

POLITECHNIKA SZCZECIŃSKA

WYDZIAŁ TECHNIKI MORSKIEJ

**Katedra Technicznego Zabezpieczenia Okrętów
LABORATORIUM BADAŃ CECH POŻAROWYCH MATERIAŁÓW**

Nasz znak: TZ/028/2008 Szczecin, dnia 31-01-2008 r.

STOPIEŃ PALNOŚCI SIEDZISK Z TWORZYW SZTUCZNYCH ORAZ TRAW I BIEŻNI Z TWORZYW SZTUCZNYCH W ASPEKCIE BEZPIECZEŃSTWA POŻAROWEGO STADIONU



Szczecin 2008

**Adres: 71-065 Szczecin al. Piastów 41
tel./fax: 48 (091) 4339877 tel.: 48 (091) 4494174 www.lab-ktzo.ps.pl e-mail: Zygmunt.Sychta@ps.pl**

INTERNATIONAL MARITIME
ORGANIZATION
LIST OF RECOGNIZED TEST
LABORATORIES
Doc. FP/Circ. 32 - 2007



POLSKIE CENTRUM
AKREDYTACJI
CERTYFIKAT AKREDYTACJI
LABORATORIUM
BADAWCZEGO
Nr AB 304



POLSKI REJESTR STATKÓW
ŚWIADECTWO UZNANIA
Nr TT/2/710405/05





Spis treści

	Strona
1. WPROWADZENIE	3
2. MIĘDZYINTERNARODOWE WYMAGANIA DLA STADIONÓW	4
3. ODPORNOŚĆ MATERIAŁU NA DZIAŁANIE ZEWNĘTRZNYCH ŹRÓDEŁ PODPALANIA	5
3.1. Parametry odporności	5
3.2. Parametry podpalania	6
3.3. Metody badań cech pożarowych materiałów	8
4. WYNIKI BADAŃ CECH POŻAROWYCH SIEDZISK Z TWARDEGO TWORZYWA SZTUCZNEGO	9
4.1. Badanie zapalności metodą wg PN-EN 1021-1 i PN-EN 1021-2	9
4.2. Badanie zapalności metodą wg PN-EN ISO 11925-2	11
4.2.1. Wyniki badań - Zapłon krawędziowy	12
4.2.2. Wyniki badań - Zapłon powierzchniowy	12
4.2.3. Wyniki badań zapalności siedzisk w pełnej skali	12
4.3. Metoda badań stopnia palności metodą wg PN-B-02874:1999	14
4.4. Badanie intensywności wydzielania ciepła i masowej szybkość spalania metodą wg ISO 5660-1	16
4.5. Badanie krytycznego strumienia ciepła i ciepła podtrzymującego płomieniowe spalanie	18
4.5.1. Badanie stopnia palności powierzchniowej siedzisk metodą wg Kodeksu FTP część 5.	19
4.5.2. Badanie stopnia palności powierzchniowej siedzisk metodą wg PN-EN- ISO 9239-1	21
4.6. Toksyczność produktów rozkładu termicznego i spalania siedzisk	22
5. BADANIE CECH POŻAROWYCH SYSTEMÓW SZTUCZNEJ TRAWY	24
5.1. Metoda badań palności powierzchniowej materiałów metodą wg PN- EN-ISO 9239-1	24
5.2. Wyniki badań stopnia palności powierzchniowej sztucznej trawy sportowej	26
6. WNIOSKI	29



1. WPROWADZENIE

W polskim ustawodawstwie brak jest szczegółowych zasad w zakresie bezpieczeństwa pożarowego budowli sportowych – stadionów.

Nieporozumienia dotyczące oceny przydatności siedzisk z twardych tworzyw sztucznych z punktu widzenia stwarzanego przez nie zagrożenia pożarowego dla budowli sportowych (stadionów) są konsekwencją zmian ustawodawczych wprowadzonych w 2002 r.

Wymagania określone w § 261. Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać **budynki** (Dz. U. Nr 109, poz. 1156, 2004 r. z *późniejszymi zmianami*):

„§ 261. Pomieszczenia przeznaczone do jednoczesnego przebywania ponad 200 osób dorosłych lub 100 dzieci, w których miejsca do siedzenia są ustawione w rzędach, powinny mieć:

- 1) fotele i inne siedzenia trudno zapalne odpowiadające wymaganiom **Polskiej Normy dotyczącej oceny zapalności mebli tapicerowanych** oraz niewydzielające produktów rozkładu i spalania, określonych jako bardzo toksyczne, zgodnie z Polską Normą dotyczącą badań wydzielania produktów toksycznych,
- 2)

dotyczą wyłącznie **materiałów/wyrobów stosowanych w budynkach** w rozumieniu Prawa Budowlanego. W wymaganiach tych został jednoznacznie określony obiekt budowlany, dla którego materiał/wyrób spełnia wymagania - budynek.

Prawo Budowlane (*jednolity tekst ustawy - Dz. U. Nr 207 poz.2016 z 2003 roku z późniejszymi zmianami*) jednoznacznie definiuje lądowe obiekty techniczne:

„Art. 3. Ilekroć w ustawie jest mowa o:

- 1) obiekcie budowlanym - należy przez to rozumieć:
 - a) budynek wraz z instalacjami i urządzeniami technicznymi,
 - b) budowlę stanowiącą całość techniczno-użytkową wraz z instalacjami i urządzeniami,
 - c) obiekt małej architektury,
- 2) **budynku** - należy przez to rozumieć taki obiekt budowlany, który jest trwale związany z gruntem, wydzielony z przestrzeni za pomocą przegród budowlanych oraz posiada fundamenty i dach,
- 3) **budowli** - należy przez to rozumieć każdy obiekt budowlany nie będący budynkiem lub obiektem małej architektury, jak: lotniska, drogi, linie kolejowe, mosty, estakady, tunele, sieci techniczne, wolno stojące maszty antenowe, wolno stojące trwale związane z gruntem urządzenia reklamowe, budowle ziemne, obronne (fortyfikacje), ochronne, hydrotechniczne, zbiorniki, wolno stojące instalacje przemysłowe lub urządzenia techniczne, oczyszczalnie ścieków, składowiska odpadów, stacje uzdatniania wody, konstrukcje oporowe, nadziemne i podziemne przejścia dla pieszych, sieci uzbrojenia terenu, **budowle sportowe**, cmentarze, pomniki, a także części budowlane urządzeń technicznych (kotłów, pieców przemysłowych i innych urządzeń) oraz fundamenty pod maszyny i urządzenia, jako odrębne pod względem technicznym części przedmiotów składających się na całość użytkową,
- 4) obiekcie małej architektury - należy przez to rozumieć niewielkie obiekty, a w szczególności:
 - a) kultu religijnego, jak: kapliczki, krzyże przydrożne, figury,
 - b) posągi, wodotryski i inne obiekty architektury ogrodowej,
 - c) użytkowe służące rekreacji codziennej i utrzymaniu porządku, jak: piaskownice, huśtawki, drabinki, śmietniki,”

Brak w polskim ustawodawstwie szczegółowych zasad w zakresie bezpieczeństwa pożarowego stadionów nie zwalnia od spełnienia tych wymagań - art. 5.1. Prawa Budowlanego – „*Obiekt budowlany wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, zapewniając:*

- 1) *spełnienie wymagań podstawowych dotyczących:*
 - a) *bezpieczeństwa konstrukcji,*
 - b) **bezpieczeństwa pożarowego,**
 - c) *bezpieczeństwa użytkowania,*

d)

BIULETYN INFORMACYJNY 1/95 PZPN - §15 OCHRONA PRZECIWPOŻAROWA

1. Stadion powinien być zabezpieczony pod względem p.poż. zgodnie z wymaganiami odpowiednich przepisów,
2. Dla stadionu powinny być ustalone sposoby postępowania na wypadek pożaru lub innego miejscowego zagrożenia, uzgodnione z właściwym Komendantem Rejonowym Państwowej Straży Pożarnej.

2. MIĘDZYNARODOWE WYMAGANIA DLA STADIONÓW

Stadion przeznaczony dla imprez międzynarodowych, podobnie jak statek morski, musi spełniać również międzynarodowe wymagania bezpieczeństwa. W związku z tym część polskich wymagań techniczno-eksploatacyjnych stadionu (np. rozmieszczenie siedzisk, dróg ewakuacyjnych, niektórych procesów organizacyjno-eksploatacyjnych, itd.) jest zastąpiona międzynarodowymi wymaganiami w tym zakresie po ich akceptacji przez Właściwą Administrację Polski. Jest to zgodne z Ustawą o ochronie przeciwpożarowej (*Dz. U. nr 147 poz. 1229 z 2002 r.*). Takie podejście do rozwiązywania problemów bezpieczeństwa w skali międzynarodowej zwiększa naszą pozycję w świecie.

Zgodnie z zaleceniami FIFA – „**Football Stadiums. Technical Recommendations and Requirements**” (wydanie IV, 2007, punkt 2.1.) bezpieczeństwo ludzi powinno być sprawą nadrzędną w fazie planowania, projektowania, budowy i eksploatacji stadionu. Za bezpieczeństwo i kryteria jego oceny odpowiadają Właściwe Władze Administracyjne danego kraju.

Zalecenie FIFA punkt 2.3. „**Structural Safety.** *Every aspect of the stadium's structure must be approved and certified by the local building and safety authorities. Building and safety standards and requirements vary from country to country, but it is essential that within that framework the most stringent safety standards are applied.*”

Bezpieczeństwo konstrukcyjne. Każde rozwiązanie konstrukcyjne stadionu musi aprobować i zatwierdzić miejscowy Nadzór Budowlany i ds. Bezpieczeństwa. Będąc świadomym różnic w standardach budowlanych i bezpieczeństwa w poszczególnych krajach zaleca się, aby przyjąć jako zasadę stosownie **najostrzejszych kryteriów bezpieczeństwa.**

Zalecenie FIFA punkt 2.4. „**Fire Prevention.** *The fire fighting facilities available within the stadium and the general fire precautions must be approved and certified by the local fire authorities, as must the fire safety standards of all parts of the stadium*”.

Ochrona przeciwpożarowa. Dostępne na stadionie środki czynnej ochrony przeciwpożarowej i podstawowe zabezpieczenia przeciwpożarowe muszą zapewnić standardy bezpieczeństwa pożarowego dla wszystkich części stadionu oraz muszą mieć akceptację i certyfikat miejscowej PSP.

Wymagania dla siedzisk określa zalecenie FIFA punkt 6.1. **General standards of comfort. Seating accommodation** – „..... *Seats should be unbreakable, fireproof and capable of withstanding the rigours of the prevailing climate without undue deterioration or loss of colour. Great care should be taken when choosing the type of seats to be installed.*” Siedzenia powinny być nieflamliwe, **ognioodporne** (fireproof) i odporne na działanie dominującego klimatu bez nadmiernego pogorszenia lub utraty koloru. Z bardzo wielką starannością (troską) należy podejść do wyboru typu siedzeń, które zamierza się zainstalować.





Pod pojęciem **ognioodporny** należy rozumieć odporność na zapalenie od maksymalnych potencjalnych źródeł podpalania mogących wystąpić w czasie imprez sportowych. Dotyczy to również dopuszczonych do stosowania sztucznych nawierzchni sportowych. Potencjalne źródło podpalania stanowić może petarda lub raca (punkt 4.4. - **Artificial turf playing fields**. VII Safety and artificial turf pitches.), w czasie spalania których temperatura może osiągnąć wartość ok. 2000 °C.

Z przedstawionej analizy wymagań przepisów w zakresie ochrony przeciwpożarowych stadionów przeznaczony dla imprez międzynarodowych wynika, że siedziska na stadionach i sztuczne nawierzchnie sportowe powinny być co najmniej odporne na zapalenie od maksymalnych potencjalnych źródeł podpalania mogących wystąpić w czasie imprez sportowych.

3. ODPORNOŚĆ MATERIAŁU NA DZIAŁANIE ZEWNĘTRZNYCH ŹRÓDEŁ PODPALANIA

3.1. Parametry odporności

Spowolnienie rozwoju pożaru w fazie przedrozgorzeniowej jest wynikiem zastosowanych barier¹, których wartości powinno się dobierać dla warunków eksploatacyjnych obiektu. Potencjał energetyczny zgromadzony w materiałach może, ale nie musi, wyzwolić się w czasie pożaru. Zależec to będzie od:

- odporności materiałów na działanie zewnętrznych źródeł podpalania,
- intensywności wydzielania ciepła w czasie ich rozkładu termicznego i spalania,

w wyniku intensywności której **mogą, ale nie muszą**, ulec zapłonowi kolejne partie palącego się materiału lub materiały sąsiednie.

Intensywność wydzielania ciepła decyduje również o szybkości zmian temperatury pożaru, emisji dymu i toksycznych produktów rozkładu w czasie rozkładu termicznego i spalania materiałów.

Z punktu widzenia **zapobiegania rozprzestrzenianiu się pożaru** w dowolnym obiekcie technicznym przedmiotem zainteresowania jest między innymi:

- **odporność** materiału lub wyrobu na działanie zewnętrznych źródeł podpalania,
- **analiza możliwości** wywołania przez ten materiał lub wyrób pożaru kolejnych elementów jego powierzchni i sąsiednich materiałów.

Reakcja spalania materiału i rozprzestrzenianie się płomieni po jego powierzchni może rozwinąć się jedynie wtedy, gdy ogólny bilans cieplny jest dodatni:

$$\dot{q} + \dot{q}_z - \dot{q}_s > 0$$

i temperatura reagentów wzrasta.

- gdzie: \dot{q} - intensywność wydzielania ciepła w czasie rozkładu termicznego i spalania materiału, kW,
 \dot{q}_z - moc cieplna pochodząca z zewnętrznych źródeł ciepła, kW,

¹ Sychta Z.: Spowolnienie procesu rozkładu termicznego i spalania materiałów podstawowym warunkiem bezpieczeństwa pożarowego obiektów technicznych. Politechnika Szczecińskiej, Prace naukowe, 2002, nr 570 (monografia habilitacyjna)

\dot{q}_s - straty ciepła w jednostce czasu, kW.

W przeciwnym przypadku szybkość reakcji, osiągnąwszy pewną wartość, zaczyna stopniowo maleć w związku ze zmniejszaniem się w tej strefie koncentracji reagentów.

Z równania bilansu cieplnego wynika, że proces spalania danego materiału możemy przeprowadzić na nieskończenie wiele sposobów i w zależności od mocy i rodzaju źródeł podpalania oraz wartości strat ciepła, inna będzie ilość wydzielonego ciepła i intensywność jego wyzwalania, inny skład fizykochemiczny produktów jego rozkładu termicznego i spalania.

Oznacza to również, że proces rozkładu termicznego i spalania materiału w czasie badań laboratoryjnych materiałów możemy przeprowadzić na nieskończenie wiele sposobów w zależności od kombinacji rodzaju i wielkości źródeł podpalania i warunków odprowadzania ciepła oraz udziału ciepła wyzwalanego przez palący się materiał na nagrzewanie kolejnych jego partii otrzymując za każdym razem inną ilość wydzielonego ciepła i intensywność jego wyzwalania, inny skład fizykochemiczny produktów jego rozkładu termicznego i spalania.

Dla każdego materiału istnieje charakterystyczna wartość \dot{q}_z zewnętrznego strumienia ciepła padającego na jego powierzchnię, przy której zachodzi jeszcze jego płomieniowe spalanie.

$$\dot{q} + \dot{q}_z - \dot{q}_s = 0$$

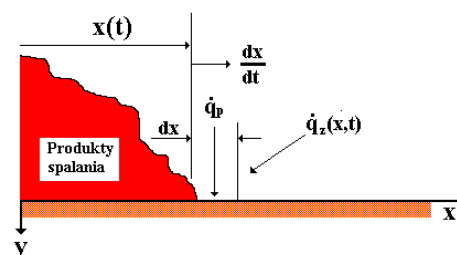
Wielkość tę przyjęto nazywać **krytycznym strumieniem ciepła**. Jej wartość jest miarą odporności materiału na działanie zewnętrznych źródeł podpalania.

Do spowodowania zapalenia się materiału potrzebna jest pewna określona energia cieplna. Wartość tej energii, zwana **ciepłem podtrzymującym płomieniowe spalanie**, stanowi również wskaźnik odporności materiału na oddziaływanie zewnętrznych źródeł podpalania. Za miarę ciepła podtrzymującego płomieniowe spalanie materiału przyjęto wartość średnią iloczynu natężenia strumienia cieplnego $I(l_i)$ i czasu t_i jego oddziaływania na powierzchnię materiału, po którym wystąpi jej zapłon.

Ciepło podtrzymujące płomieniowe spalanie charakteryzuje również dynamikę rozprzestrzeniania się płomieni po powierzchni materiału w danych warunkach rozkładu termicznego i spalania. Im mniejsza jest wartość tego iloczynu tym szybciej płomienie rozprzestrzeniają się po powierzchni.

3.2. Parametry podpalania

Wyzwalana energia cieplna nagrzewa sąsiadującą z płomieniem powierzchnię materiału, która po uzyskaniu temperatury zapłonu zapala się. Stopień nagrzania powierzchni materiału jest efektem działania nie tylko intensywności wydzielania ciepła, ale i czasu ekspozycji na jej działanie zależnego od potencjału cieplnego objętego spalaniem materiału. W rezultacie obserwuje się rozprzestrzenianie się

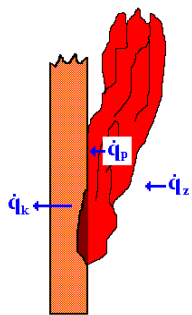


płomienia po powierzchni materiału. Miarą tego potencjału jest **całkowite ciepło** wywołane w czasie rozkładu termicznego i spalania materiału.

Źródłem zapłonu kolejnych nie objętych jeszcze pożarem materiałów są opadające palące się krople stopionego materiału – **opad kroplisty**. Zjawisko charakterystyczne dla większości tworzyw sztucznych, które zanim się zapalą, mięknią, tworząc ciekłe warstwy powierzchniowe.

Zjawisko opadu kroplistego przyspiesza proces rozprzestrzeniania się pożaru.

Ciekle warstwy powierzchniowe stanowią też dodatkowe niebezpieczeństwo dla ludzi narażonych na kontakt z nimi. Stopiony, gorący materiał przykleja się do ciała ofiary wydłużając czas oddziaływania wysokich temperatur na tkanki ciała ludzkiego. Tworzywa sztuczne w stanie ciekłym są źródłem głębokich poparzeń.



Naturalnym kierunkiem rozszerzania się płomienia jest kierunek od dołu ku górze po płaszczyznach pionowych. Zjawisko rozprzestrzeniania się płomieni ku górze po powierzchniach pionowych (ścian, materiałów wolno zwisających, itp.) może przebiegać lawinowo, to jest ze stale rosnącym przyspieszeniem proporcjonalnym do sumującej się ilości ciepła wytworzonego w danej chwili w poprzedzającym ten moment okresie. Oprócz tego oddziałuje na powierzchnię energia cieplna pochodząca z zewnętrznych źródeł ciepła \dot{Q}_z (spalanych w pewnej odległości przedmiotów). Oznacza to konieczność stosowania różnych metod badań lub różnych kryteriów oceny przydatności tego samego materiału w zależności od jego przeznaczenia.

Ostatnim składnikiem bilansu cieplnego, mającym wpływ na rozkład termiczny i spalanie materiału, są straty ciepła. Odprowadzając ciepło możemy spowolnić proces rozkładu termicznego i spalania materiału. Czynniki te mają znaczący wpływ na właściwości wielowarstwowych zestawów materiałowych. Często układ wielowarstwowy nie spełnia wymagań ochrony przeciwpożarowej, mimo że poszczególne składniki te wymagania spełniają.

Zatem prędkość rozprzestrzeniania się płomieni po powierzchni materiału może być opisana przez omówione parametry determinujące to rozprzestrzenianie:

- krytyczny strumień ciepła,
- ciepło podtrzymujące płomieniowe spalanie,
- intensywność wydzielania ciepła,
- ciepło wydzielone w czasie rozkładu termicznego i spalania,
- możliwość tworzenia opadu kroplistego.

Pierwsze dwa parametry odpowiadają za odporność materiału (wyrobu) na działanie zewnętrznych źródeł podpalania, pozostałe trzy za możliwość wywołania przez ten materiał pożaru sąsiednich materiałów.

Krytyczny strumień ciepła i ciepło podtrzymujące płomieniowe spalanie są miarą minimalnej mocy cieplnej źródła podpalania, która jest konieczna do spowodowania samopodtrzymującego się procesu spalania materiału.

Dla danego źródła podpalania odporność materiału na zapalenie się decyduje o długości czasu, po upływie którego pożar zaczyna się samoczynnie rozwijać (czas opóźnienia).

Pośrednio, dla określonych stałych warunków rozkładu termicznego i spalania materiału, miarą jego odporności na działanie zewnętrznych źródeł podpalania jest czas, po upływie którego wystąpi jego zapłon. Badania tego rodzaju dotyczą reakcji na działanie małych źródeł podpalania i stosowane są do oceny odporności na działanie takich źródeł na użytkowane w pozycji pionowej wyroby włókiennicze, meble tapicerowane, materace i zestawy pościeli.

O dynamice rozprzestrzeniania się płomienia po powierzchni materiału oraz emisji dymu i toksycznych produktów jego spalania decyduje intensywność wydzielania ciepła.



Do ważniejszych właściwości termicznych materiału, decydujących o pożarowym zagrożeniu związanym z jego zastosowaniem w obiektach morskich i lądowych należą:

- odporność na działanie zewnętrznych źródeł podpalania,
- intensywność wydzielania ciepła przez objęte pożarem materiały,
- potencjał cieplny materiału,
- toksyczność produktów rozkładu termicznego i spalania materiału,
- dymotwórczość materiałów.

Wielkości charakteryzujące materiały pod względem stwarzanego przez nie zagrożenia pożarowego przyjęto nazywać „cechami pożarowymi”.

Dobierając dla zastosowanych w obiekcie technicznym materiałów odpowiednie wartości progowe ich intensywności wydzielania ciepła i odporności na zapalenie od danych źródeł podpalania możemy spowolnić rozwój pożaru w fazie przedrozgorzeniowej wydłużając tym samym czas dyspozycyjny do poziomu umożliwiającego bezpieczną ewakuację ludzi z obszaru objętego pożarem i skuteczne gaszenie pożaru.

3.3. Metody badań cech pożarowych materiałów

W celu określenia cech pożarowych materiału należy poddać go próbie laboratoryjnej w warunkach termicznie zbliżonych do tych, jakie mogą wystąpić w czasie pożaru pomieszczeń zamkniętych, wyposażonych w wentylację o średniej skuteczności. Każdy pożar ma inny przebieg, inne charakterystyczne warunki rozkładu termicznego i spalania materiałów. W związku z tym ustalenie stacjonarnych warunków laboratoryjnych rozkładu termicznego i spalania materiałów, które w możliwie największym stopniu odzwierciedlałyby stan rzeczywistego pożaru na statku lub obiekcie lądowym, jest praktycznie nieosiągalne. Spowodowało to, że badania materiałów przeprowadza się w umownych, ściśle określonych warunkach rozkładu termicznego i spalania.

Nie ma idealnej metody badań właściwości materiałów decydujących o pożarowym zagrożeniu związanym z ich zastosowaniem w konkretnych obiektach. Niejednoznaczność terminologicznej interpretacji w określaniu parametrów pożarowego zagrożenia związanego ze stosowaniem materiałów spowodowała, że właściwości materiałów decydujące o pożarowym zagrożeniu bada się na wiele sposobów. Jako źródła podpalania stosuje się:

- tłący papieros,
- płomień zapałki,
- płomień palnika gazowego,
- promiennik podczerwieni,
- promiennik podczerwieni i płomień palnika gazowego.

Badając w warunkach laboratoryjnych stopień palności materiałów, ich dymotwórczość i emisję toksycznych produktów określa się jedynie zachowanie tych materiałów i ich właściwości w określonych umownych warunkach rozkładu termicznego i spalania, nie zaś ich zachowanie i ich właściwości w warunkach rzeczywistego pożaru. Nie oznacza to, że uzyskane wskaźniki nie mają praktycznego zastosowania. Konieczna jest **właściwa interpretacja fizyczna mierzonych parametrów i dobór odpowiednich wartości krytycznych**, które stanowią podstawę do oceny (klasyfikacji) materiałów z punktu widzenia stwarzanego zagrożenia pożarowego dla obiektów morskich i lądowych.

Wielkość mierzona powinna być ściśle związana z właściwościami materiału i jego pożarowym zagrożeniem termicznym, dymowym i toksycznym, czyli z dynamiką rozwoju



pożaru, szybkością wyzwalania ciepła i produktów pożaru, z dynamiką zmian zasięgu widzialności i stężeń toksycznych składników i tlenu w produktach pożaru. Pozwala to określić czas krytyczny, po upływie którego warunki w przestrzeni objętej pożarem staną się niebezpieczne dla życia człowieka. Parametry charakteryzujące pożarowe zagrożenie materiałów powinny być odniesione do jednostki masy lub jednostki powierzchni, ponieważ umożliwia to ich wykorzystanie w fazie projektowania obiektu do oceny stopnia pożarowego zagrożenia termicznego, dymowego i toksycznego jego pomieszczeń.

Warunki termiczne zbliżone do tych, jakie mogą wystąpić w czasie pożaru, są spełnione podczas badania materiału wystawionego na działanie promieniowania cieplnego i płomienia palnika pilotowego. Przyjmuje się, że w początkowej fazie rozwoju pożaru natężenie strumienia promieniowania cieplnego podającego na powierzchnie objętych pożarem materiałów może osiągnąć wartość 50 kW/m^2 .

Do metod określających powyższe parametry zalicza się między innymi:

- badanie niepalności materiałów metodą wg PN-EN ISO 1182 i wg kodeksu FTP² cz.1,
- wyznaczanie potencjału cieplnego metodą wg PN-EN ISO 1716,
- badanie palności powierzchniowej materiałów okrętowych metodą wg kodeksu FTP cz.5,
- badanie rozprzestrzeniania się płomieni po powierzchni wyrobów budowlanych i środków transportu wg ISO 5658-2.
- badanie rozprzestrzeniania płomieni po posadzkach podłogowych wg PN-EN ISO 9239-1,
- badanie dymotwórczości materiałów metodą wg PN-B-02856,
- badanie dymotwórczości materiałów okrętowych i emisji toksycznych produktów ich rozkładu termicznego i spalania metodą wg kodeksu FTP cz.2 i wg ISO 5659-2,
- badanie toksycznych produktów rozkładu termicznego i spalania materiałów metodą wg PN-B-02855,
- badanie pionowo zawieszonych tekstyliów i folii metodą wg kodeksu FTP cz.7,
- badanie mebli tapicerowanych metodą wg Kodeksu FTP cz.8 i wg PN-EN-1021-1 i PN-EN-1021-2,
- badanie zapalności materiałów metodą wg PN-EN ISO 11925-2,
- badanie intensywności wydzielania ciepła metodą wg ISO 5660-1

4. WYNIKI BADAŃ CECH POŻAROWYCH SIEDZISK Z TWARDEGO TWORZYWA SZTUCZNEGO

4.1. Badanie zapalności metodą wg PN-EN 1021-1 i PN-EN 1021-2

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać **budynki** (Dz. U. Nr 109, poz. 1156, 2004 r. z *późniejszymi zmianami*) „... fotele i inne siedzenia trudno zapalne odpowiadające wymaganiom **Polskiej Normy dotyczącej oceny zapalności mebli tapicerowanych ...**”:

- 1.1. Polska norma PN-EN-1021-1 Meble. Ocena zapalności mebli tapicerowanych. Źródło zapłonu: tłący papieros
- 1.2. Polska norma PN-EN-1021-1 Meble. Ocena zapalności mebli tapicerowanych. Źródło zapłonu: równoważnik płomienia zapałki

Zakres stosowania norm PN-EN-1021-1 i PN-EN-1021-2 (punkt 1.4). Normy obejmują metody badania dotyczące oceny zapalności zestawu materiałów, takich jak materiały pokryciowe i wypełnienia, stosowanych w **siedziskach tapicerowanych**, poddawanych działaniu tłącego papierosa lub małego płomienia (równoważnika płomienia zapałki) jako źródła zapłonu.

² FTP Code. International Code for Application of Fire Test Procedure. International Maritime Organization, London, 1998

W badaniach mierzona jest tylko zapalność układu materiałów stosowanych w tapicerowanych siedziskach, a nie zapalność określonego gotowego wyrobu meblarskiego, zawierającego te materiały. Badania te nie mogą gwarantować zachowania się wobec ognia gotowego egzemplarza mebla.

Metoda badań. Badanie zapalności mebli tapicerowanych polega na oddziaływaniu małych źródeł podpalania (*punkt 2.2.*) na próbki odpowiadające rzeczywistemu układowi tapicerskiemu i obserwacji skutków tego oddziaływania. Ułożony na stelażu metalowym układ materiałów tapicerskich (rys. 1.), tj. materiałów pokryciowych, rozdzielających, wypełniających itp., poddaje się kolejno działaniu tłącego papierosa i płomienia palnika gazowego o mocy cieplnej równoważnej płomieniowi palącej się zapałki. Czas oddziaływania płomienia 15 s. Poddawany badaniom układ przedstawia w stylizowanej formie występujące w typowych krzesłach i fotelach połączenie pomiędzy siedziskiem i oparciem lub siedziskiem i podłokietnikiem.

Znormalizowany płomień palnika gazowego
równoważny płomieniowi zapałki



Rys. 1. Zestaw do badania zapalności mebli tapicerowanych

W czasie badań obserwuje się sposób zapalania się układu tapicerskiego (*palenie się płomieniem, postępujące tlenie, żarzenie, itp.*). Po zakończeniu każdej próby rozbiera się badany układ tapicerski celem ustalenia ewentualnego wewnętrznego postępującego tlenia. Jeżeli żadne z tych zjawisk nie występuje układ tapicerski spełnia wymagania norm i może być stosowany w praktyce.

Tkanina obiciowa odporna na krótkotrwałe oddziaływanie płomienia typu zapałki nie zapala się. Wystarczy przedłużyć czas oddziaływania do 20 sekund, a układ tapicerski zaczyna palić się intensywnie (rys. 2, rys. 3).



Rys. 2. Spalający się intensywnie zestaw tapicerski po wydłużeniu czasu oddziaływania płomienia do 20 s (zestaw spełnia wymagania norm).



Rys. 3. Spalający się intensywnie fotel tapicerowany po wydłużeniu czasu oddziaływania płomienia do 20 s (fotel spełnia wymagania norm).

Oznacza to, że **odporność pożarowa** powyższych zestawów tapicerskich na oddziaływanie płomienia palnika gazowego o mocy cieplnej równoważnej płomieniowi palącej się zapalki **wynosi tylko 15 s.**

Syntetyczne materiały polimerowe z nielicznymi wyjątkami nie ulegają reakcjom powierzchniowym, lecz spalają się wyłącznie w drodze pirolizy. W większości przypadków materiały te mięknią, tworzą ciekłe warstwy powierzchniowe i rozkładają się pirolitycznie głównie w procesie suchej destylacji. W obecności małych źródeł podpalania lub w układach z intensywniejszym odprowadzaniem ciepła materiały syntetyczne zachowują się często jak materiały trudno zapalne lub nawet niezapalne. W związku z tym do zapoczątkowania procesu spalania nie wystarcza tłący papieros lub płomień zapalki z czasem oddziaływania 15 s.

Wyniki badań zapalności metodami wg PN-EN 1021-1 – PN-EN 1021-2 kilkunastu typów siedzisk z twardych tworzyw sztucznych potwierdzają takie ich właściwości.



Należy pamiętać o tym, że w praktyce, w czasie imprez sportowych, mogą wystąpić źródła podpalania o większej mocy np.: płomień zapalniczki, podpalona zmięta gazeta, petarda, raca, itd. (punkt 4.4. zaleceń FIFA).

4.2. Badanie zapalności metodą wg PN-EN ISO 11925-2³

Zakres normy. Niniejsza Norma Europejska opisuje metodę badania zapalności wyrobów budowlanych poddanych bezpośredniemu działaniu małego płomienia, bez udziału promieniowania cieplnego i dla próbek badanych w usytuowaniu pionowym.

Metoda badań. Badania przeprowadza się w komorze zbudowanej z płyt ze stali nierdzewnej z żaroodpornymi przeszklonymi drzwiami, umożliwiającymi dostęp do komory i możliwość obserwacji przynajmniej od frontu i na jednej z bocznych ścian. Stosuje się wymuszoną wentylację komory. Próbkę w pozycji pionowej poddaje się działaniu płomienia znormalizowanego źródła podpalania o wysokości 20 mm. Czas oddziaływania płomienia 15s lub 30s według wymagań zleciodawcy. Po upływie czasu oddziaływania odsuwa się palnik ruchem ciągłym i równomiernym. Badania mogą być przeprowadzone dla ekspozycji powierzchniowej lub krawędziowej albo dla obydwóch. Dla każdej z badanych próbek rejestruje się: wystąpienie zapalenia, osiągnięcie przez wierzchołek płomienia odległości 150 mm powyżej punktu przyłożenia płomienia i czas po którym to nastąpiło, wystąpienie zapalenia papieru filtracyjnego oraz obserwacje wizualne fizycznego zachowania się próbki.

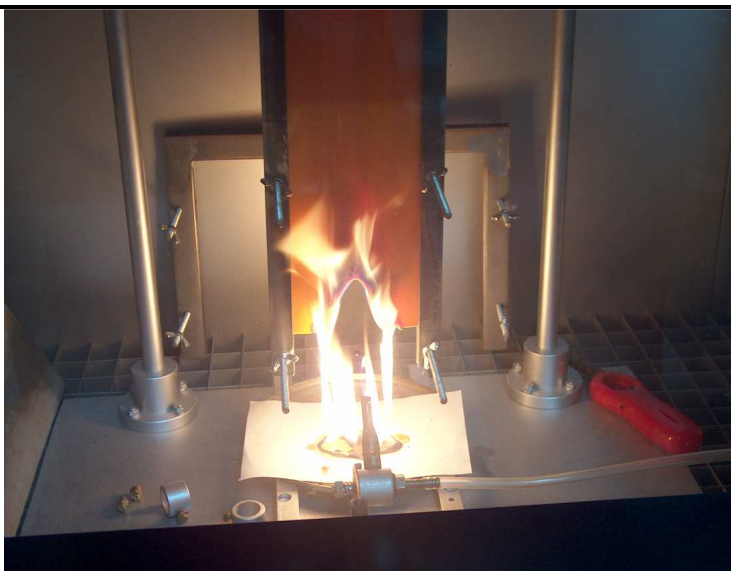


³ PN-EN ISO 11925-2:2004 Badania reakcji na ogień – Część 2: Zapalność materiałów poddawanych bezpośredniemu działaniu płomienia. Badanie przy działaniu pojedynczego

4.2.1. Wyniki badań - Zapłon krawędziowy

Tabela 1. Czas oddziaływania płomienia palnika pilotowego 15 s

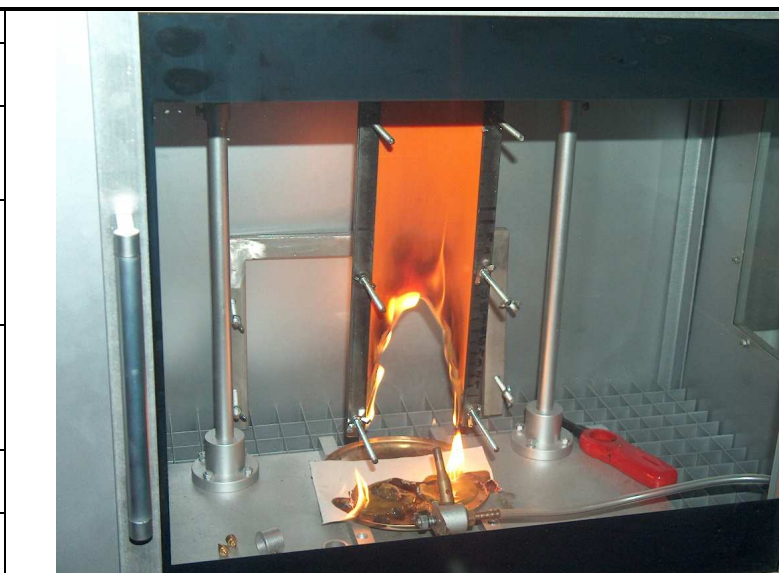
Nazwa wielkości	Jednostka	Wartość
		średnia
Czy wystąpił zapłon?	TAK/NIE	TAK
Czy wystąpił zapłon papieru?	TAK/NIE	TAK
Czas do osiągnięcia zasięgu 150 mm	s	85
Zasięg płomienia	mm	240
Opad kroplisty	TAK/NIE	TAK



4.2.2. Wyniki badań - Zapłon powierzchniowy

Tabela 2. Czas oddziaływania płomienia palnika pilotowego 30 s

Nazwa wielkości	Jednostka	Wartość
		średnia
Czy wystąpił zapłon?	TAK/NIE	TAK
Czy wystąpił zapłon papieru?	TAK/NIE	TAK
Czas do osiągnięcia zasięgu 150 mm	s	125
Zasięg płomienia	mm	240
Opad kroplisty	TAK/NIE	TAK



4.2.3. Wyniki badań zapalności siedzisk w pełnej skali

Badaniom poddano siedziska z tworzyw sztucznych w pełnej skali używając znormalizowanego źródła podpalania wg normy PN-EN ISO 11925-2 (*zbliżoną moc cieplną ma płomień zapalniczki*). Siedziska umieszczono na stelażu metalowym stosowanym przy badaniu składników pościeli (PN-EN ISO 12952). Wyniki przedstawiono na rysunkach 4, 5, 6 i 7.



Rys. 4. Zapłon krawędziowy – czas oddziaływania płomienia (podpalania) 15 s.



Rys. 5. Intensywne spalanie siedziska z opadem kroplistym po zapłonie krawędziowym



Rys. 6. Zapłon powierzchniowy – czas oddziaływania płomienia (podpalania) 45 s.



Rys. 7. Intensywne spalanie siedziska z opadem kroplistym po zapłonie powierzchniowym

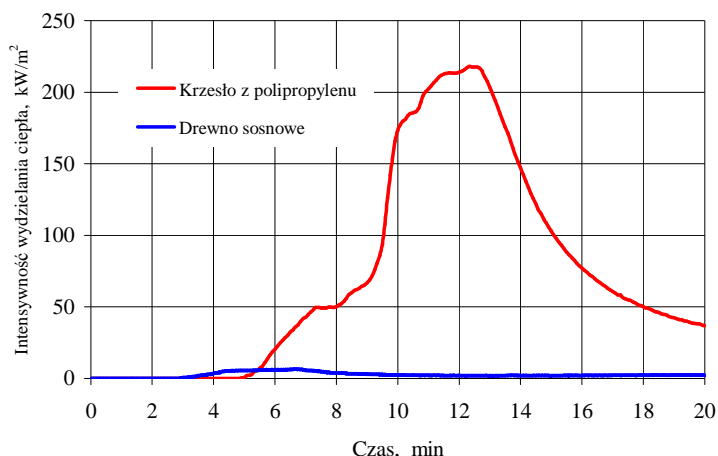
Przy oddziaływaniu krawędziowym znormalizowanego płomienia palnika gazowego trwałe płomieniowe spalanie siedziska występuje po 15 s. Zapłon powierzchniowy wymagał 45 s oddziaływania. Po zapoczątkowaniu procesu spalania takie materiały spalają się gwałtownie wydzielając bardzo duże ilości ciepła, dymu i toksycznych substancji. Konieczne było użycie gaśnicy.

Potwierdzają to również badania porównawcze siedziska stadionowego z drewnem sosnowym (rys. 8) wykonane metodą wg PN-B-02874⁴ oraz intensywności wydzielania ciepła metodą wg ISO 5660-1⁵ i ciepła spalania metodą wg PN-EN ISO 1716⁶.

⁴ Załącznik nr 1 do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury Dz. U. Nr 109, poz. 1156, 2004 r. Badanie stopnia palności materiałów budowlanych wg PN-B-02874:1996, PN-B-02874/Az1:1999 (wycofana z rejestru Polskich Norm).

⁵ ISO 5660-1:2002: Badanie reakcji na ogień – część 1. Intensywność wydzielania ciepła (kalorymetr stożkowy).

⁶ PN-EN ISO 1716:2006 Badania reakcji na ogień wyrobów budowlanych. Określanie ciepła spalania

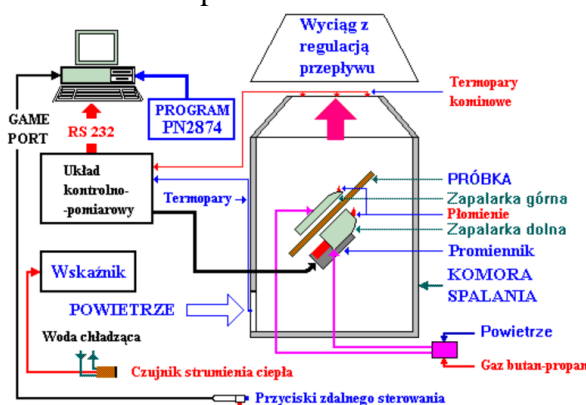


Rys. 8. Zależność intensywności wydzielania ciepła z 1 m² od czasu w porównaniu z łatwozapalnym drewnem sosnowym

4.3. Metoda badań stopnia palności siedzisk metodą wg PN-B-02874:1999

Zakres stosowania normy. Metodę stosuje się do badań i oceny stopnia palności materiałów osłon, okładzin, wykładzin ściennych i sufitowych oraz innych stałych elementów wyposażenia i wystroju wnętrz budynków z wyłączeniem materiałów niepalnych, nawierzchni podłogowych i pokryć dachowych. Siedziska stadionowe są stałym wyposażeniem obiektu budowlanego.

Badanie polega (rys. 9) na poddaniu umieszczonej w komorze pod kątem 45° próbki o wymiarach 400 mm x 300 mm promieniowaniu cieplnemu o natężeniu 30 kW/m². Do zapłonu produktów rozkładu termicznego badanego materiału służą zapalarki: górna i dolna, których konstrukcja uniemożliwia bezpośrednie oddziaływanie płomieni ich palników pilotowych na powierzchnię badanego materiału. Cechy pożarowe materiału budowlanego określa się na podstawie wartości średnich wskaźnika zapalności i wskaźnika spalania.



Rys. 9. Stanowisko do badania stopnia palności materiałów budowlanych metodą wg PN-B-02874

Wskaźnik zapalności charakteryzuje odporność materiału (wyrobu) na działanie zewnętrznych źródeł podpalania - promieniowania cieplnego w umownych warunkach rozkładu termicznego i spalania. Jego wartość oblicza się ze wzoru:

$$i = \frac{1000}{15 \cdot t_{dp}} + \frac{1000}{15 \cdot t_{gp}}$$



gdzie: 1000/15 - współczynnik przeliczeniowy, s,
 t_{dp} - czas od momentu rozpoczęcia badania do chwili zapalenia się dolnej powierzchni próbki, s,
 t_{gp} - czas od momentu rozpoczęcia badania do chwili zapalenia się górnej powierzchni próbki, s.

Wskaźnik spalania charakteryzuje materiał pod względem ilości wydzielanego ciepła⁷ podczas rozkładu termicznego i spalania próbki materiału. Jego wartość oblicza się ze wzoru:

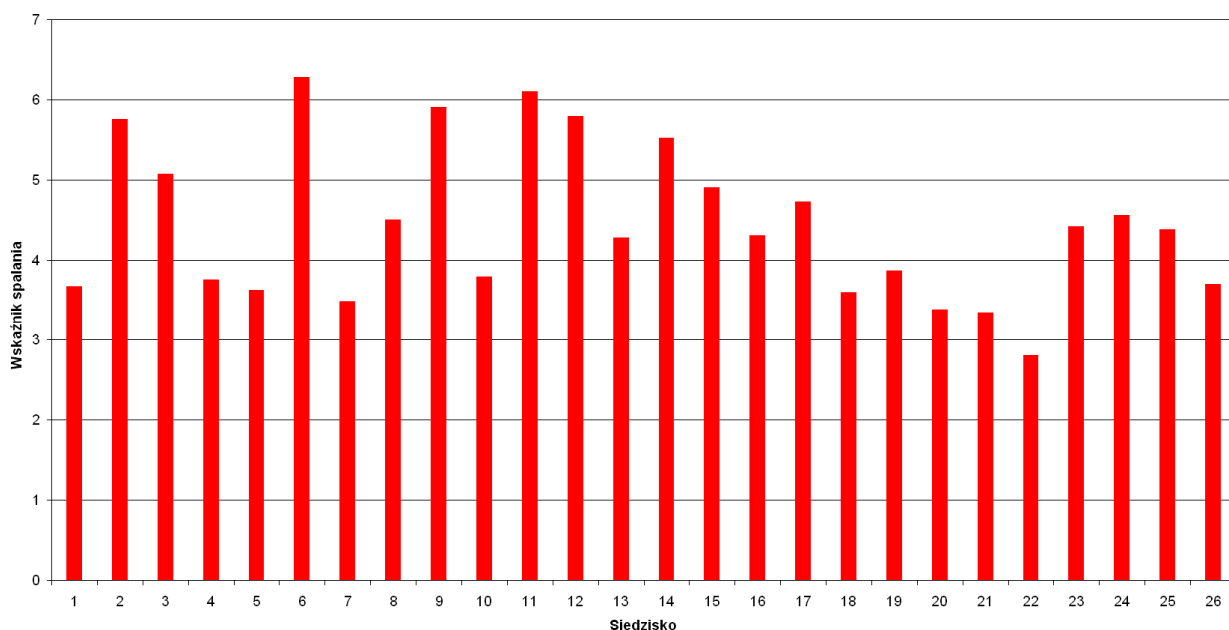
$$C = \frac{F}{7200}$$

gdzie: 7200 - współczynnik przeliczeniowy, °C·s,
F - pole powierzchni, °C·s

Wartości wskaźników zapalności i spalania stanowią podstawę do klasyfikacji materiałów na trzy grupy:

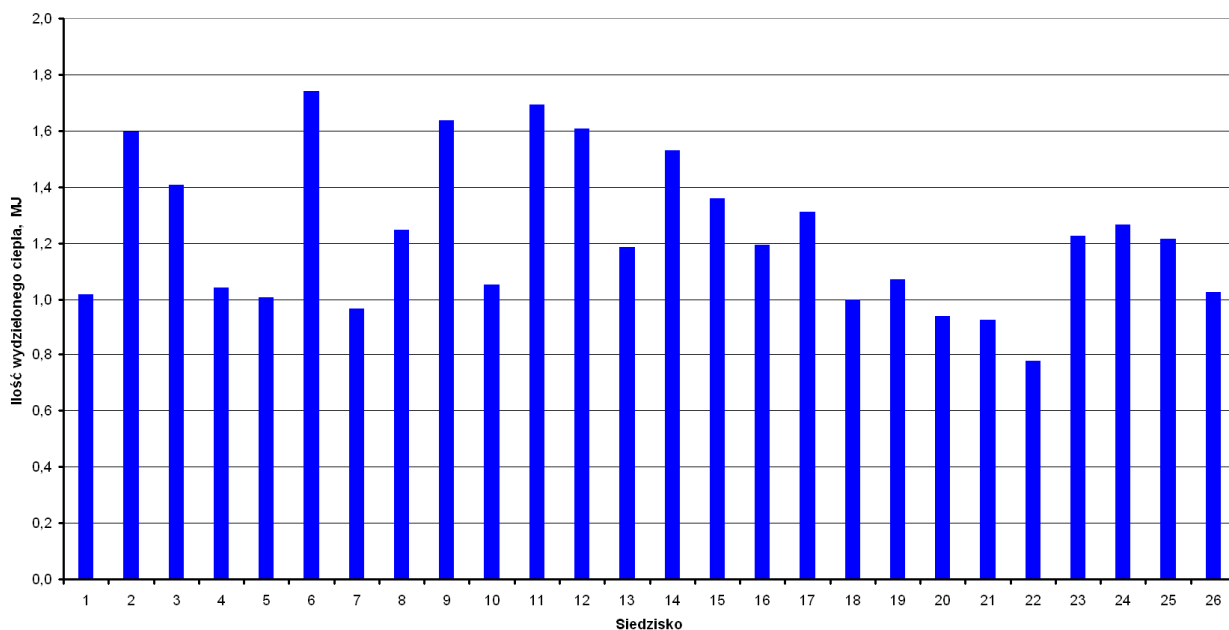
- $i_{sr} = 0$ i $c_{sr} \leq 1$ - materiał niezapalny
- $i_{sr} \leq 1$ i $c_{sr} \leq 1$ - materiał trudno zapalny
- $i_{sr} > 1$ lub $c_{sr} > 1$ - materiał łatwo zapalny

Z przebadanych w naszym laboratorium siedzisk stadionowych, zdecydowana większość nie spełniała wymagań normy w zakresie trudnopalności. Wielokrotnie został przekroczony wskaźnik spalania (rys. 10) charakteryzujący ilość wydzielonego ciepła (rys.11).



Rys. 10. Zbiorcze zestawienie wyników badań wskaźnika spalania

⁷ Sychta Z.: Badanie materiałów i kryteria oceny z punktu widzenia stwarzanego zagrożenia pożarowego. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 530, Szczecin, 1996 (monografia)



Rys. 11. Zbiorcze zestawienie wyników badań ilości wydzielonego ciepła

Wyniki badań potwierdzają stwierdzone w sposób jakościowy (wizualny) intensywne spalanie siedzisk z tworzyw sztucznych w czasie ich badań w pełnej skali po zapłonie od małych źródeł podpalania.

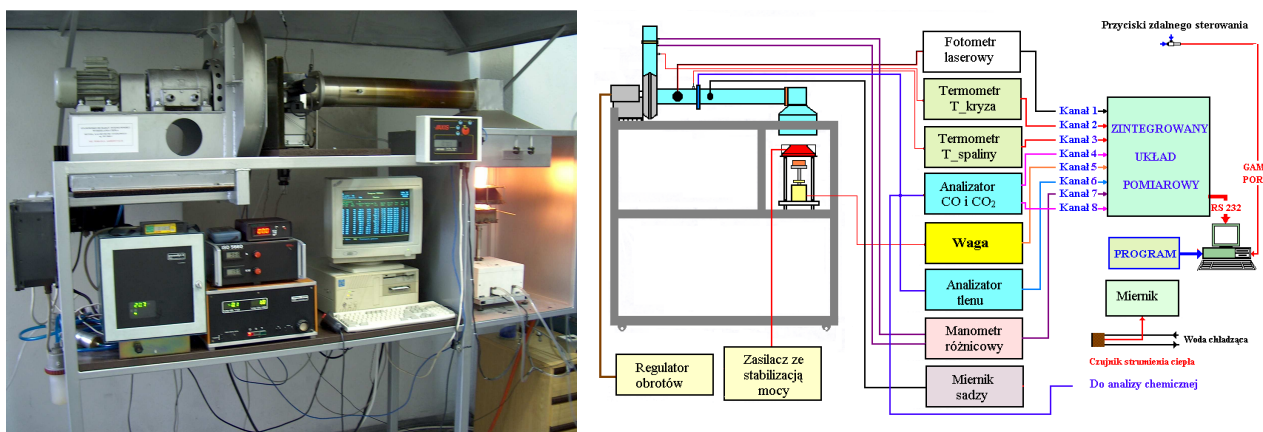
Wyznaczone metodą wg PN-EN ISO 1716 ciepło spalania dla siedziska sportowego wynosi:

$$c_{sp} = (30900 \pm 250) \text{ kJ/kg}$$

Potencjał cieplny zgromadzony w jednym siedzisku stadionowym wynosi ok. 47 MJ.

4.4. Badanie intensywności wydzielania ciepła i masowej szybkość spalania siedzisk metodą wg ISO 5660-1

Zasada tej metody polega na spalaniu próbki materiału poddanego działaniu promieniowania cieplnego od stożkowego promiennika cieplnego i pomiarze zmian stężenia tlenu w gazach spalinowych (rys. 12).



Rys. 12. Stanowisko do badania intensywności wydzielania ciepła metodą wg ISO 5660-1

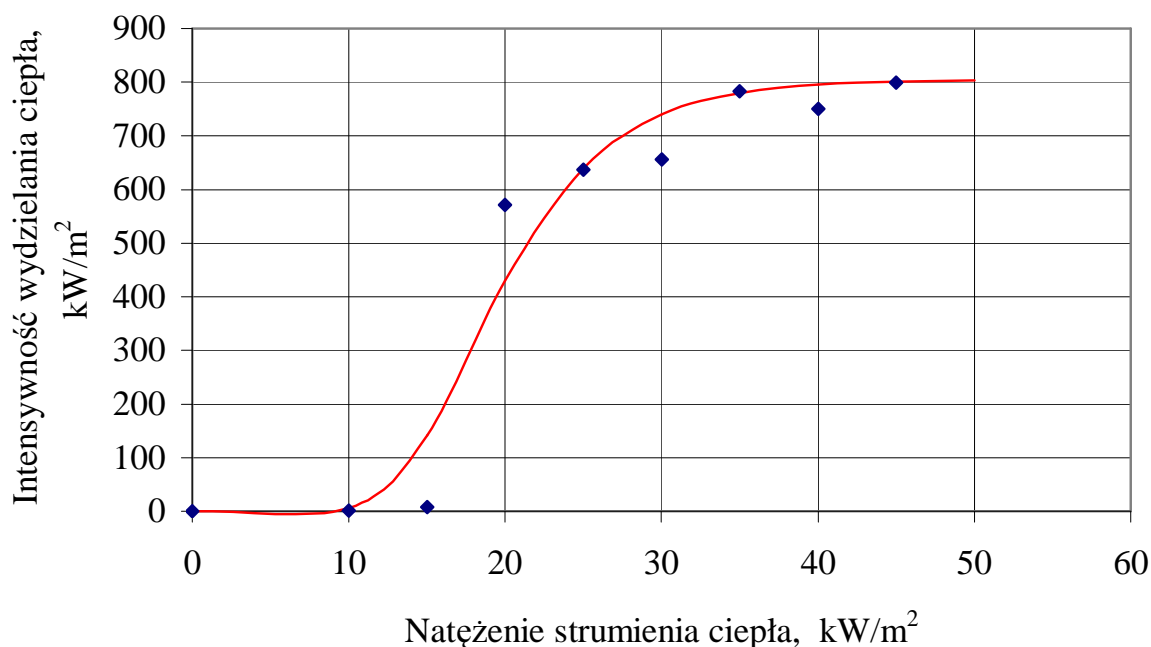
Na podstawie zmian stężenia tlenu określa się intensywność wydzielania ciepła wg algorytmu:

$$\dot{q} = Y \cdot \dot{m}_{\text{spalin}} \cdot \frac{\Phi - 0,172 \cdot (1 - \Phi) \cdot x_{\text{CO}}}{0,9053 - 0,09506 \cdot \Phi} \cdot \frac{x_{\text{O}_2}}{x_{\text{O}_2}}$$

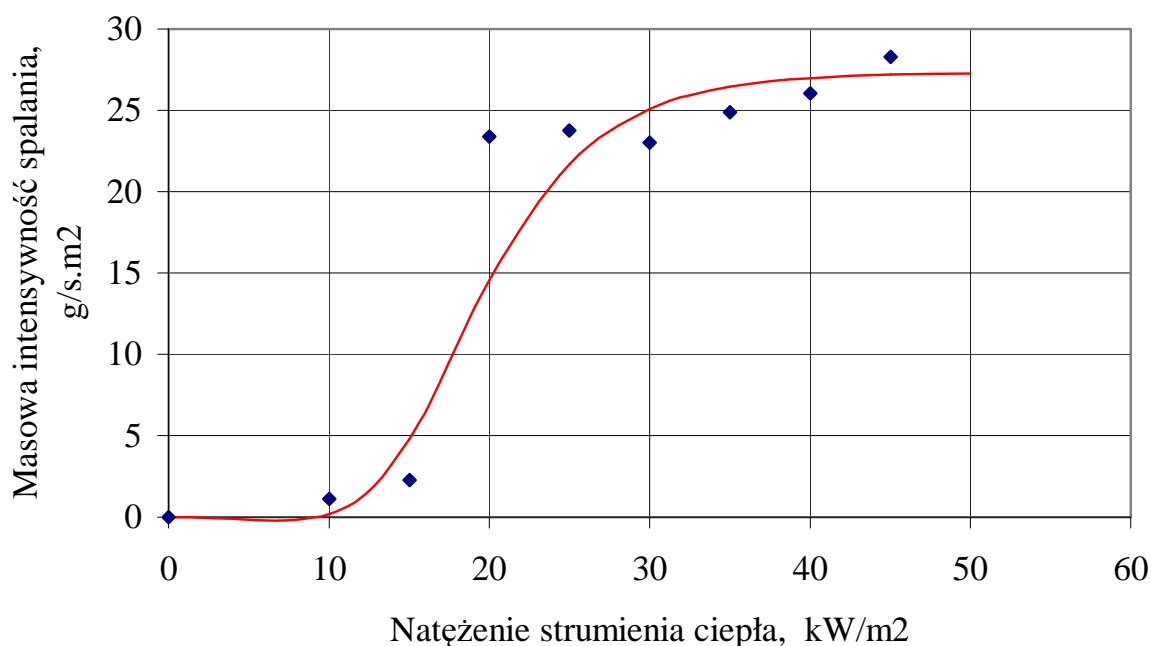
$$\Phi = \frac{1 - x_{\text{CO}_2} - x_{\text{CO}} - \frac{x_{\text{O}_2}}{x_{\text{O}_2}} \cdot (1 - x_{\text{O}_2})}{1 - x_{\text{CO}_2} - x_{\text{CO}} - x_{\text{O}_2}}$$

- gdzie:
- Y - stała określająca ilość ciepła wyzwalamą się podczas reakcji masowej jednostkowej ilości tlenu, MJ·kg⁻¹,
 - \dot{m}_{spalin} - masowe natężenie przepływających gazów przez kalorymetr, kg·s⁻¹,
 - x_{O_2} - udział molowy tlenu w powietrzu wpływającym do kalorymetru, -,
 - x_{O_2} - udział molowy tlenu w opuszczającym kalorymetr, -,
 - x_{CO_2} - udział molowy CO₂ w powietrzu atmosferycznym, -
 - x_{CO} - udział molowy CO w spalinach, -
 - x_{CO_2} - udział molowy CO₂ w spalinach, -

Wyniki w postaci graficznej dla siedziska typu 4004 przedstawiono na rys. 13. rys 14.



Rys. 13. Zależność właściwej intensywności wydzielania ciepła od natężenia zewnętrznego strumienia ciepła



Rys. 14. Zależność właściwej masowej intensywności spalania od natężenia zewnętrznego strumienia ciepła

Badania wykazały, że objęty pożarem 1 m² siedzisk stadionowych może osiągnąć moc ok. 0,8 MW.

4.5. Badanie krytycznego strumienia ciepła i ciepła podtrzymującego płomieniowe spalanie

Krytyczny strumień ciepła - KSP i ciepło podtrzymujące płomieniowe spalanie - Q_{sb} są miarą minimalnej mocy cieplnej źródła podpalania (*punkt 3*), która jest konieczna do spowodowania samopodtrzymującego się procesu spalania materiału. Krytyczny strumień ciepła KSP i ciepło podtrzymujące płomieniowe spalanie – Q_{sb} można wyznaczyć metodami wg:

- Kodeksu FTP część 5⁸. Badanie stopnia palności powierzchniowej materiałów okrętowych,
- PN-EN ISO 9239-1:2004. Badanie reakcji na ogień posadzek – Część 1: Określenie właściwości ogniowych metodą płyty promieniującej
- ISO 5658-2:2006⁹. Badanie reakcji na ogień – Rozprzestrzenianie płomieni – Część 2: Rozprzestrzenianie się płomieni po powierzchni wyrobów budowlanych i stosowanych w środkach transportu badanych w pozycji pionowej.

Procedurę wyznaczania ciepła podtrzymujące płomieniowe spalanie podaje metoda wg Kodeksu FTP część 5. W pozostałych dwóch metodach Q_{sb} można wyznaczyć w oparciu o wyniki cząstkowe, których dokumentowanie w czasie pomiaru jest obowiązkowe.

Badania materiałów metodami wg Kodeksu FTP część 5 i wg ISO 5658-2 przeprowadza się w tych samych warunkach rozkładu termicznego i spalania. Obydwa stanowiska mają

⁸ FTP – Kodeks stosowania procedur prób ogniowych Międzynarodowej Organizacji Morskiej

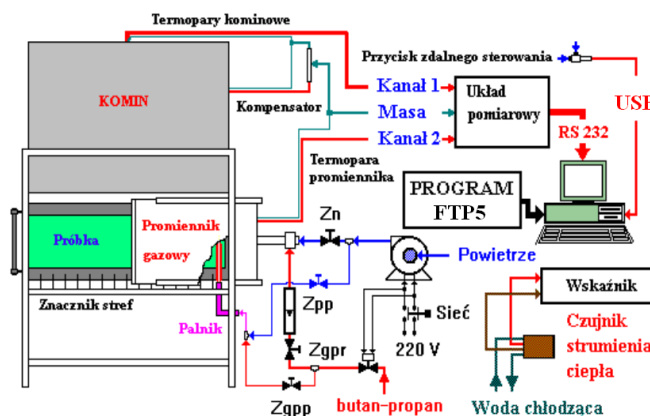
⁹ ISO 5658-2:2006. Reaction to fire tests – Spread of flame – Part 2: Lateral spread on building an transport product in vertical configuration

identyczny układ geometryczny i wymiary badanych próbek oraz ten sam rozkład natężenia strumienia ciepła wzdłuż próbki. W związku z tym można stosować jedną z dwóch wymienionych metod do wyznaczania KSP. W Laboratorium Badań Cech Pożarowych Materiałów Katedry Technicznego Zabezpieczenia Okrętów badania KSP wykonujemy metodą wg Kodeksu FTP część 5 i wg ISO 5658-2.

Metoda badań materiałów wg ISO 5658-2 jest zalecana do badania krytycznego strumienia ciepła materiałów i kompozytów stosowanych w taborze kolejowym (prEN 45545-2¹⁰)

4.5.1. Badanie stopnia palności powierzchniowej siedzisk metodą wg Kodeksu FTP część 5

Metoda badań służy do oceny palności powierzchniowej stosowanych na statkach materiałów przegród, sufitów, izolacji kabli, wykładzin podłogowych, itd.. Badaniu poddaje się trzy reprezentatywne dla danego materiału próbki o wymiarach 800 mm x 155 mm. Powierzchnia próbki badanego materiału w pozycji pionowej (rys. 15) poddawana jest działaniu strumienia ciepłego (od 50.5 kW/m² do 1.5 kW/m²) o znormalizowanym rozkładzie wytwarzanego przez gazowy promiennik płytowy. Próbkę materiału bada się w obecności płomienia palnika pilotowego.



Rys. 15. Stanowisko do badania stopnia palności powierzchniowej materiałów metodą wg Kodeksu FTP część 5

W czasie badań określa się:

- intensywność wydzielania ciepła w funkcji czasu \dot{q} :

$$\dot{q}(t) = \beta(U) \cdot [U(t) - U_o]$$

gdzie: $\beta(U)$ - równoważnik cieplny stanowiska wyznaczany doświadczalnie w czasie jego kalibracji, kW·mV⁻¹,

U - napięcie na wyjściu układu różnicowego do pomiaru intensywności wydzielania ciepła, mV,

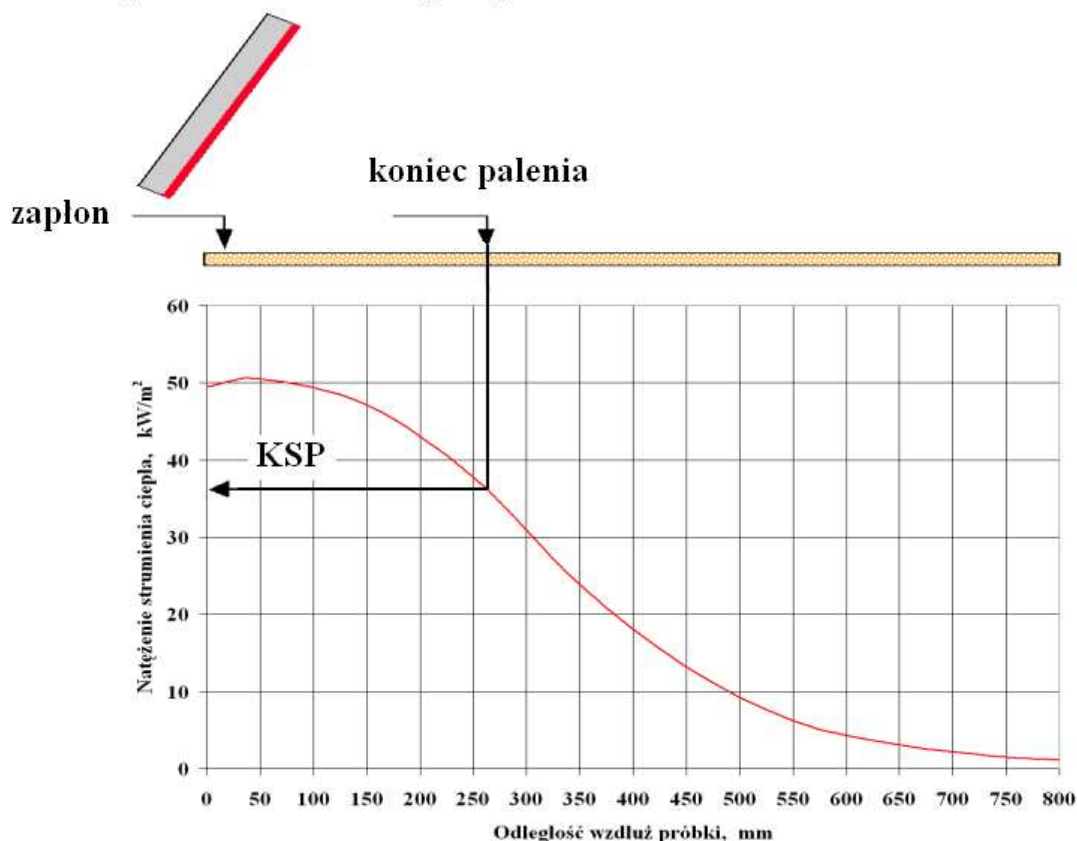
U_o - początkowe napięcie na wyjściu układu różnicowego do pomiaru intensywności wydzielania ciepła, mV.

- ciepło wydzielone przez próbkę Q_t :

$$Q_t = \int_0^{t_k} \beta(U) \cdot (U - U_o) \cdot dt$$

¹⁰ prEN 45545-2: Kolejnictwo - Ochrona przeciwpożarowa kolejowych pojazdów szynowych - Część 2: Wymagania dotyczące właściwości palnych materiałów i komponentów.

- krytyczny strumienia promieniowania cieplnego KSP, mierząc zasięg płomienia l_r a następnie z charakterystyki rozkładu natężenia strumienia ciepłego wzdłuż próbki ustala się odpowiadającą temu zasięgowi wartość tego natężenia (rys. 16.):

źródło promieniowania cieplnego


Rys. 16. Zasada pomiaru krytycznego strumienia promieniowania cieplnego


- ciepło podtrzymujące płomieniowe spalanie, Q_{sb} :

$$Q_{sb} = \frac{\sum_{i=1}^n I(l_i) \cdot t_i}{n}$$

- gdzie:
- $I(l_i)$ - natężenie napromienienia cieplnego powierzchni próbki dla i -tej strefy, $\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$,
 - $l_i = 50 \cdot i$ - zasięg płomienia dla i -tej strefy, mm,
 - $i = 3, 4, \dots, n$ - numery stref, przez które przeszedł płomień
 - t_i - czas, po upływie którego czoło płomienia osiągnie i -tą strefę, s,
 - $n \leq 8$ - ostatnia strefa brana do obliczeń ciepła podtrzymującego płomieniowe spalanie materiału; dla zasięgu płomienia $l_r \geq 430$ mm $n = 8$.

Wyniki dla siedziska stadionowego poliamidowego przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki końcowe stopnia palności powierzchniowej siedziska sportowego

Krytyczny strumień promieniowania cieplnego	KSP	1,33	kW/m ²	
Ciepło podtrzymujące płomieniowe spalanie	Qsb	2,43	MJ/m ²	
Maksymalna intensywność wydzielania ciepła	q _p	4,75	kW	
Ciepło wydzielone przez próbkę	Q _t	2,20	MJ	


W czasie badań występuje intensywne spalanie z opadem kroplistym.

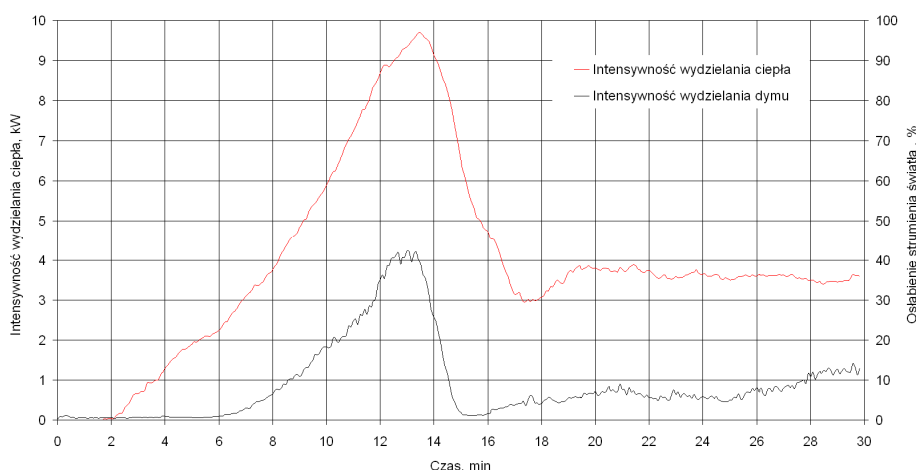
Materiał szybko rozprzestrzeniający płomień po powierzchni - nie spełnia wymagań Międzynarodowego kodeksu stosowania procedur prób ogniowych - Kodeks FTP, Część 5 w zakresie stopnia palności powierzchniowej.

4.5.2. Badanie palności powierzchniowej siedzisk metodą wg PN-EN-ISO 9239-1

Krytyczny strumień ciepła wyznacza się również w czasie badań stopnia palności powierzchniowej posadzek metodą wg PN-EN ISO 9239-1. Badanie polega na poddaniu próbki ułożonej poziomo na podkładzie z niepalnej płyty włóknisto-cementowej działaniu zewnętrznego strumienia cieplnego (od 10,9 kW/m² do 1,1 kW/m²) o znormalizowanym rozkładzie oraz płomienia inicjującego spalanie. Badanie obejmuje wyznaczenie krytycznego strumienia ciepła - KSP i dymotwórczości materiału. Wyniki badań siedziska przedstawiono w tabeli 4. W czasie badań występuje intensywne spalanie (rys.17) . Maksymalna intensywność wydzielania ciepła wynosi 9,7 kW.

Tabela 4. Wyniki końcowe stopnia palności powierzchniowej siedziska sportowego

Krytyczny strumień promieniowania cieplnego	KSP	2,38	kW/m ²	
Ciepło podtrzymujące płomieniowe spalanie	Qsb	5,82	MJ/m ²	
Maksymalna intensywność wydzielania ciepła	q _p	9,69	kW	
Ciepło wydzielone przez próbkę	Q _t	7,87	MJ	
Maksymalne osłabienie strumienia światła	S	42	%	
Całkowite osłabienie strumienia światła	Sc	326	% · min	

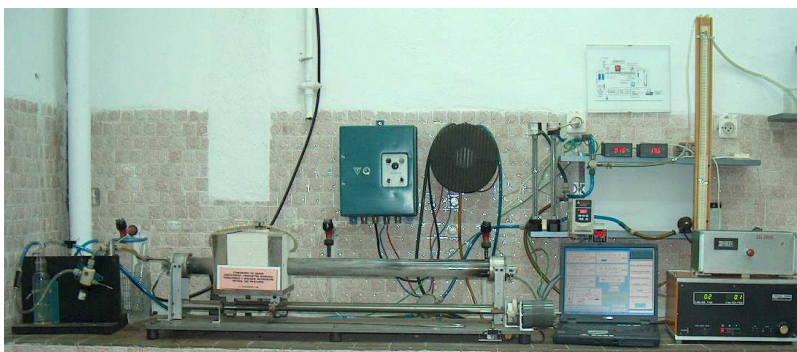


Rys. 17. Zależność intensywności wydzielenia ciepła i dymu od czasu

Ocena przydatności materiału: materiał **łatwopalny**

4.6. Toksyczność produktów rozkładu termicznego i spalania siedzisk

Toksyczność rozkładu termicznego i spalania określono wg **PN-88/B-02855**. Zasada metody polega na ilościowym, chemicznym oznaczaniu produktów rozkładu lub spalania materiałów decydujących o toksyczności środowiska pożaru. Rozkład termiczny i spalanie próbek badanego materiału przeprowadza się w poziomym piecu rurowym w temperaturach 450 °C, 550 °C i 750 °C. W czasie badań określa się emisję właściwą CO, CO₂, HCN, NO₂, HCl i SO₂. Emisja właściwa oznacza masę toksycznego produktu wytworzoną w czasie rozkładu termicznego i spalania jednostki masy materiału w danych warunkach badania:



$$E_{wx} = \frac{m_x}{m_p} \quad \frac{g}{g}$$

gdzie: m_x - masa toksycznego produktu rozkładu termicznego i spalania, g,
 m_p - masa próbki badanego materiału, g.

W tabeli 5 przedstawiono stężenia krytyczne podstawowych produktów spalania, które może spowodować śmierć w ciągu kilku minut.

Tabela 5. Stężenia krytyczne

Stężenia krytyczne produktów spalania, mg·m ⁻³						
CO	HCN	NO _x	HCL	SO ₂	HF	HBr
1380	55	38	75	262	25	99



Wyniki badań emisji masowej toksycznych produktów spalania przedstawiono w tabeli 6 i tabeli 7.

Tabela 6. Emisja produktów rozkładu i spalania siedzisk stadionowych poliamidowych

Temperatura rozkładu		Emisja właściwa produktów rozkładu i spalania					
		CO	CO ₂	HCN	NO ₂	HCl	SO ₂
		[g/g]	[g/g]	[g/g]	[g/g]	[g/g]	[g/g]
450 ° C	Próbka nr 1	0,00260	0,00409	0,00017	0,00000	0,00060	0,0000
	Próbka nr 2	0,00214	0,00409	0,00015	0,00000	0,00063	0,0000
	Próbka nr 3						
	Wartość średnia	0,00237	0,00409	0,00016	0,00000	0,00061	0,0000
550 ° C	Próbka nr 1	0,01979	0,27336	0,00123	0,00000	0,00072	0,0000
	Próbka nr 2	0,01979	0,26272	0,00103	0,00000	0,00054	0,0000
	Próbka nr 3						
	Wartość średnia	0,01979	0,26804	0,00113	0,00000	0,00063	0,0000
750 ° C	Próbka nr 1	0,04271	1,69092	0,00263	0,00003	0,01121	0,0000
	Próbka nr 2	0,05000	1,75231	0,00230	0,00002	0,01401	0,0000
	Próbka nr 3						
	Wartość średnia	0,04635	1,72161	0,00247	0,00002	0,01261	0,0000

Tabela 7. Emisja produktów rozkładu i spalania siedzisk stadionowych polipropylenowych

Temperatura rozkładu		Emisja właściwa produktów rozkładu i spalania					
		CO	CO ₂	HCN	NO ₂	HCl	SO ₂
		[g/g]	[g/g]	[g/g]	[g/g]	[g/g]	[g/g]
450 ° C	Próbka nr 1	0,072	0,005	0,0001	0,0000	0,0004	0,0000
	Próbka nr 2	0,075	0,019	0,0001	0,0000	0,0004	0,0000
	Próbka nr 3	-	-	-	-	-	-
	Wartość średnia	0,074	0,012	0,0001	0,0000	0,0004	0,0000
550 ° C	Próbka nr 1	0,254	2,436	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
	Próbka nr 2	0,272	3,049	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
	Próbka nr 3	-	-	-	-	-	-
	Wartość średnia	0,263	2,742	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
750 ° C	Próbka nr 1	0,695	2,328	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000
	Próbka nr 2	0,559	2,681	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000
	Próbka nr 3	-	-	-	-	-	-
	Wartość średnia	0,627	2,504	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000

Do ważniejszych toksycznych produktów rozkładu termicznego i spalania siedzisk należą **tlenek węgla i cyjanowodór**. W oparciu o wyniki badań masowej szybkości spalania i emisji masowej określono masową intensywność emisji:

- tlenku węgla - (4 ÷ 75) g/min, co może spowodować przekroczenie dawki śmiertelnej w objętości 50 m³ w ciągu jednej minuty,
- cyjanowodoru (0,25 ÷ 4) g/min, co może spowodować przekroczenie dawki śmiertelnej w objętości 70 m³ w ciągu jednej minuty.

5. BADANIE CECH POŻAROWYCH SYSTEMÓW SZTUCZNEJ TRAWY

Często, ze względów praktycznych naturalne trawiaste powierzchnie stadionów zastępuje się nawierzchniami z tworzyw sztucznych – „sztucznej trawy”. Podstawowymi składnikami systemu sztucznej trawy w kolejności układania są:

- podkład elastyczny grubości 10 mm,
- nawierzchnia zielona o gładkim lub skręconym włóknie o długości włosa 60 mm (trawa),
- wypełniacz mineralny - zaokrąglony piasek kwarcowy (grubość warstwy 15 mm),
- zielony granulit (grubość warstwy 25 mm).

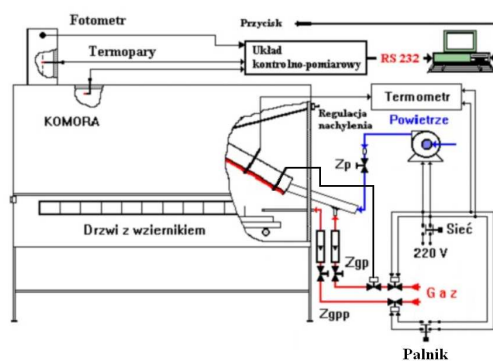
Odpowiednie czesanie w procesie układania pozwala „wyciągnąć” na powierzchnię końcówki włókien i utworzyć powierzchnię imitującą trawę.

Z punktu widzenia bezpieczeństwa pożarowego stadionów nawierzchnie sztucznej trawy powinny być odporne na zapalenie od maksymalnych potencjalnych źródeł podpalania mogących wystąpić w czasie imprez sportowych. Potencjalne źródło podpalania stanowić może petarda lub raca (Zalecenie FIFA¹¹ punkt 4.4. - Artificial turf playing fields. VII Safety and artificial turf pitches.), w czasie spalania których temperatura może osiągnąć wartość ok. 2000 °C.

Naszym zdaniem wymagania stawiane metodom do oceny odporności na działanie zewnętrznych źródeł podpalania systemów sztucznej trawy spełnia metoda stosowana do badania palności powierzchniowej posadzek wg PN-EN ISO 9239-1¹². Norma PN-EN ISO 9239-1 nie podaje klasyfikacji posadzek podłogowych z punktu widzenia stwarzanego przez nie zagrożenia pożarowego dla obiektów lądowych. Proponuje się stosowanie klasyfikacji wg PN-EN 13501-1¹³. System sztucznej trawy powinien mieć klasę co najmniej C_{fl-s1} określoną tylko na podstawie badań metodą PN-EN ISO 9239-1.

5.1. Metoda badań stopnia palności powierzchniowej materiałów metodą wg PN-EN-ISO 9239-1 i procedury badawczej PB/ZTZO/1

Badanie polega na poddaniu próbki ułożonej poziomo na podkładzie z niepalnej płyty włóknisto-cementowej (rys. 17) działaniu zewnętrznego strumienia cieplnego (od 10,9 kW/m² do 1,1 kW/m²) o znormalizowanym rozkładzie wytwarzanego przez gazowy promiennik płytowy oraz płomienia inicjującego spalanie. Płomień rozprzestrzenia się wzdłuż próbki w kierunku zgodnym z malejącą gęstością strumienia cieplnego, do chwili samoistnego zgaśnięcia.



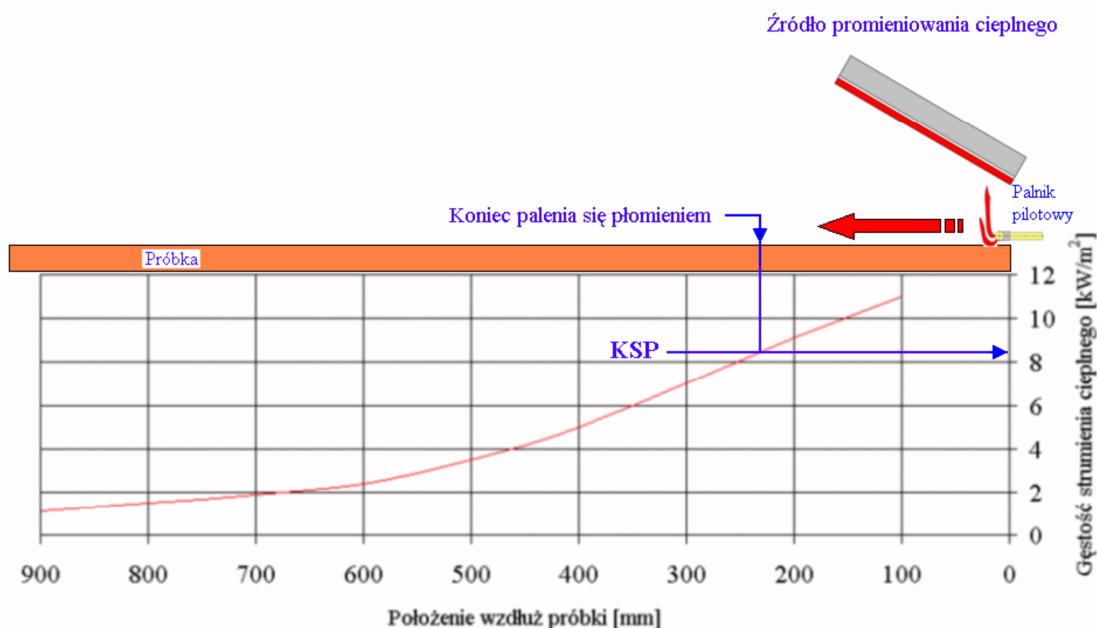
Rys. 17. Stanowisko do badania stopnia palności powierzchniowej materiałów metodą wg PN-EN ISO 9239-1

¹¹ FIFA – „Football Stadiums. Technical Recommendations and Requirements” Edition IV, 2007

¹² PN-EN ISO 9239-1:2004. Badanie reakcji na ogień posadzek – Część 1: Określenie właściwości ogniowych metodą płyty promieniującej.

¹³ PN-EN 13501-1:2005: Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych I elementów budynków. Część 1. Klasyfikacja na podstawie badań reakcji na ogień.

Badanie stopnia palności powierzchniowej posadzek metodą wg PN-EN ISO 9239-1 obejmuje wyznaczenie krytycznego strumienia ciepła - KSP i dymotwórczości materiału. Zasadę pomiaru **KSP** przedstawiono graficznie na rysunku 18.



Rys. 18. Zasada pomiaru krytycznego strumienia promieniowania ciepłego

Badania dymotwórczości materiałów przeprowadza się równoległe z badaniem stopnia palności posadzek podłogowych. Fotometr mierzy transmitancję światła T_r przechodzącego przez warstwę produktów rozkładu termicznego i spalania materiału przepływających przez komin.

Za wielkość charakteryzującą właściwości dymotwórcze badanego materiału przyjmuje się:

- maksymalną wartość stopnia osłabienia strumienia światła przez warstwę przepływającego przez komin dymu:

$$S = 100 - T_r \quad \%$$

- całkowite osłabienie strumienia światła w czasie trwania badania:

$$S_c = \int_0^{t_k} S \cdot dt \quad \% \cdot s$$

Dodatkowo wyznacza się (*procedura badawcza PB/ZTZO/1*):

- ciepło podtrzymujące płomieniowe spalanie materiału:

$$Q_{sb} = \frac{\sum_{i=1}^n I(l_i) \cdot t_i}{n}$$

gdzie:

- Q_{sb} - ciepło podtrzymujące płomieniowe spalanie materiału, $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$,
- $I(l_i)$ - natężenie napromienienia ciepłego powierzchni próbki dla i -tej strefy, $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$,
- $l_i = 100 - i$ - zasięg płomienia dla i -tej strefy, m,
- $i = 1, 2, \dots, n$ - numery stref, przez które przeszedł płomień, -,
- t_i - czas, po upływie którego czoło płomienia osiągnie i -tą strefę, s,



$n \leq 6$ - ostatnia strefa brana do obliczeń ciepła podtrzymującego płomieniowe spalanie materiału.

- maksymalną intensywność wydzielania ciepła:

$$\dot{q} = \beta(T) \cdot (T_m - T_o)$$

gdzie: \dot{q} - intensywność wydzielania ciepła, kW

$\beta(T)$ - równoważnik cieplny przewodu kominowego stanowiska wyznaczany doświadczalnie w czasie jego kalibracji, $\text{kW} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$,

T_m - maksymalna temperatura gazów w przewodzie kominowym, K,

T_o - temperatura początkowa gazów w przewodzie kominowym, K.

- ciepło wyzwolone przez próbkę:

$$Q_t = \int_0^{t_k} \beta(T) \cdot (T - T_o) \cdot dt$$

gdzie: t_k - czas trwania pomiaru,

$T - T_o$ - przyrost temperatury gazów w przewodzie kominowym stanowiska, K.

5.2. Wyniki badań stopnia palności powierzchniowej systemów sztucznej trawy

Wyniki końcowe badań stopnia palności powierzchniowej systemów sztucznej trawy przedstawiono w tabeli 8 i na rysunku 19.

Tabela 8. Wyniki badań systemów sztucznej trawy

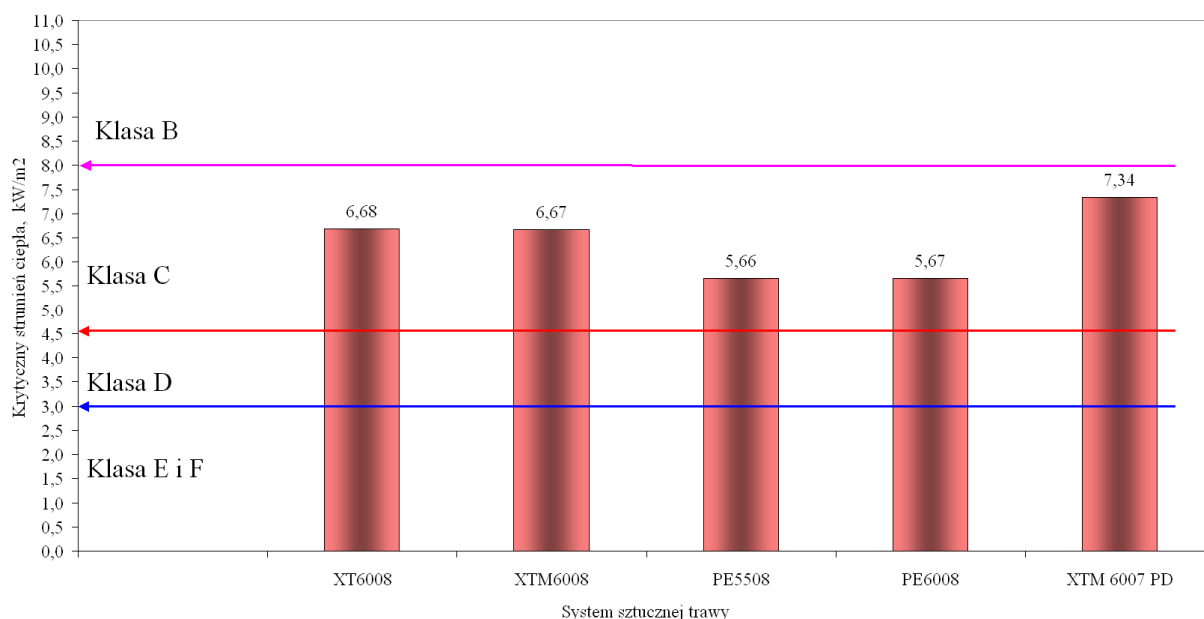
Wielkość mierzona	Jednostka	Systemu sztucznej trawy typu				
		XT6008	XTM6008	PE5508	PE6008	XTM 6007 PD
Krytyczny strumień promieniowania cieplnego - KSP	kW/m^2	6,68	6,67	5,66	5,67	7,34
Ciepło podtrzymujące płomieniowe spalanie - Qsb	MJ/m^2	4,329	3,956	6,076	6,199	3,455
Maksymalna intensywność wydzielania ciepła - q_p	kW	7,13	5,16	4,03	4,07	5,40
Ciepło wydzielone przez próbkę - Q_t	MJ	6,383	4,930	4,162	4,194	4,920
Maksymalne osłabienie strumienia światła - S	%	17,21	8,90	5,41	4,59	11,44
Całkowite osłabienie strumienia światła - Sc	% · min	105,82	43,05	17,76	31,18	64,03
Zasięg płomienia F_s wg PN-EN ISO 11925-2	mm	-	-	-	-	-

1. Europejska klasyfikacja reakcji na ogień wg PN-EN 13501-1: klasa $C_{fl} - s1$

2. Niemiecka klasyfikacja reakcji na ogień wg DIN 4102 cz. 1: klasa B1

3. Ocena przydatności materiału: system sztucznej trawy są **trudno zapalne**

Zaawansowane są prace nad zwiększeniem odporności na działanie zewnętrznych źródeł podpalania. Badania zmodyfikowanych komponentów sztucznej trawy polskiej produkcji wskazują na możliwość uzyskania klasy $B_{fl}-s1$ ($KSP > 8 \text{ kW}/\text{m}^2$).



Rys. 19. Krytyczny strumień promieniowania ciepłego

6. WNIOSKI

- W polskim ustawodawstwie brak jest **szczegółowych zasad w zakresie bezpieczeństwa pożarowego budowli sportowych – stadionów**, w tym kryteriów oceny siedzisk z twardych tworzyw sztucznych oraz traw i bieżni z tworzyw sztucznych z punktu widzenia stwarzanego przez nie zagrożenia pożarowego. Wymagania określono dla budynków (*Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki - Dz. U. Nr 109, poz. 1156, 2004 r. z późniejszymi zmianami*). Prawo Budowlane (*jednolity tekst ustawy - Dz. U. Nr 207 poz.2016 z 2003 roku z późniejszymi zmianami*) jednoznacznie definiuje lądowe obiekty techniczne.
- W praktyce, ze względu na brak jednoznacznych wymagań, do oceny zapalności siedzisk stadionowych z twardych tworzyw sztucznych stosuje się metody wg PN-EN 1021-1 i PN-EN 1021-2 przeznaczone do badań **zapalności zestawów tapicerskich**, przy pomocy których określa się ich podatność na zapalenie od tłącego się papierosa i od płomienia palnika gazowego równoważnego płomieniowi zapalaki w czasie 15-to sekundowej powierzchniowej ekspozycji.
- Stadion przeznaczony dla imprez międzynarodowych, podobnie jak statek morski, musi spełniać również międzynarodowe wymagania bezpieczeństwa. W związku z tym część polskich wymagań techniczno-eksploatacyjnych stadionu (np. rozmieszczenie siedzisk, dróg ewakuacyjnych, niektórych procesów organizacyjno-eksploatacyjnych, itd.) jest zastąpiona międzynarodowymi wymaganiami w tym zakresie po ich akceptacji przez Właściwą Administrację Polski. Jest to zgodne z Ustawą o ochronie przeciwpożarowej (*Dz. U. nr 147 poz. 1229 z 2002 r.*). Takie podejście do rozwiązywania problemów bezpieczeństwa w skali międzynarodowej zwiększa naszą pozycję w świecie.
- Wymagania dla siedzisk określa zalecenie FIFA „**Football Stadiums. Technical Recommendations and Requirements**” (wydanie IV, 2007, punkt 6.1.). Siedzenia



- powinny być niełamliwe, **ognioodporne** (fireproof) i odporne na działanie dominującego klimatu bez nadmiernego pogorszenia lub utraty koloru. Z bardzo wielką starannością (troską) należy podejść do wyboru typu siedzeń, które zamierza się zainstalować. Będąc świadomym różnic w standardach budowlanych i bezpieczeństwa w poszczególnych krajach zaleca się (punkt 2.3. wymagań FIFA), aby przyjąć jako zasadę stosownie **najostrzejszych kryteriów bezpieczeństwa**.
5. Pod pojęciem **ognioodporny** należy rozumieć odporność na zapalenie od maksymalnych potencjalnych źródeł podpalania mogących wystąpić w czasie imprez sportowych. Dotyczy to również dopuszczonych do stosowania sztucznych nawierzchni sportowych.
 6. Z analizy wymagań przepisów w zakresie ochrony przeciwpożarowych stadionów przeznaczony dla imprez międzynarodowych wynika, że siedziska na stadionach i sztuczne nawierzchnie sportowe powinny być co **najmniej odporne na zapalenie od maksymalnych potencjalnych źródeł podpalania mogących wystąpić w czasie imprez sportowych**. Potencjalne źródło podpalania stanowić może płomień zapalniczki, podpalona gazeta, petarda lub raca, w czasie spalania tych ostatnich temperatura może osiągnąć wartość ok. 2000 °C (punkt 4.4. wymagań FIFA).
 7. **Tych warunków nie spełniają stosowane w praktyce badania odporności na zapalenie się od żarzącego się papierosa i płomienia zapalki siedzisk stadionowych z twardych tworzyw sztucznych metodami wg PN-EN 1021-1 i PN-EN 1021-2.**
 8. Spełnienie wymagań norm PN-EN 1021-1 i PN-EN 1021-2 oznacza, że odporność pożarowa siedzisk na oddziaływanie płomienia palnika gazowego o mocy cieplnej równoważnej płomieniowi palącej się zapalki **wynosi tylko 15 s**.
 9. Syntetyczne materiały polimerowe z nielicznymi wyjątkami nie ulegają reakcjom powierzchniowym, lecz spalają się wyłącznie w drodze pirolizy. W obecności małych źródeł podpalania materiały syntetyczne zachowują się często jak materiały trudno zapalne lub nawet niezapalne. W związku z tym do zapoczątkowania procesu spalania nie wystarcza tłący papieros lub powierzchniowe oddziaływanie płomienia zapalki przez 15 s. Wystarczy płomień zapalniczki gazowej (*patrz wyniki w pełnej skali przy użyciu znormalizowanego płomienia wg PN-EN ISO 11925-2:2004*), aby takie materiały zapalały się. Po zapaleniu spalają się gwałtownie wydzielając bardzo duże ilości ciepła, dymu i toksycznych substancji. Potwierdzają to również badania porównawcze siedziska stadionowego z drewnem sosnowym (rys. 8) wykonane metodą wg PN-B-02874 oraz intensywności wydzielania ciepła metodą wg ISO 5660-1 i ciepła spalania metodą wg PN-EN ISO 1716.
 10. **Wyniki badań cech pożarowych, spełniających wymagania norm PN-EN 1021-1 i PN-EN 1021-2, różnych siedzisk (polipropylenowych, poliamidowych, kompozytowych) wykazały, że siedziska te stwarzają poważne pożarowe zagrożenie termiczne, dymowe i toksyczne dla obiektów technicznych, w których zostały zastosowane.**
 11. Intensywność wydzielania ciepła w czasie badań siedziska z polipropylenu jest ok. 23 razy większa od intensywności wydzielania ciepła przez łatwo zapalne drewno sosnowe. Badania intensywności wydzielania ciepła metodą wg ISO 5660-1 wykazały, że objęty pożarem 1 m² siedzisk stadionowych może osiągnąć moc ok. 0,8 MW.





Ciekłe warstwy powierzchniowe stanowią też dodatkowe niebezpieczeństwo dla ludzi narażonych na kontakt z nimi. Stopiony, gorący materiał przykleja się do ciała ofiary wydłużając czas oddziaływania wysokich temperatur na tkanki ciała ludzkiego. Tworzywa sztuczne w stanie ciekłym są źródłem głębokich poparzeń.

12. Do ważniejszych właściwości materiału, decydujących o pożarowym zagrożeniu związanym z jego zastosowaniem w obiektach technicznych należą:
- odporność na działanie zewnętrznych źródeł podpalania określona przez krytyczny strumień ciepła – KSP i ciepło podtrzymujące płomieniowe spalanie – Qsb,
 - intensywność wydzielania ciepła, która decyduje o dynamice rozprzestrzeniania się płomienia po powierzchni materiału oraz emisji dymu i toksycznych produktów jego spalania,
 - potencjał cieplny materiału,
 - toksyczność produktów rozkładu termicznego i spalania materiału,
 - dymotwórczość materiałów.

Dobierając dla zastosowanych w obiekcie technicznym materiałów odpowiednie wartości progowe ich intensywności wydzielania ciepła i odporności na zapalenie od danych źródeł podpalania możemy spowolnić rozwój pożaru w fazie przedrozgorzeniowej wydłużając tym samym czas dyspozycyjny do poziomu umożliwiającego bezpieczną ewakuację ludzi z obszaru objętego pożarem i skuteczne gaszenie pożaru.

13. Do wyznaczenia wyżej wymienionych parametrów można wykorzystać stosowane w praktyce znormalizowane międzynarodowe metody: PN-EN ISO 11925-2, PN-EN ISO 1716, ISO 5658-2, ISO 5659-2, ISO 5660-1, PN-EN ISO 9239-1, Kodeks FTP, prEN 45545-2.
14. Wymagania stawiane metodom do oceny odporności na działanie zewnętrznych źródeł podpalania siedzisk stadionowych z twardych tworzyw sztucznych spełniają metody wg PN-EN ISO 9239-1 i ISO 5658-2. Dodatkowo można wykonać badania zapalności metodą wg PN-EN ISO 11925-2.
15. Siedziska stadionowe powinny posiadać co najmniej klasę C wg europejskiej klasyfikacji reakcji na ogień (PN-EN 13501-1).
16. Wymagania stawiane metodom do oceny odporności na działanie zewnętrznych źródeł podpalania systemów sztucznej trawy spełnia metoda stosowana do badania palności powierzchniowej posadzek wg PN-EN ISO 9239-1. Norma PN-EN ISO 9239-1 nie podaje klasyfikacji posadzek podłogowych z punktu widzenia stwarzanego przez nie zagrożenia pożarowego dla obiektów lądowych. Proponuje się stosowanie klasyfikacji wg PN-EN 13501-1. System sztucznej trawy powinien mieć klasę co najmniej C_{fl-s1} określoną tylko na podstawie badań metodą PN-EN ISO 9239-1. Przebadane systemy sztucznej trawy spełniają te wymagania.
17. Taka metoda oceny odporności na działanie zewnętrznych źródeł podpalania systemów sztucznej trawy została zaakceptowana przez odbiorców zagranicznych.
18. Badania zmodyfikowanych komponentów sztucznej trawy polskiej produkcji wskazują na możliwość uzyskania klasy B_{fl-s1} (KSP > 8 kW/m²).

Badania wykonał:

dr inż. Krzysztof Sychta

st. technik Helena Iwaszczyńska

st. technik Krysina Olender