

MGR INŻ. DOMINIK KREFT

# PROJEKTOWANIE DRZWI PRZECIWPÓŻAROWYCH – PROPOZYCJA METODY

Steel fire doors design method ABSTRAKT » S. 48

Każde bierne zabezpieczenie przeciwpożarowe, aby zostać dopuszczone do użytku, musi zostać poddane badaniu na odporność ogniową. Polskie normy PN-EN 1363 [1] oraz PN-EN 1634 [2] określają, w jaki sposób powinno być przeprowadzone badanie drzwi, aby uzyskać wymaganą klasę odporności ogniowej. Z racji wysokich kosztów warto przed przystąpieniem do badań przeprowadzić symulację przepływu ciepła przez skrzydło drzwiowe i ograniczyć prawdopodobieństwo uzyskania negatywnych wyników badań.

Obecnie takie kalkulacje wykonuje się zgodnie z normą PN-EN 10077-1 i -2 [3]. Na jej podstawie wyznacza się współczynnik przenikania ciepła, który może być pomocny przy projektowaniu drzwi. Jednak ilość ciepła przenikająca przez drzwi w stopniu znacznym przewyższa wartości wyliczone w oparciu o normę, dlatego też powstała potrzeba zaproponowania alternatywnej metody projektowania drzwi przeciwpożarowych.

## ZAŁOŻENIA

Aby badanie było uznane za ważne, po minimalnym wymaganym czasie wartość średniej arytmetycznej temperatur zarejestrowanych przez termopary główne nie może przekroczyć 140°C powyżej wartości temperatury otoczenia oraz żadna z wartości temperatur wskazywanych przez termopary dodatkowe nie może przekroczyć 180°C ponad wartość temperatury otoczenia. Do celów obliczeniowych skrzydło drzwiowe zostało uproszczone do płaskiej płyty wielowarstwowej. Czujniki temperatury główne przy założeniu idealnego wykonania skrzydła drzwiowego będą jedynie podlegały oddziaływaniu przenikania ciepła. Na czujniki temperatur dodatkowych poza przenikaniem ciepła będą wpływać oddziaływania cieplne, pochodzące ze szczeliny między skrzydłem a ościeżnicą, oraz ich zmiany wynikające z rozszerzalności cieplnej całych drzwi.

Na RYS. 1 przedstawiono prawidłowe rozmieszczenie termopar na jednoskrzydłowych drzwiach przeciwpożarowych według norm [1, 2].

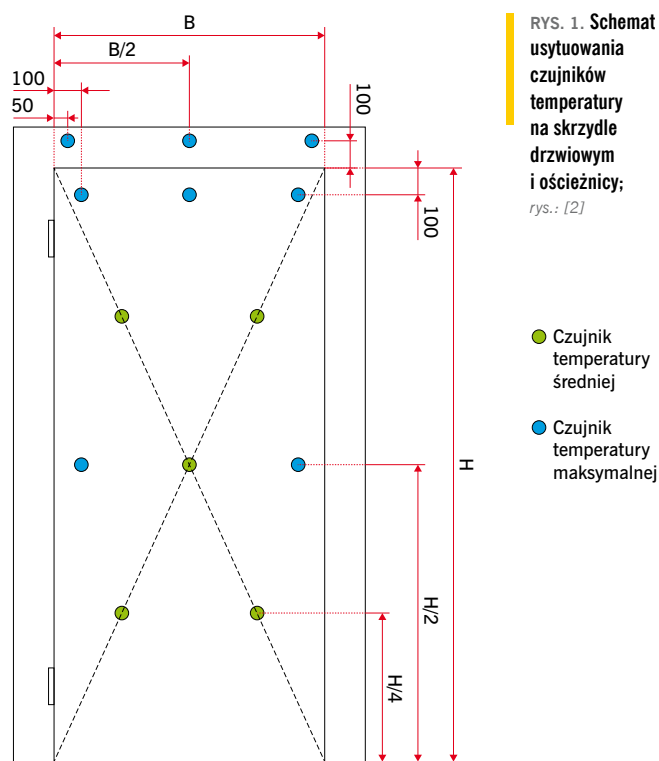
Zależność temperatury ( $t_h$ ) w piecu jako funkcja czasu ogrzewania ( $t$ ) została przedstawiona za pomocą wzoru (1) oraz na RYS. 2:

$$t_h = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20 \quad (1)$$

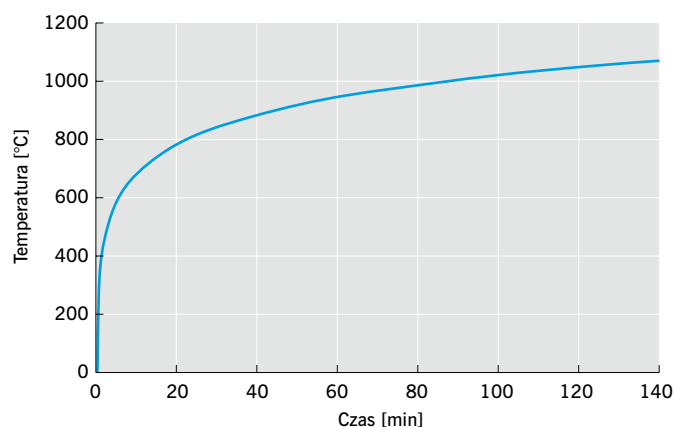
gdzie:

$t_h$  – średnia temperatura w piecu [°C],

$t$  – czas [min].



RYS. 1. Schemat usytuowania czujników temperatury na skrzydle drzwiowym i ościeżnicy; rys.: [2]



RYS. 2. Wykres obrazujący zależność temperatury od czasu podgrzewania  $t_h = f(t)$ ; rys.: autor

Przyjęte założenia były konieczne do opisu zjawiska przenoszenia ciepła, odwzorowującego rzeczywisty przebieg tego zjawiska w czasie pożaru.

## PRZENOSZENIE CIEPŁA PRZEZ NIESKOŃCZONĄ PŁASKĄ PŁYTĘ

Strumień ciepła wywołanego w czasie pożaru jest określony równaniem Pecleta (3). Ze względu na to, że temperatura pieca jest zmienna, fakt ten musi być uwzględniony w równaniu [4, 5]:

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} \quad (2)$$

Wobec tego korzystając z równania Pecleta, można napisać, że: (3)

$$\dot{Q} = A \frac{t_h - t_c}{\frac{1}{\alpha_h} + \sum_i \left( \frac{\delta}{\lambda} \right)_i + \frac{1}{\alpha_c}} \quad (3)$$

gdzie:

$A$  – pole powierzchni skrzydła drzwiowego [m<sup>2</sup>]

$t_c$  – temperatura otoczenia [°C],

$\frac{1}{\alpha_h} + \sum_i \left( \frac{\delta}{\lambda} \right)_i + \frac{1}{\alpha_c}$  – współczynnik przenikania ciepła [W/(m<sup>2</sup>·K)]

Po podstawieniu w równaniu (3) za temperaturę w piecu ( $t_h$ ) prawą stronę formuły (1) otrzymuje się funkcję określającą zależność strumienia przenikającego przez ściankę wielowarstwową od czasu [4]:

$$\dot{Q}(t) = A \frac{345 \log_{10}(8t+1) + 20 - t_c}{\frac{1}{\alpha_h} + \sum_i \left( \frac{\delta}{\lambda} \right)_i + \frac{1}{\alpha_c}} \quad (4)$$

Do wyznaczenia temperatury płaszcza drzwiowego po stronie nienagrzewanej niezbędna jest wielkość stanowiąca stosunek

oporu cieplnego materiału oraz spalin wewnątrz pieca do sumy wszystkich oporów cieplnych, podczas przenikania ciepła, wraz z oporem powietrza będącego na zewnątrz pieca (5). Jest to podobny wzór do zawartego w normie ISO 10077-1:20 [3] z tą różnicą, że nie jest uwzględniane przenikanie ciepła przez ościeżnicę, dlatego ponieważ powyższa norma określa współczynnik przenikania ciepła w warunkach normalnego użytkowania drzwi, nie zaś w trakcie pożaru. Ponadto w badaniu ogniowym przedmiotem zainteresowania jest temperatura w miejscach zainstalowania termopar, nie zaś całkowita średnia temperatura skrzydła drzwiowego i ościeżnicy [5].

$$t_{drzwi} = t_h - \frac{(t_h - t_c) \cdot \left( \frac{1}{\alpha_h} + \sum_j \left( \frac{\delta}{\lambda} \right)_j \right)}{\frac{1}{\alpha_h} + \sum_i \left( \frac{\delta}{\lambda} \right)_i + \frac{1}{\alpha_c}} \quad (5)$$

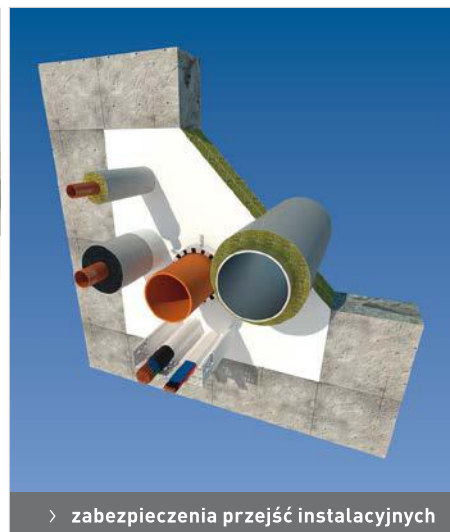
Równanie (5) może zostać użyte do obliczenia wartości temperatur wyznaczonych przez termopary główne. Obliczona wartość temperatur będzie zbliżona do warunków panujących w rzeczywistości. Należy również przyjąć poprawkę na niedoskonałość próbki i niedoskonałość badania, np. nierównomierną ilość kleju, uszkodzenie wełny mineralnej wewnątrz skrzydła drzwiowego, wpływ ciepła przewodzonego przez kasetę zamka, wpływ spalin wydostających się spod progu drzwiowego i omywającego drzwi od strony nienagrzewanej, nieprawidłowe przyklejenie termopar, wartość gradientu temperatury pieca odbiegającego od przyjętej normy itp.

Przedstawiona metoda obliczania strumienia ciepła przenikającego przez przegrodę umożliwia obliczenie wartości temperatury »

REKLAMA



Dostarczamy bezpieczeństwo



## Lider w zakresie zabezpieczeń ogniochronnych konstrukcji budowlanych

- > fachowe doradztwo
- > nowoczesne technologie
- > wieloletnie doświadczenie
- > gwarantowana jakość

» termopary w zależności od rodzaju wypełnienia przegrody ogniowej. Na RYS. 3 przedstawiono przykładowy przekrój drzwi z trzema warstwami wełny mineralnej (A), jedną warstwą płyty gipsowo-kartonowej (B) oraz warstwami kleju pomiędzy każdym z materiałów (C) [6]. W przypadku płaskiej płyty warstwowej kolejność warstw z punktu widzenia przewodzenia ciepła nie ma znaczenia [4].

### BADANIA STATYSTYCZNE

Przeprowadzając wnioskowanie dedukcyjne, w którym jako następstwo można przyjąć zaobserwowanie wyższej wartości temperatury, niż wynikałoby to z obliczeń uzyskanych w wyniku zastosowania podstawowych wzorów przenoszenia ciepła, można stwierdzić, że spowodowane jest to między innymi: wpływem przewodzenia ciepła przez blachę stalową w okolicach przyłgi oraz przepływu gorących spalin przez szczeliny między skrzydłem drzwiowym a ościeżnicą, spowodowane wydłużaniem cieplnym materiału i w efekcie jego ugięciem. Przykładowa szczelina, zabezpieczona uszczelnkami pęczniącymi wskutek wzrostu temperatury, umieszczona pomiędzy skrzydłem drzwiowym a ościeżnicą, została przedstawiona na RYS. 4.

Biorąc pod uwagę komplikację obliczenia strumienia ciepła w szczelinie między skrzydłem drzwiowym a ościeżnicą oraz dużą losowość odkształcenia się szczelin poprzez rozszerzalność termiczną drzwi, funkcja opisująca zjawisko przenikania ciepła wysoce się komplikuje. Do określenia wartości temperatur termopar dodatkowych zostało wykorzystane wnioskowanie statystyczne próbki, pochodzącej z populacji ogólnej (generalnej) w formie danych pochodzących z raportów badań ogniowych znajdujących się w archiwum firmy Assa Abloy Mercor Doors.

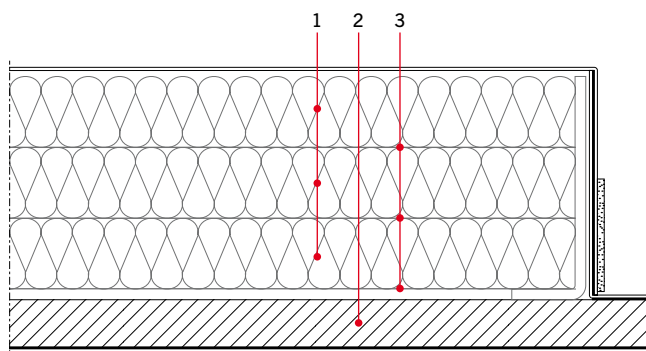
Na podstawie raportów dotyczących 2 modeli drzwi wybrano 9 analogicznych termopar: 3 termopary główne, 3 termopary dodatkowe na skrzydle drzwiowym oraz 3 termopary dodatkowe na ościeżnicy. Dla odpowiadających sobie termopar na różnych drzwiach, odczytano z wykresów i tabel wartości temperatur w punktach 2 kolejnych chwil czasu przenikania ciepła. Pierwsza z chwil tego czasu wraz z wartością temperatury, została odczytana dla miejsca, w którym funkcja zmienia swój przebieg tak, że zwiększa się  $t_{g\alpha}$  jej stycznej. Teoretyczna funkcja powinna mieć przebieg zbliżony do przebiegu na RYS. 2, w rzeczywistości jednak funkcje te, po określonym czasie badania zmieniają swój przebieg w sposób widoczny na RYS. 5 [7]. Drugi odczyt danych dotyczył czasu zakończenia badania, któremu odpowiadała maksymalna temperatura.

Po sporządzeniu tabeli ze wszystkimi danymi, z powodu widocznych różnic wartości, przyjęto do testowania hipotezę statystyczną  $H_0$  brzmiącą „miejsce usytuowania termopary nie ma znaczenia” oraz hipotezę alternatywną  $H_a$  brzmiącą „miejsce usytuowania termopary ma znaczenie”. Po wykonaniu testu hipotezy statystycznej za pomocą statystyki Fishera dla poziomu istotności  $\alpha = 0,01$  odrzucono hipotezę  $H_0$ , a więc nie było przeciwwskazań do przyjęcia hipotezy alternatywnej  $H_a$  [8].

W celu sprawdzenia rozkładów prawdopodobieństwa temperatur oraz przedziałów czasów badań sporządzono TABELĘ 1-4.

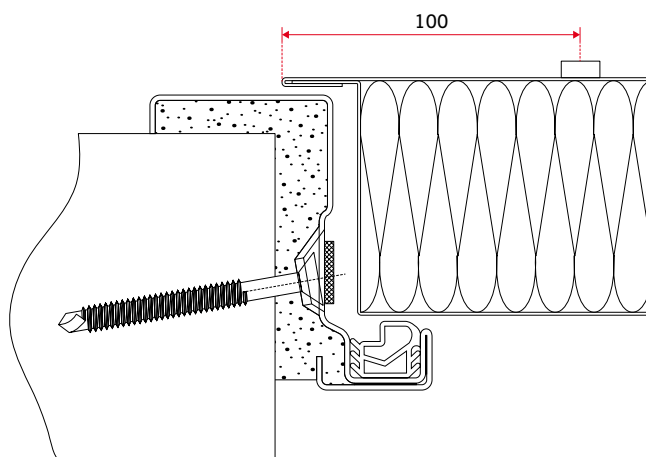
Na podstawie danych utworzono 24 histogramy oraz nanie­siono na nie odpowiadające im teoretyczne rozkłady prawdopodobieństw:

- » czasu punktu przegięcia oraz punktu końcowego czujników temperatury średniej drzwi EI30 oraz EI60,
- » temperatur punktu przegięcia oraz punktu końcowego czujników temperatury średniej drzwi EI30 oraz EI60,



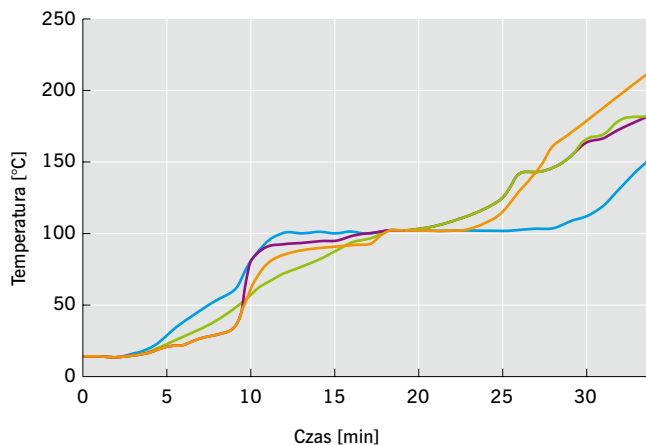
RYS. 3. Przekrój drzwi przeciwpożarowych; rys.: [7]

1 – wełna mineralna, 2 – płyta gipsowo-kartonowa, 3 – warstwa kleju



RYS. 4. Przekrój skrzydła drzwiowego i ościeżnicy drzwi przeciwpożarowych;

rys.: [7]



RYS. 5. Przebieg rzeczywistych wartości temperatur jako funkcja czasu; rys.: [7]

- » czasu punktu przegięcia oraz punktu końcowego czujników temperatury maksymalnej drzwi EI30 oraz EI60,
- » temperatur punktu przegięcia oraz punktu końcowego czujników temperatury maksymalnej drzwi EI30 oraz EI60,
- » czasu punktu przegięcia oraz punktu końcowego czujników temperatury ościeżnic drzwi EI30 oraz EI60,
- » temperatur punktu przegięcia oraz punktu końcowego czujników temperatury ościeżnic drzwi EI30 oraz EI60.

Sprawdzono rozkłady poszczególnych grup termopar w programie StatSoft Statistica. Za pomocą testu chi-kwadrat przyjęto, »

| Lokalizacja termopar            | Drzwi o odporności ogniowej |                  |            |                  |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------|------------|------------------|
|                                 | EI 30                       |                  | EI 60      |                  |
|                                 | Czas [min]                  | Temperatura [°C] | Czas [min] | Temperatura [°C] |
| Główne                          | 27,310                      | 78,024           | 50,944     | 81,333           |
| Dodatkowe na skrzydle drzwiowym | 29,813                      | 84,542           | 50,407     | 81,556           |
| Dodatkowe na ościeżnicy         | 19,083                      | 84,083           | 43,278     | 99,139           |

TABELA 1. Wartości średniej arytmetycznej dla punktu przełączenia funkcji przebiegu temperatury w czasie

| Lokalizacja termopar            | Drzwi o odporności ogniowej |                  |            |                  |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------|------------|------------------|
|                                 | EI 30                       |                  | EI 60      |                  |
|                                 | Czas [min]                  | Temperatura [°C] | Czas [min] | Temperatura [°C] |
| Główne                          | 38,208                      | 121,625          | 71,222     | 171,630          |
| Dodatkowe na skrzydle drzwiowym | 38,875                      | 136,958          | 71,222     | 148,667          |
| Dodatkowe na ościeżnicy         | 38,875                      | 178,792          | 71,222     | 169,370          |

TABELA 3. Wartości średniej arytmetycznej dla punktu końcowego funkcji przebiegu temperatury w czasie

| Lokalizacja termopar            | Drzwi o odporności ogniowej |                  |            |                  |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------|------------|------------------|
|                                 | EI 30                       |                  | EI 60      |                  |
|                                 | Czas [min]                  | Temperatura [°C] | Czas [min] | Temperatura [°C] |
| Główne                          | 7,804                       | 18,909           | 10,622     | 13,312           |
| Dodatkowe na skrzydle drzwiowym | 5,579                       | 13,849           | 12,565     | 13,428           |
| Dodatkowe na ościeżnicy         | 5,116                       | 15,068           | 15,518     | 28,137           |

TABELA 2. Wartości odchylenia standardowego dla punktu przełączenia funkcji przebiegu temperatury w czasie

| Lokalizacja termopar            | Drzwi o odporności ogniowej |                  |            |                  |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------|------------|------------------|
|                                 | EI 30                       |                  | EI 60      |                  |
|                                 | Czas [min]                  | Temperatura [°C] | Czas [min] | Temperatura [°C] |
| Główne                          | 10,813                      | 48,657           | 7,177      | 47,665           |
| Dodatkowe na skrzydle drzwiowym | 11,155                      | 52,526           | 7,177      | 39,999           |
| Dodatkowe na ościeżnicy         | 10,937                      | 49,170           | 7,177      | 82,315           |

TABELA 4. Wartości odchylenia standardowego dla punktu końcowego funkcji przebiegu temperatury w czasie

PROMOCJA

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



NEWSLETTER



E-BOOK



Dostęp do wartościowych i wiarygodnych treści w każdym miejscu i czasie, możliwość komentowania i współtworzenia informacji



KATALOG FIRM

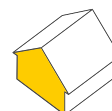
# IZOLACJE.com.pl

budownictwo przemysł ekologia



PRZEGLĄDARKA PRODUKTÓW

Przepisy, wydarzenia i nowości z branży budowlanej



» że są najbliższe rozkładowi normalnemu. Przykładowy rozkład normalny dla czasu punktu przegięcia termopary ościeżnicy w drzwiach EI30 przedstawiono na RYS. 6. Dla prostoty obliczeń przedstawiono rozkład w formie dyskretny, a jeden przedział klasowy jest równy jednej minucie. Dzięki histogramom możliwe jest odczytanie takiego prawdopodobieństwa, aby czas lub wartość temperatury znajdowała się powyżej lub poniżej zakładanego przez projektanta poziomu.

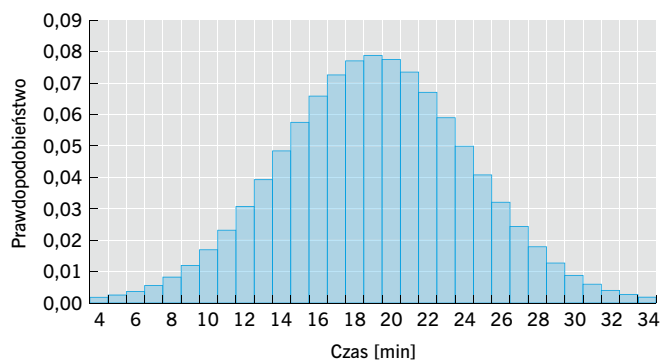
Na podstawie 24 histogramów opracowano 6 wykresów pomocniczych, do obliczania prawdopodobieństwa uzyskania określonych wyników badań. Jeden z nich przedstawiono na RYS. 7. Przekroczenie poziomej linii 140°C oznacza zakończenie badania, zaś minimalny wymagany czas dla drzwi o odporności ogniowej EI30, który należy uzyskać wynosi 36 minut, a więc należy do obszaru po prawej stronie pionowej linii. Wartości procentowe naniesione na prostokąty oznaczają wartość prawdopodobieństwa, że w danym polu będzie znajdował się punkt końcowy lub przegięcia. Pomarańczowym kolorem oznaczony jest odcinek pomiędzy średnią wartością arytmetyczną temperatury i czasu punktu przegięcia oraz punktu końcowego.

## WNIOSKI

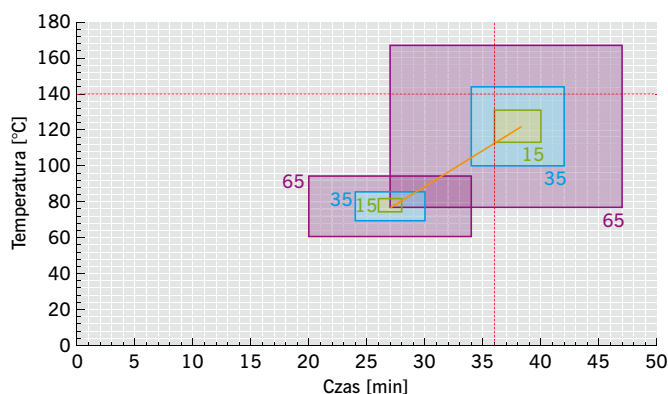
Zaproponowany schemat postępowania umożliwi przewidywanie wyników badań ogniowych drzwi przeciwpożarowych. Zgodnie z tą propozycją należy początkowo obliczyć temperaturę średnią na płaszczu skrzydła drzwiowego za pomocą równań Pecleta. Następnie należy sprawdzić termopary dodatkowe po opracowaniu danych statystycznych. W przypadku, gdy wypełnienie skrzydła drzwiowego uległo zmianie, należy obliczyć wartość temperatury i czas końcowy za pomocą równania przenikania ciepła dla płyty wielowarstwowej a następnie nanieść odpowiednie korekty (przesunąć odcinek funkcji przy zachowaniu współczynnika kierunkowego) na pomocniczym wykresie, przydatnym do obliczania prawdopodobieństwa uzyskania określonej temperatury na powierzchni drzwi. Warunkiem koniecznym jest zbliżona konstrukcja drzwi badanych do konstrukcji drzwi z bazy danych. Proponowany schemat postępowania może pomóc projektantowi zabezpieczeń przeciwpożarowych, pod warunkiem posiadania bazy danych własnego produktu. Należy przy tym pamiętać, iż w świetle przepisów prawa budowlanego, jedynie przeprowadzenie rzeczywistych badań ogniowych upoważnia do wprowadzenia produktu na rynek oraz zapewnia bezpieczne użytkowanie drzwi.

## LITERATURA

1. PN-EN 1363-1:2001, „Badania odporności ogniowej. Część 1: Wymagania ogólne”.
2. PN-EN 1634-1:2009, „Badania odporności ogniowej i dymoszczelności zestawów drzwiowych i żaluzjowych, otwieralnych okien i elementów okuć budowlanych. Część 1: Badania odporności ogniowej drzwi, żaluzji i otwieralnych okien”.
3. ES-ISO 10077-1:2012, „Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance. – Part 1: General”.
4. B. Staniszewski, „Wymiana ciepła, zadania i przykłady”, PWN, Warszawa 1965.



RYS. 6. Histogram obrazujący empiryczny rozkład czasu przenikania ciepła; rys.: autor



RYS. 7. Wykres do odczytywania prawdopodobieństwa uzyskania wyników badania ogniowego; rys.: autor

5. S. Wiśniewski, „Termodynamika techniczna”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999.
6. Krajowa Ocena Techniczna ITB-KOT-2017/0326, wydanie 1, Warszawa 2017.
7. Raporty z badań ogniowych z archiwum Assa Abloy Mercor Doors w latach 2004–2017.
8. D. Bobrowski, „Probabilistyka z zastosowaniami technicznymi”, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980.

## ABSTRAKT

W artykule opisano propozycję projektowania jednoskrzydłowych drzwi przeciwpożarowych w oparciu o normy PN-EN 1363 oraz PN-EN 1634. Wykorzystano podstawowe równania przenikania ciepła, wynikające z prawa Pecleta, dotyczące tego rodzaju przenoszenia ciepła. Zaprezentowano wyniki badań statystycznych zebranych na podstawie przeprowadzonych badań ogniowych w certyfikowanych laboratoriach.

The paper presents the method of design of single leaf fire resistant doors according to PN-EN 1363 and PN-EN 1634 standards. Basic heat transfer equations derived from the Peclet formula have been used. Statistical data resulting from fire resistance tests conducted by certified laboratories have been presented.

DOMINIK KREFT ukończył Politechnikę Gdańską. Pracuje jako asystent na wydziale Oceanotechniki i Okrętownictwa, gdzie zajmuje się projektowaniem siłowni okrętowych.