmniejsza jego palność; azot wprowadza się często w związkach pierścieniowych, przy czym produkty ich spalania – tlenki azotu i nitryle – stanowią zagrożenie dla środowiska; halogeny i fosfor wbudowane w łańcuch polimeru zmniejszają jego palność



Najczęściej stosuje się modyfikację, polegającą na wprowadzeniu środków opóźniających palenie (inaczej uniepalniaczy lub antypirenów).

W stosunku do środków opóźniających palenie tworzyw stawia się wymagania:

- zbliżonej temperatury rozkładu do temperatury rozkładu tworzywa,
- inhibitującego oddziaływania produktów ich rozkładu na rozkład tworzywa,
- wysokiej efektywności przy stosunkowo niskim stężeniu w tworzywie polimerowym,
- relatywnie niskiego kosztu stosowania,
- dużej stabilności cieplnej w temperaturze przetwórstwa,
- dodatniego lub relatywnie małego ujemnego wpływu na przetwarzalność i koszt tworzyw nimi modyfikowanych,
- niskiej migracji z wytworów przy jednoczesnym obniżeniu wydzielania dymów oraz braku lub jak najniższej toksyczności.



Podział środków opóźniających palenie

ŚRODKI OPÓŹNIAJĄCE PALENIE



Mechanizm działania środków opóźniających palenie

Formowanie warstwy ochronnej

Na powierzchni chronionego materiału powstaje warstwa, o słabej przewodności cieplnej, przez co ulega obniżeniu przekazywanie energii cieplnej z procesu spalania, która ogranicza dostęp tlenu i nie dopuszcza do rozprzestrzenienia się ognia. Tworzywo nie ulega dalszemu stapianiu i degradacji, a proces spalania jest spowolniony i może być nawet zatrzymany (pochodne fosforowe, wodorotlenki metali).

Rozkład endotermiczny (efekt chłodzenia)

Reakcje rozkładu uniepalniacza mogą zaburzać równowagę termodynamiczną układu poprzez endotermiczny rozkład. Mogą doprowadzić do ochłodzenia powierzchni materiału do temperatury poniżej wymaganej dla procesu palenia.

Wygaszanie rodników

Spalanie jest procesem rodnikowym, który napędza etap propagacji, będący reakcją łańcuchową. Jako środek gaszący można więc użyć odczynników, które wychwytyją wolne rodniki i przerywają proces spalania.



Palność tworzyw zmniejszała się do niedawna najczęściej poprzez dodatek **związków chloru lub bromu** lub też poprzez wprowadzenie w ich strukturę **chemicznie związanego chlorowca** (chloroparafina, HET, aromatyczne związki bromu, stosowane zazwyczaj synergicznie z tlenkiem antymonu lub związkami fosforowymi). Korzyścią stosowania tego typu antypirenów jest ich niska cena i wysoka skuteczność.

Związki bromu (polibromowane etery difenyłowe, tetrabromobisfenol A, bromowane poliolefiny) są częściej stosowane od pochodnych chlorowych, jako że wykazują lepsze właściwości opóźniające palenie, jednak charakteryzują się większą emisją dymu.

Występuje synergizm typu halogen – antymon.

W krajach członkowskich UE dąży się jednak obecnie do **ograniczenia stosowania chlorowców** (wydzielające się w trakcie spalania chlorowodór i bromowodór są silnie korozyjne i drażniące oraz powodują duże zadymienie).

Obecnie dominuje kierunek uniepalniania na drodze wprowadzania **związków addytywnych**, a więc nie łączących się z polimerem.

W tym zakresie przeważają doniesienia o stosowaniu **antypirenów bezhalogenowych** (związki fosforu – fosforany alkilowe i aryłowe, nieorganiczne materiały fosforowe - głównie czerwony fosfor oraz poli(fosforan amonowy)). Szczególnie dużo korzyści daje stosowanie antypirenów stanowiących związki fosforowo–azotowe (synergizm).



Bardzo popularną techniką uniepalniania tworzyw jest modyfikacja **antypirenami działającymi poprzez endotermiczną dehydratację $\text{Mg}(\text{OH})_2$ i $\text{Al}(\text{OH})_3$** . Pod wpływem podwyższonej temperatury następuje rozkład tych materiałów, co powoduje obniżenie temperatury tworzywa. W wyniku rozkładu wydziela się para wodna, która rozcieńcza gazowe produkty dekompozycji polimeru, zmniejszając w ten sposób ich palność. Tworzące się w wyniku ich rozkładu tlenki magnezu i glinu mają stosunkowo dużą pojemność cieplną, co dodatkowo obniża temperaturę polimeru.

W ostatnich latach zaczęto rozwijać kierunek uniepalniania tworzyw konstrukcyjnych poprzez dodawanie **związków boru** (borany cynku i innych metali oraz kwas borowy).

W badaniach najnowszych znaleźć można prace wykazujące bardzo dobre efekty uniepalniające oraz zmniejszające dymotwórczość z wykorzystaniem **antypirenów cynowo – cynkowych** (heksahydroksycynian (IV) cynku $\text{Zn}[\text{Sn}(\text{OH})_6]$),

Od niedawna stosuje się modyfikacje polegające na otrzymywaniu tzw. **węglowych powłok ognioochronnych**, które pod wpływem źródła ciepła pęcznieją (powłoki puchnące – *intumescent coatings*), tworząc porowatą, zwęgloną masę chroniącą materiał nią pokryty przed dostępem ognia.



W ostatnich latach obserwuje się duży wzrost zainteresowania dodatkiem **nanonapełniaczy**, jako modyfikatorów palności materiałów polimerowych. Zwiększoną odporność na palenie uzyskuje się już przy niewielkiej zawartości montmorylonitu, rzędu 2-6%. Zastosowanie nanonapełniaczy znacznie obniża szybkość uwalniania ciepła. Zaobserwować można ponadto zmniejszenie szybkości rozprzestrzeniania się płomienia oraz zahamowanie zjawiska spadania kropli płonącego tworzywa.

Korzystny efekt stosowania nanonapełniaczy na poprawę odporności na spalanie tłumaczy się zwiększoną zdolnością nanokompozytów do **tworzenia w procesie spalania ochronnej warstwy koksu**, która uniemożliwia swobodny transport odpowiednich składników z i do obszaru spalania, wskazuje się na **zwiększoną zdolność wymiatania wolnych rodników** przez dodatki nieorganiczne w podwyższonej temperaturze, co w rezultacie powoduje przerwanie kinetycznego łańcucha palenia. Nanododatki rozmieszczone w nieuporządkowany sposób w tworzywie mogą także działać inhibitująco na proces palenia poprzez **wydłużenie drogi lotnych związków organicznych** do granicy płomienia.



Powłoki ognioochronne (farby)



W przypadku pożaru i wystąpienia temperatury 200°C/250°C, farba zmienia się na powierzchni, na której została położona w pianę (puchnie) o bardzo zwężonej strukturze, która znacząco zmniejsza przepływ ciepła w materiale, i tworzy barierę dyfuzyjną.



<http://www.farby-przemyslowe.com>

<http://www.gepox.net>



Metody badań palności tworzyw

Palność tworzyw (a raczej stopień ich uniepalnienia) jest określana przez wyniki badań i pomiarów wykonywanych według wielu metod wykorzystujących umowne wskaźniki ilościowe i jakościowe oceny zachowania się danego tworzywa podczas spalania.

Podczas badań palności z reguły określa się:

- podatność do zapoczątkowania reakcji spalania - zapalność,
- powierzchniową szybkość rozprzestrzeniania się płomienia – palność powierzchniową,
- odporność na penetrację ognia w strukturę tworzywa,
- efekty cieplne spalania,
- skład jakościowy i ilościowy fazy lotnej tworzącej się w wyniku pirolizy,
- gęstość wydzielającego się dymu.



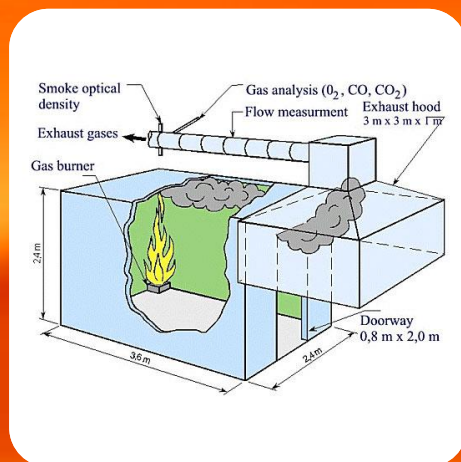
W zależności od wielkości próbki metody badania palności dzieli się na:

- w skali naturalnej (1:1),
- w skali dużej (próbka powyżej 1500 mm),
- w skali średniej (próbka do 1500 mm),
- w skali małej (próbka do 300 mm).

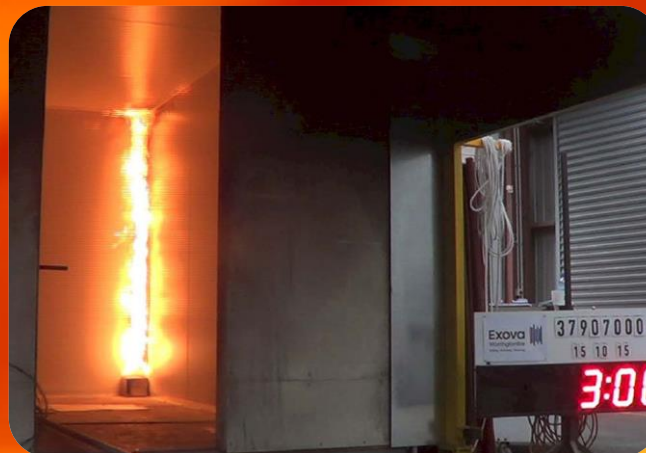
Do metod w skali naturalnej i dużej zalicza się:

- próbę ogniową pomieszczenie/narożnik ISO 9705-1

„Testy reakcji na ogień — Badanie narożne pomieszczenia dla wyrobów okładziny ścienne i sufitowe — Część 1: Metoda badania konfiguracji małego pomieszczenia”



<https://www.bing.com/>

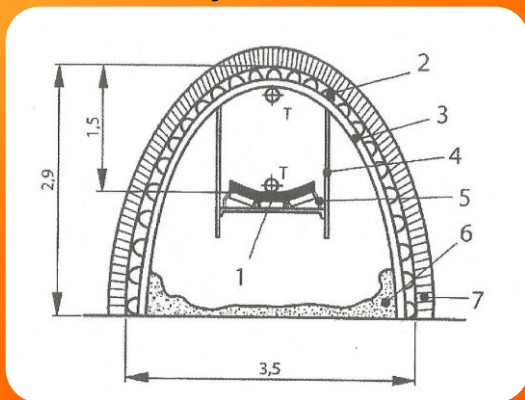


<http://www.askin.net.au/>



- próbę ogniową sztolni pożarowej PN-EN 12881-1

„Taśmy przenośnikowe - Badanie palności metodą symulacji pożaru - Część 2: Badanie palności w dużej skali ”



Przekrój sztolni: 1 – taśma przenośnikowa, 2 – belki drewniane, 3 – obudowa, 4 – zawiesie, 5 – stojak, 6 – drewno, trociny, 7 – obudowa ogniotrwała

Jurkowski B., Rydarowski H.: Materiały polimerowe o obniżonej palności, 2012

- próbę ogniową pojedynczego płonącego przedmiotu (SBI) PN-EN 13823

„Badania reakcji na ogień wyrobów budowlanych
- Wyroby budowlane, z wyłączeniem posadzek,
poddane oddziaływaniu termicznemu pojedynczego
płonącego przedmiotu”

Bada się równocześnie, tworzące narożnik, dwie próbki o wymiarach: krótkie skrzydło - (495 ± 5) mm x (1500 ± 5) mm, długie skrzydło- (1000 ± 5) mm x (1500 ± 5) mm. Źródło zapłonu stanowi trójkątny piaskowy palnik gazowy o mocy 30 kW. Na podstawie zmian stężenia tlenu określa się intensywność wydzielania ciepła i wiele wskaźników, które są podstawą do ilościowego określenia europejskiej klasy reakcji na ogień.



<http://www.sychta.eu/pn-en-13823-1.html>



Wyznaczanie ciepła spalania

Ciepłem spalania lub kalorycznością nazywana jest ilość ciepła, jakie wydziela jednostka masy materiału podczas spalania. Jeżeli materiał wydziela podczas palenia więcej energii łatwiej podtrzymuje proces palenia.

Pomiar ciepła spalania jest wykonywany za pomocą kalorymetrów między innymi wg **PN-81/G-04513 „Oznaczenie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej. Paliwa stałe”**. Pomiar ciepła spalania polega na całkowitym spaleniu próbki paliwa stałego organicznego w atmosferze tlenu pod ciśnieniem w bombie kalorymetrycznej zanurzonej w wodzie i na pomiarze przyrostu temperatury tej wody, przy czym zapłon uzyskuje się przez rozżarzenie spiralki elektrycznej.



Przykładowy kalorymetr

<https://www.laboratoria.xtech.pl/produkty/kalorymetr-c-2000-57660-2>



Oznaczanie temperatury zapalenia tworzyw sztucznych wg PN-69/C-89022 „Tworzywa sztuczne. Oznaczanie temperatury zapalenia”.

Temperatura zapalenia tworzyw polimerowych jest to najniższa temperatura powierzchni grzejnej, przy której gazowe produkty rozkładu termicznego ciała stałego zapalają się płomieniem od punktowego bodźca termicznego, np. płomienia.

Istota metody polega na ogrzaniu próbki badanego tworzywa (do temperatury 10°C niższej od spodziewanej temperatury rozkładu) i na próbie zapalenia wydzielających się gazów. Za temperaturę zapalenia przyjmuje się najniższą temperaturę, w której nad wylotem cylindra z tworzywem można zaobserwować płomień nie znikający przez co najmniej 5 s.



Przykładowe stanowisko do wyznaczania temperatury zapłonu tworzyw



Wartości temperatur rozkładu zapłonu i samozapłonu niektórych tworzyw

Materiał polimerowy	Temperatura, °C		
	Rozkład	Zapłon	Samozapłon
Celuloza	430÷480	400 ÷ 550	250 ÷ 410
Guma izoprenowa	301	300 ÷ 400	-
Akrylonitryl-butadien-styren (ABS)	-	390	480
Polichlorek winylu plastyfikowany (PVC)	-	325 ÷ 390	440 ÷ 550
Polichlorek winylu nieplastyfikowany (PVC)	200 ÷ 300	360 ÷ 430	455 ÷ 550
Polimetakrylan metylu (PMMA)	170 ÷ 300	290 ÷ 300	450 ÷ 510
Politeraftalan etylenu (PET)	-	390 ÷ 400	440 ÷ 450
Poliakrylonitryl (PAN)	250 ÷ 300	200 ÷ 230	500 ÷ 510
Poliamid 6 (PA6)	300 ÷ 350	390 ÷ 450	425 ÷ 480
Polietylen dużej gęstości (PE-HD)	-	340	350 ÷ 450
Polietylen małej gęstości (PE-LD)	340 ÷ 440	300 ÷ 350	350 ÷ 420
Polipropylen (PP)	330 ÷ 410	320 ÷ 370	350 ÷ 440
Polistyren (PS)	300 ÷ 400	345 ÷ 390	480 ÷ 530
Politetrafluoroetylen (PTFE)	500 ÷ 550	560	580
Poliwęglan (PC)	476	520	-



Metody badania palności w małej skali

Spośród metod w skali małej najbardziej rozpowszechnione są metody płomieniowe, badanie za pomocą rozżarzonego drutu, metoda kalorymetru stożkowego, metoda wskaźnika tlenowego oraz oznaczanie składu, gęstości i toksyczności gazów i dymów.

Metoda testu płomieniowego zgodnie z normą PN-EN 60695-11-10, która jest odpowiednikiem normy UL-94.

W próbie tej badane są próbki o standardowych wymiarach 125 ± 5 mm x 13 ± 5 mm o maksymalnej grubości 13 mm. Przed badaniami próbki są stabilizowane przez 48 godzin w temperaturze 23°C . Są one poddawane działaniu płomienia gazowego palnika o mocy 50W wg normy IEC 60695-11-4.



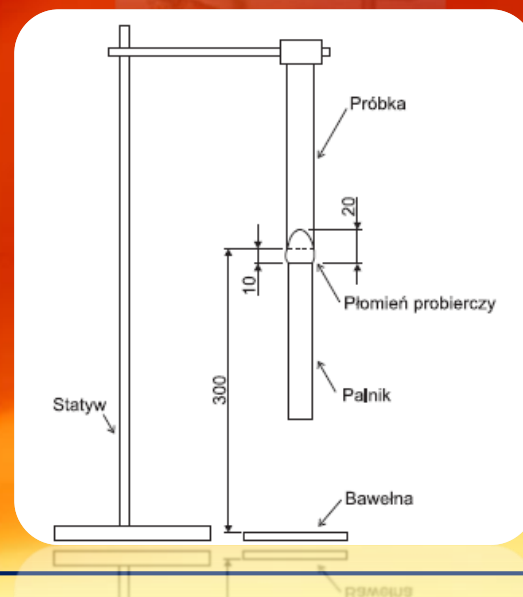
Wygląd stanowiska do badania palności według PN-EN 60695-11-10



Badanie palności w próbie pionowego palenia jest przeznaczone dla tworzyw litych i porowatych o gęstości pozornej nie mniejszej niż 250 kg/m^3 . Pozwala ona na wyznaczenie klasy palności V-0, V-1 lub V-2.

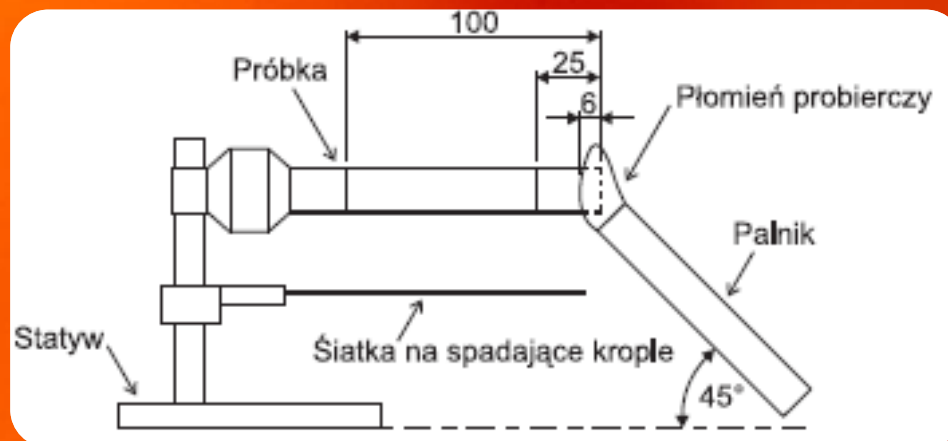
Kryteria	Klasa		
	V-0	V-1	V-2
Czas płonienia pojedynczej próbki t_1 i t_2 [s]	≤ 10	≤ 30	≤ 30
Całkowity czas płonienia zestawu próbek $t_1 + t_2$ [s]	≤ 50	≤ 250	≤ 250
Czas płonienia i czas żarzenia pojedynczej próbki po drugim podpaleniu $t_2 + t_3$ [s]	≤ 30	≤ 60	≤ 60
Płonienie lub żarzenie próbki do zacisku uchwytu	nie	nie	nie
Zapłon waty bawełnianej	nie	nie	tak

Próbka montowana jest pionowo, w odległości 10 mm od krawędzi próbki ustawia się palnik (w przypadku kapania tworzywa pod kątem 45°). Następnie na próbkę działa się płomieniem przez 10 sekund, odsuwa palnik i zapisuje czas płonienia próbki. Natychmiast po zgaśnięciu płomienia analogicznie dokonuje się zapłonu i pomiaru czasu płonienia próbki t_2 oraz czasu żarzenia materiału po zgaśnięciu płomienia t_3 . Po zakończeniu próby oblicza się łączny czas palenia dla każdego zestawu próbek, co jest kryterium do klasyfikacji.



Badanie palności w próbie pionowego palenia jest metodą stosowaną do oceny palności tworzyw stałych i porowatych o gęstości pozornej nie mniejszej niż 250 kg/m^3 . Pozwala ona ustalenie klasy palności materiału HB, HB40 lub HB75.

Próbka montowana jest poziomo. Palnik umieszcza się pod kątem 45° i działa płomieniem na próbkę przez czas 30 sekund lub do momentu osiągnięcia przez płomień wcześniej zaznaczonej na próbce granicy 25 mm. Następnie dokonuje się pomiaru czasu do zgaśnięcia próbki lub do osiągnięcia przez płomień granicy 100 mm.



Klasa	Kryteria
HB	Nie pali się płomieniem $L < 100 \text{ mm}$, $L > 100 \text{ mm}$, ale $v \leq 40 \text{ mm/min}$ (dla próbki o grubości $3 \div 13 \text{ mm}$) $v \leq 75 \text{ mm/min}$ (dla próbki o grubości $\leq 3 \text{ mm}$)
HB40	Nie pali się płomieniem $L < 100 \text{ mm}$ $L > 100 \text{ mm}$ i $v \leq 40 \text{ mm/min}$
HB75	$L > 100 \text{ mm}$ i $v \leq 75 \text{ mm/min}$



Badania według normy PN-EN ISO 4589-2 „Oznaczanie zapalności metodą wskaźnika tlenowego”.

Wskaźnik tlenowy OI jest to najmniejsze objętościowe (wyrażone w procentach) stężenie tlenu w atmosferze będącej mieszaniną tlenu i azotu, przy którym palenie się tworzywa w określonych warunkach pomiaru jest zaledwie podtrzymywane.

$$OI = \frac{\dot{N}_1}{\dot{N}_1 + \dot{N}_2} \cdot 100 (\%)$$

\dot{N}_1 oraz \dot{N}_2 oznacza odpowiednio graniczne natężenie objętościowe przepływającego tlenu oraz azotu w m^3/s

Czym większa jest wartość wskaźnika tlenowego, tym tworzywo jest mniej palne. Tworzywa, których wskaźniki tlenowe są mniejsze niż **21%** (przybliżona zawartość tlenu w powietrzu), zaliczają się do łatwopalnych (**palnych**) w powietrzu i stwarzających największe zagrożenie pożarowe. Tworzywa o wskaźniku **od 21 do 28%** są określane jako **samogasnące**, a **powyżej 28%** jako **niepalne**.



Przykładowe stanowisko do wyznaczania wskaźnika tlenowego tworzyw
<http://www.spectro-lab.pl>



Wartości wskaźnika tlenowego wybranych tworzyw

L.p.	Materiał	OI (%)	L.p.	Materiał	OI (%)
1	Polioksymetylen	15,0	14	Polilkochoł winylowy	22,0 ÷ 22,5
2	Politlenek etylenu	15,0	15	Poliwęglan	22,9 ÷ 28,0
3	Poliformaldehyd	15,0	16	Poliamid 6.6	23,0 ÷ 29,0
4	Polimetakrylan metylu	16,1 ÷ 19,7	17	Polieter chlorowany	23,3
5	Polietylen	17,0 ÷ 19,8	18	Politlenek fenylenu	28,0 ÷ 29,0
6	Polipropylen	17,0 ÷ 18,0	19	Polioksypropylen	29,0
7	Polisulfon	29,0 ÷ 32,0	20	Guma silikonowa	30,0
8	Polistyren	17,6 ÷ 18,5	21	Polisulfon	30,0
9	Poliakrylonitryl	18,0	22	Poliimid	36,5
10	Akrylonitryl/butadien/ styren	18,0 ÷ 20,0	23	Polichlorek winylu	36,6 ÷ 49,0
11	Polibutadien	18,3	24	Polibenzimidazol	41,5
12	Laminat poliestrowy	20,5	25	Polichlorek winylidenu	60,0
13	Polieteroftalan etylenu	21,0 ÷ 26,0	26	Politetrafluoroetylen	95,0



Badanie rozżarzonym drutem wg normy PN-EN 60695-2-11

Badanie polega na poddawaniu próbki działaniom źródła zapłonu, którym jest drut oporowy rozgrzany do temperatury probierczej. Określa się czas palenia i wysokość płomienia.



<http://www.sychta.eu>



Badanie rozżarzonem drutem wg normy PN-EN 60695-2-11

Wynik próby jest pozytywny jeżeli nie wystąpiło płomieniowe spalanie lub żarzenie lub gdy czas palenia się lub żarzenia samorzutnie zakończy się w czasie 30 s po odsunięciu rozżarzonego drutu od próbki oraz nie występuje zapalenie materiału podkładowego z bibuły pakunkowej.

Na tej podstawie określa się:

Wskaźnik palności materiału rozżarzonem drutem (GWFI) – najwyższa temperatura rozżarzonego drutu (PN-EN 60695-2-12), przy której podczas trzech kolejnych prób wykonanych na próbce do badań o określonej grubości jest spełniony jeden z poniższych warunków: palenie się próbki lub żarzeni zanika w czasie 30 s od odsunięcia rozżarzonego drutu i nie występuje zapalenie się bibułki pakunkowej umieszczonej poniżej próbki do badań, nie występuje zapalenie się próbki do badań.

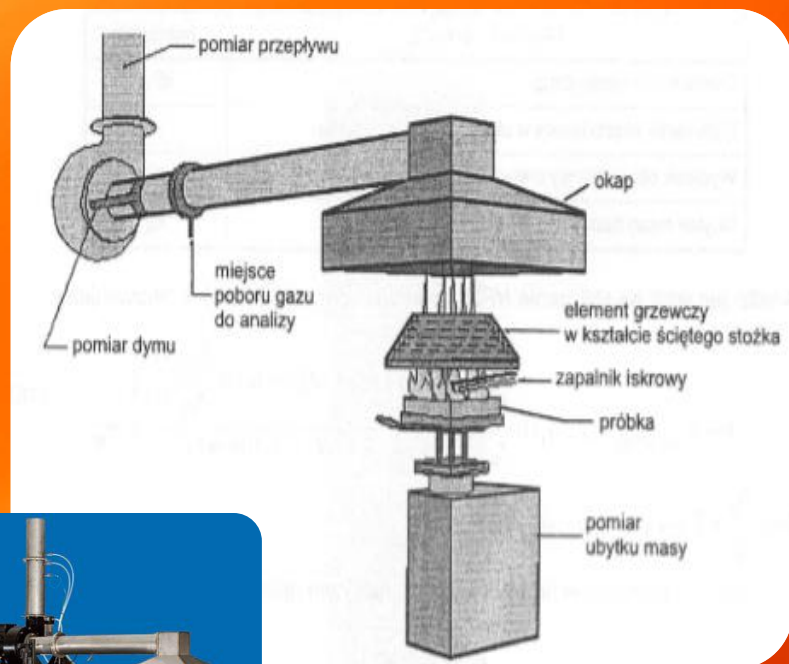
Wskaźnik palności wyrobu rozżarzonem drutem (GWEPT) – najwyższa temperatura rozżarzonego drutu (PN-EN 60695-2-11), przy której podczas trzech kolejnych prób wykonanych na próbce wyrobu jest spełniony jeden z poniższych warunków: palenie się próbki lub żarzeni zanika w czasie 30 s od odsunięcia rozżarzonego drutu i nie występuje zapalenie się bibułki pakunkowej umieszczonej poniżej próbki do badań, nie występuje zapalenie się próbki do badań.

Temperatura zapalenia rozżarzonem drutem (GWIT) – temperatura wyższa o 25 K od najwyższej temperatury rozżarzonego drutu (PN-EN 60695-2-13), nie powodującej zapalenia próbki do badań o określonej grubości podczas trzech kolejnych prób.



METODA KALORYMETRU STOŻKOWEGO wg normy ISO 5660-1

W badaniu określa się z jaką szybkością wydziela się ciepło podczas zapłonu i spalania tworzyw. Ilość ciepła, które powstaje podczas spalania wyznacza się na podstawie ilości zużytego tlenu.



Określa się takie właściwości jak:

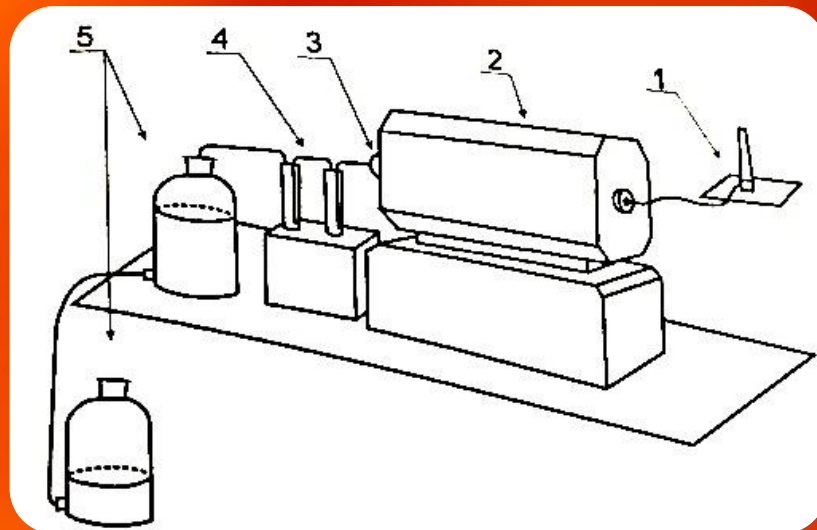
- prędkość uwalniania ciepła (Heat Release Rate **HRR**), która jest kluczowym parametrem pozwalającym ocenić niebezpieczeństwo zapłonu materiałów;
- całkowitą wielkość uwalnianego ciepła (Total Heat Rate **THR**);
- efektywne ciepło spalania (Effective Heat of Combustion **HOC**);
- prędkość ubytku masy (Mass Loss Rates **MLR**);
- czas do zapalenia się (Time To Ignition **TTI**);
- prędkość uwalniania gazów toksycznych (np. CO).

Schemat i wygląd kalorymetru stożkowego

<http://www.spectro-lab.pl/>

BADANIA TOKSYCZNOŚCI DYMU wg normy PN-EN 50267-2-1

Badanie toksycznych produktów rozkładu materiałów polega na ilościowym wyznaczeniu zawartości związków powstałych w czasie rozkładu termicznego próbki o masie 1g. Pomiar odbywa się w piecu rurowym, w którym przepływ powietrza wynosi $20 \text{ dm}^3/\text{godz}$. Zastosowana w tej metodzie temperatura rozkładu wynosi 500°C . Związki chemiczne powstałe w czasie rozkładu przepływają przez płuczki, gdzie pochłaniane są gazy halogenowe, cyjanowodór czy dwutlenek siarki. Pozostałe produkty odkładane są w aspiratorach, a następnie poddawane chromatografii gazowej.



Schemat urządzenia do badania toksyczności spalin: 1- rotametr, 2 – piec, 3 – rura kwarcowa, 4 – płuczki absorpcyjne, 5 – aspiratory

Substancje szkodliwe powstałe w wyniku spalania przedostają się do organizmu ludzkiego przez ich wdychanie lub wskutek absorpcji przez skórę, przenikają do przewodu pokarmowego. Zagrożenie lotnymi substancjami jest funkcją stężenia, szybkości jego narastania i czasu przebywania w atmosferze skażonej, a w niektórych przypadkach zależy od stanu aktywności fizycznej (np. szybki oddech przy zmęczeniu lub dużym wysiłku fizycznym).



Materiał	Palność	Produkty spalania i rozkładu	
		rozkład	spalanie
Epoksydy	palne	epichlorohydryna, toluol, związki chloroorganiczne, fosgen	HCl, CO, CO ₂ , kwas mrówkowy
Fenoloformaldehyd	palne, trudno zapalne	fenol, formaldehyd, cyjanowodór (kwas pruski)	CO, CO ₂ , kwas mrówkowy
Fluoroplasty	palne	fluorowodór, HCl i inne	HCl, CO, CO ₂ , i inne
Mocznik formaldehydowy	trudno zapalny	mocznik, formaldehydy (w tym akroleina), związki cyjanu	CO, CO ₂
Polietylen	palny	etylen, mieszane węglowodory	CO, CO ₂ , NO ₂
Polichlorek winylu	palny, trudno zapalny	HCl, węglowodory aromatyczne, chlorek winylu (monomer)	HCl, Cl ₂ , CO, CO ₂ , NO ₂
Polistyren	palny	monomery, dimery, trymery styrenu	CO, CO ₂ , NO ₂
Poliocetan winylu	palny	octan winylu	CO, CO ₂
Poliakrylan	palny	kwas akrylowy i metakrylowy	CO, CO ₂ , NO ₂
Poliamid	palny	cyjanowodór	HCN, CO, CO ₂
Poliuretany	palne	dwuizocjanki, cyjanowodór	CO, CO ₂ , HCN, NO ₂
Silikony	niepalne	SiO ₂ , CO ₂ , kwas mrówkowy	CO, CO ₂ , SiO ₂ , HCOOH (kwas mrówkowy)



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !!!

ZMNIEJSZANIE PALNOŚCI TWORZYW POLIMEROWYCH

POLITECHNIKA LUBELSKA
Katedra Technologii i Przetwórstwa
Tworzyw Polimerowych
dr inż. Bronisław Samujło

Projekt „Politechnika Lubelska - Regionalna Inicjatywa Doskonałości”
- finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego



Ministerstwo
Nauki
i Szkolnictwa
Wyższego

