



P O L I T E C H N I K A Ś L Ą S K A
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA

PRACA DYPLOMOWA

Temat:

Projektowanie konstrukcji stalowych z uwagi na warunki pożarowe

Wykonujący pracę dyplomową

Bartosz Żydzik

imię i nazwisko

Konstrukcje Budowlane i Inżynierskie

specjalność

Budownictwo Miejskie i Przemysłowe

Profil

256311

numer albumu

Kierujący pracą dyplomową

Dr. inż. Bernard Kowolik

imię i nazwisko, tytuł/stopień naukowy

Ocena pracy:

Kat. arch. pracy:

Rok akademicki 2021/2022

Spis treści

1. WSTĘP	4
1.1. CEL PRACY	4
1.2. FORMAT PRACY	4
1.3. WYKORZYSTANE PROGRAMY	4
2. CZĘŚĆ TEORETYCZNA	5
2.1. WYMAGANIA PRAWNE	5
2.1.1. Podział ze względu na bezpieczeństwo pożarowe	5
2.1.2. Podział ze względu na odporność pożarową	6
2.1.3. Klasyfikacja materiałów	7
2.2. PROCEDURY PROJEKTOWE DOTYCZĄCE WARUNKÓW POŻAROWYCH.....	8
2.2.1. Metody projektowania	8
2.2.2. Krzywe pożarowe	9
2.2.3. Analiza temperatury	10
2.2.4. Kryteria oceny odporności ogniowej konstrukcji	11
3. CZĘŚĆ ANALITYCZNA	12
3.1. KONSTRUKCJA PRZYKŁADOWEJ HALI	12
3.1.1. Materiały użyte w konstrukcji.....	12
3.1.2. Pokrycie dachu.....	12
3.1.3. Obudowa ścian.....	12
3.1.4. Płatwie	12
3.1.5. Główny układ poprzeczny	12
3.1.6. Wiązar	13
3.1.7. Słupy	13
3.1.8. Stężenia połaciowe poprzeczne	13
3.1.9. Stężenia połaciowe podłużne	13
3.1.10. Stężenia pionowe wiązarów	13
3.1.11. Stężenia pionowe ścian podłużnych.....	13
3.2. CHARAKTERYSTYKA POŻAROWA.....	13
3.2.1. Klasa odporności pożarowej	13
3.2.2. Podział na strefy pożarowe	13
3.2.3. Klasa odporności ogniowej elementów budynku.....	14
3.3. ODDZIAŁYWANIA	14
3.3.1. Obciążenia stałe – ciężar własny konstrukcji.....	14
3.3.2. Obciążenia stałe – pokrycie dachowe	14
3.3.3. Obciążenia stałe – obudowa ścian.....	14
3.3.4. Obciążenia zmienne – ciężar instalacji	14
3.3.5. Obciążenia zmienne – obciążenie śniegiem.....	14
3.3.6. Obciążenia zmienne – obciążenie wiatrem	15
3.3.7. Obciążenia zmienne – obciążenie temperaturą	15
OBCIĄŻENIA TERMICZNE DLA ZAPROJEKTOWANEGO OBIEKTU ZWIĄZANE Z JEGO FUNKCJĄ UŻYTKOWĄ ORAZ SEZONOWYMI ZMIANAMI TEMPERATURY ZOSTAŁY POMINIĘTE.	15
3.4. KOMBINACJE OBCIĄŻEŃ.....	16
3.4.1. Stan graniczny nośności.....	16
3.4.2. Stan graniczny użyteczności.....	17
3.4.3. Kombinacje oddziaływań w przypadku pożaru	17
3.5. WYMIAROWANIE ELEMENTÓW KONSTRUKCJI	18
3.5.1. Charakterystyka materiałów w modelu przestrzennym	18
3.5.2. Weryfikacja stanów granicznych nośności i stanów granicznych użyteczności.....	19
3.5.3. Weryfikacja konstrukcji w warunkach pożarowych	26
3.5.4. Weryfikacja konstrukcji w warunkach pożarowych dla przekrojów zastępczych profili niespełniających wymagań	29

3.5.5. Weryfikacja konstrukcji w warunkach pożarowych z zastosowaniem biernej ochrony przeciwpożarowej	31
4. WNIOSKI	37
4.1. PRZEDSTAWIENIE GRAFICZNE PRZEPROWADZONEJ ANALIZY KONSTRUKCJI	37
4.1.1. Wyniki analizy stanów granicznych nośności dla poszczególnych przekrojów	37
4.1.2. Wyniki analizy stanów granicznych użyteczności dla poszczególnych przekrojów	38
4.1.3. Wyniki analizy konstrukcji w warunkach pożarowych – maksymalne stopnie wykorzystania przekrojów pierwotnej konstrukcji	39
4.1.4. Wyniki analizy konstrukcji w warunkach pożarowych – porównanie pierwotnej konstrukcji wraz z przekrojami zastępczymi	40
4.1.5. Wyniki analizy konstrukcji w warunkach pożarowych – porównanie oryginalnej konstrukcji z konstrukcją zabezpieczoną biernymi środkami przeciwpożarowymi	42
4.2. WNIOSKI WYNIKAJĄCE Z ANALIZY KONSTRUKCJI	43
4.2.1. Wnioski generalne	43
4.2.2. Wnioski szczegółowe	43
5. BIBLIOGRAFIA.....	44
5.1. PUBLIKACJE	44
5.2. NORMY.....	44
5.3. AKTY PRAWNE	44
5.4. MATERIAŁY INFORMACYJNE	45

ZAŁĄCZNIKI

ZAŁĄCZNIK 1 – Katalog produktu mcr Tecwool F

1.WSTĘP

1.1. Cel pracy

Celem niniejszej pracy była analiza konstrukcji stalowej w warunkach pożarowych. Do odpowiedniej realizacji celu, wybrano przykładowy projekt jednokondygnacyjnej hali stalowej który poddano późniejszej analizie.

Analiza warunków pożarowych jest bardzo istotną częścią procesu projektowego – pomimo iż wstępnie analiza stanów granicznych nośności oraz użyteczności wydaje się poprawna, to właśnie ta kombinacja wyjątkowa może wykazać rezultaty, które zmuszają projektanta do zmiany pierwotnych założeń – to jego osoba odpowiada za bezpieczeństwo konstrukcji, również za jej nośność w czasie pożaru i możliwość ewakuacji użytkowników obiektu, co stanowią obowiązujące akty prawne.

1.2. Format pracy

Praca została zrealizowana w czterech rozdziałach, poświęconych odrębnym zagadnieniom z natury warunków pożarowych:

- Rozdział 1 - Część teoretyczna - przedstawia wymagania stawiane konstrukcjom pod kątem bezpieczeństwa pożarowego. W dalszej części poruszone zostały informacje o przyjętych rozwiązaniach konstrukcyjnych oraz materiałach w projekcie analizowanego obiektu.
- Rozdział 2 - Część analityczna - poświęcona jest analizie wybranej konstrukcji, począwszy od omówienia kombinacji wybranych w programie komputerowym, przez scharakteryzowanie modelu konstrukcji, kończąc na uzyskanych wynikach.
- Rozdział 3 – Wnioski – przedstawia wnioski zaobserwowane w procesie przeprowadzonej analizy obiektu,
- Rozdział 4 – Bibliografia.

1.3. Wykorzystane programy

Praca została opracowana dzięki użyciu poniższego oprogramowania:

- Microsoft Word,
- Microsoft Excel,
- Dlubal RSTAB 8.14 wraz z modułem dodatkowym Steel EC3.

2.CZĘŚĆ TEORETYCZNA

2.1. Wymagania prawne

Zgodnie z wymaganiami znajdującymi się w rozporządzeniu [11] konstrukcje powinny być zaprojektowane oraz wykonane w sposób który w razie pożaru zapewni:

- Nośność konstrukcji przez określony w rozporządzeniu czas,
- Ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia oraz dymu w budynku,
- Ograniczenie rozprzestrzeniania się pożaru na budynki sąsiednie,
- Możliwość ewakuacji ludzi.

W celu odpowiedniej realizacji tych wymagań już na etapie procesu projektowania konstrukcji, budynki oraz ich części, jak również materiały używane do ich konstrukcji zostały podzielone na określone klasy i kategorie.

2.1.1. Podział ze względu na bezpieczeństwo pożarowe

Ze względu na ich przeznaczenie oraz sposób użytkowania, budynki oraz ich części stanowiące odrębne strefy pożarowe można podzielić na określone jako:

- **ZL** – obejmuje budynki mieszkalne, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej, cechujące się kategorią zagrożenia ludzi. Wśród nich możemy wskazać bardziej szczegółową kategoryzację jako:
 - ZL I – zawierające pomieszczenia w których jednocześnie przebywać może ponad 50 osób które nie są ich stałymi użytkownikami, jak również nieprzeznaczone szczególnie do użytku ludzi o ograniczonych zdolnościach w poruszaniu się,
 - ZL II – przeznaczone szczególnie do użytku ludzi o ograniczonych zdolnościach w poruszaniu się,
 - ZL III – użyteczności publicznej, inne niż ZL I i ZL II,
 - ZL IV – mieszkalne,
 - ZL V – zamieszkania zbiorowego, niesklasyfikowane w ZL I i ZL II.
- **PM** – obejmująca budynki o przeznaczeniu produkcyjnym i magazynowym,
- **IN** – obejmująca budynki służące do hodowli inwentarza.

2.1.2. Podział ze względu na odporność pożarową

Budynki są również przyporządkowane odpowiedniej klasie, ustalonej wcześniej, oznaczonych literami „A-E” oraz podanych w kolejności od najwyższej do najniższej. Podział ten, skorelowany jest silnie z klasyfikacją ze względu na bezpieczeństwo pożarowe oraz ich podziałem na grupy wysokości – zostały one przedstawione w tabelach Tab.1, Tab.2, Tab. 3.

Tablica 2-1. Wymagane klasy odporności pożarowej dla budynku w kat. ZL, wg. [11]

Budynek	ZL I	ZL II	ZL III	ZL IV	ZL V
1	2	3	4	5	6
niski (N)	„B”	„B”	„C”	„D”	„C”
średniowysoki (SW)	„B”	„B”	„B”	„C”	„B”
wysoki (W)	„B”	„B”	„B”	„B”	„B”
wysokościowy (WW)	„A”	„A”	„A”	„B”	„A”

Gdzie, wg [11]:

- niskie (N) – oznacza budynek do 12m – włącznie nad poziomem terenu, lub mieszkalny do 4 kondygnacji nadziemnych,
- średniowysokie (SW) – ponad 12m, do 25m włącznie nad poziomem terenu, lub mieszkalne o wys. Ponad 4 do 9 kondygnacji nadziemnych włącznie,
- wysokie (W) – ponad 25m do 55m włącznie nad poziomem terenu, lub mieszkalne o wysokości ponad 9 do 18 kondygnacji nadziemnych włącznie.
- wysokościowe (WW) – powyżej 55m nad poziomem terenu.

Tablica 2-2. Wymagane klasy odporności pożarowej dla budynku w kat. PM, wg. [11]

Maksymalna gęstość obciążenia ogniowego strefy pożarowej w budynku Q [MJ/m ²]	Budynek o jednej kondygnacji nadziemnej (bez ograniczania wysokości)	Budynek wielokondygnacyjny			
		niski (N)	średniowysoki (SW)	wysoki (W)	wysokościowy (WW)
1	2	3	4	5	6
$Q \leq 500$	„E”	„D”	„C”	„B”	„B”
$500 < Q \leq 1000$	„D”	„D”	„C”	„B”	„B”
$1000 < Q \leq 2000$	„C”	„C”	„C”	„B”	„B”
$2000 < Q \leq 4000$	„B”	„B”	„B”	*	*
$Q > 4000$	„A”	„A”	„A”	*	*

Gdzie, wg [11]:

- * - Takie budynki nie mogą występować.

2.1.3. Klasyfikacja materiałów

Materiały, jako elementy z którego budynek jest wykonany również posiadają swoje odpowiednie kategorie. W celu zapewnienia określonej ognioodporności, która wg [1] wyrażana jest jako czas, w którym element obiektu budowlanego może wytrzymać działanie ognia, nie tracąc swojej określonej funkcji – materiały zostały podzielone według trzech kryteriów:

- R – kryterium nośności – wyraża w jakim stopniu element jest odporny na działanie ognia, bez utraty stateczności konstrukcyjnej. W celu analizy bezpieczeństwa konstrukcji w warunkach pożarowych należy zwracać uwagę na stan graniczny nośności ogniowej R – który informuje po jakim upływie czasu element przestaje spełniać swoją funkcję w konstrukcji.
- I – kryterium izolacyjności – informuje o stopniu w jakim materiał poddany działaniu ognia z jednej strony potrafi ogrzać wzrost temperatury powierzchni nieosłoniętych po jego przeciwnej stronie. Stan graniczny izolacyjności ogniowej I, odpowiada momentowi gdzie materiał przestaje pełnić swoją funkcję izolacyjną – jego nieogrzewana powierzchnia przekracza wartość temperatury granicznej.
- E – kryterium szczelności – obrazuje zdolność materiału do zapobiegania przenikania przez niego gorących gazów i ognia, a zarazem rozprzestrzeniania się pożaru na pomieszczenia przyległe. Stan graniczny szczelności ogniowej E informuje w którym momencie materiał przestaje spełniać funkcję oddzielającą wskutek pojawienia się na nim płomieni lub szczelin o o rozwarości lub długości przekraczających wartości graniczne.

Materiały klasyfikuje się względem ich odporności ogniowej $t_{f,d}$ mierzonej w minutach – od rozpoczęcia pożaru do momentu, w którym osiągnie on swój stan graniczny. W związku z tym przypisano je do klas: R15 (15 minut), R30 (30 minut), R 60 (60 minut) R120 (120 minut), lub R240 (240 minut).

Rozporządzenie [11] stanowi natomiast o konkretnym przydziale klasy odporności ogniowej elementów budynku w zależności od jego klasy odporności pożarowej.

Tablica 2-3. Klasa odporności ogniowej elementów budynku wg. [11]

Klasa odporności pożarowej budynku	Klasa odporności ogniowej elementów budynku					
	główna konstrukcja nośna	konstrukcja dachu	strop	ściana zewnętrzna	ściana wewnętrzna	przekrycie dachu
1	2	3	4	5	6	7
„A”	R 240	R 30	R E I 120	E I 120	E I 60	E 30
„B”	R 120	R 30	R E I 60	E I 60	E I 30	E 30
„C”	R 60	R 15	R E I 60	E I 30	E I 15	E 15
„D”	R 30	(-)	R E I 30	E I 30	(-)	(-)
„E”	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

2.2. Procedury projektowe dotyczące warunków pożarowych

2.2.1. Metody projektowania

Przystępując do projektowania konstrukcji, mając na uwadze wymagania postawione budynkom w ramach warunków pożarowych, projektant powinien może kierować się jedną z dwóch metod:

- Metodą tradycyjną
- Metodą zaawansowaną – opartą na właściwościach.

Gdy konstrukcja jest stosunkowo prosta, a wymagania przed nią postawione, są relatywnie łatwe do zapewnienia i zrealizowania – zarówno pod kątem projektowym, jak również wykonawczym – możliwe jest stosowanie metody tradycyjnej. Procedura ta opiera się na analizie oddziaływań termicznych, o określonej gęstości ciepła oddziałującego na konstrukcję – wymaga się zatem, aby uwzględnić sposób użytkowania pomieszczeń. W tym celu proponuje się określony środek ochrony przeciwpożarowej, który powinien zostać zaaplikowany w konstrukcji który zagwarantuje wyższą od wymaganą wartość jej ognioodporności. W przypadku tego rozwiązania to producent gwarantuje, że odpowiednio zastosowana izolacja będzie prowadziła do spełnienia wymogów przez budynek. Takie rozwiązanie nie jest jednak wiarygodne we wszystkich przypadkach, gdyż nie uwzględnia się odkształceń termicznych elementów, a koszt aplikacji zabezpieczenia jest wysoki.

Metoda zaawansowana została stworzona by umożliwić ocenę ognioodporności budynku, która ma na celu uniknięcie rozprzestrzenienia się pożaru i wykluczenie możliwości wystąpienia przedwczesnego zniszczenia projektowanej konstrukcji – projektuje się ją, aby jej stateczność została zachowana w warunkach pożarowych na tyle długo, by umożliwić ewakuację osób przebywających w budynku. W tej metodzie uwzględnia się oddziaływanie pożaru poprzez oszacowanie rzeczywistych obciążeń ogniowych, jak również rozwoju pożaru obliczonych o zdefiniowaną wcześniej funkcję budynku oraz sposób jego użytkowania. Szacuje się je w oparciu o 3 kroki obliczeniowe konstrukcji:

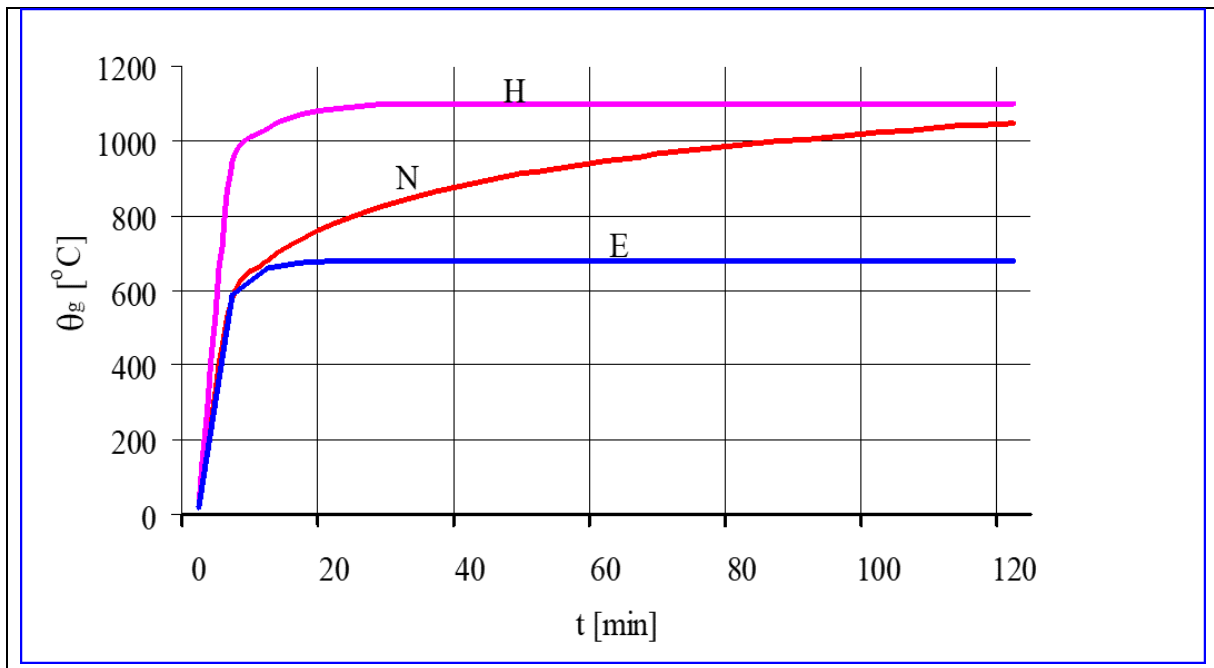
- Analizę pożaru – ustalenie modelu pożaru i oddziaływań termicznych,
- Analizę termiczną – ustalenie jak szybko konstrukcja jest ogrzewana i wyznaczenie temperatur elementów konstrukcji,
- Analizę konstrukcyjną – oblicza się mechaniczną odpowiedź elementów konstrukcji.

Na podstawie przeprowadzonych powyższych analiz determinuje się jedną z metod analizy:

- Analiza elementu w modelu 1D – każdy element zostaje wirtualnie „wyjęty” z konstrukcji oraz poddany analizie jako osobny z zastosowaniem odpowiednich warunków brzegowych,
- Analiza części konstrukcji w modelu 2D – „wyjęty” zostaje cały fragment konstrukcji który poddany jest dalszej ocenie, również z zastosowaniem odpowiednich warunków brzegowych.
- Globalna analiza konstrukcji w modelu 3D – ocenia się tutaj konstrukcję budynku jako całość.

2.2.2. Krzywe pożarowe

Istotnym elementem projektowania, jak wspomniane zostało w pkt. 2.2.1 jest analiza oddziaływań termicznych, a w szczególności określenie strumienia ciepła netto działającego na elementy konstrukcyjne. W tym celu, projektant posiłkować może się krzywymi pożarowymi, które pozwalają uzyskać temperaturę osiąganą przez gaz przy jego spalaniu. Wyróżniamy krzywe nominalne „temperatura-czas”, lub krzywe parametryczne „temperatura-czas”, pokazane zostały one na rysunkach Rys 2-1 oraz Rys 2-2..



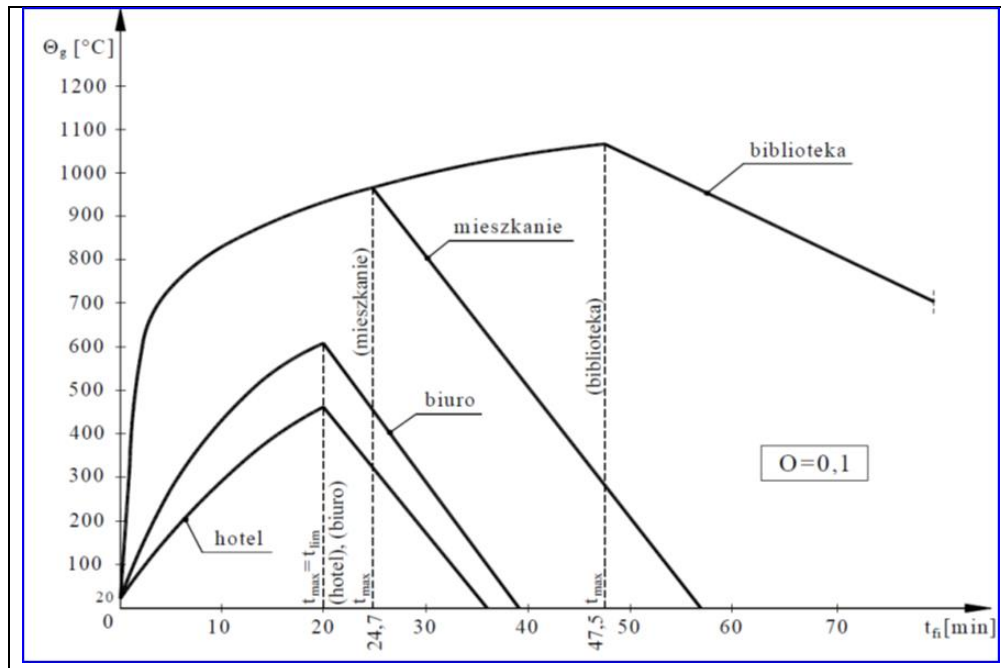
Rys. 2-1. Nominalne krzywe „temperatura-czas” wg [4].

Gdzie:

- H – krzywa węglowodorowa
- N – krzywa standardowa
- E – krzywa pożaru zewnętrznego

Wartość strumienia ciepła na podstawie krzywej nominalnej standardowej wg [4] można obliczyć używając wzoru 2-1

$$\theta_g = 345 \log(8 * t + 1) + 20 \quad (2-1)$$



Rys. 3-2. Krzywa parametryczna „temperatura-czas” wg [4].

Wartość strumienia ciepła na podstawie krzywej parametrycznej wg [4] można obliczyć używając wzoru 2-2

$$\theta_g = 20 + 1325(1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,204e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*}) \quad (2-2)$$

Gdzie:

- t^* - funkcja czasu, geometrii, wentylacji, obciążenia ogniowego

2.2.3. Analiza temperatury

Procedura, która wg [4] określa wzrost temperatury w pojedynczym elemencie, na podstawie wyznaczonych wcześniej oddziaływań termicznych opartych na krzywych pożarowych oraz biorąc pod uwagę termiczne właściwości materiałowe danych elementów i w razie zaaplikowania również ich powierzchni ochronnych nazywana jest analizą temperatury. Transport ciepła który występuje w konstrukcji stalowej oraz jej ewentualnej izolacji ogniochronnej w pomieszczeniu, w którym panują warunki pożarowe które zostaje przekazane z gorących gazów znajdujących się w nim, a opisać go można według równania Fouriera-Kirchoffa z zachowaniem odpowiednich warunków brzegowych (2-3)

$$\nabla^2\theta + \frac{1}{\lambda}q = \frac{\rho c_p}{\lambda} \frac{\delta\theta}{\delta t} \quad (2-3)$$

Gdzie:

- ρ – gęstość masy
- c_p – ciepło właściwe
- λ – współczynnik przewodności cieplnej
- q – gęstość strumienia cieplnego

2.2.4. Kryteria oceny odporności ogniowej konstrukcji

Projektant, mając na uwadze zapewnienie odpowiedniej odporności ogniowej dla projektowanej przez niego konstrukcji powinien zapewnić ją w trzech dziedzinach: czasu, nośności i temperatury, kierując się (2-4), (2-5), (2-5) wg [4].

Dziedzina czasu:

$$t_{fi,d} \geq t_{fi,requ} \quad (2-4)$$

Gdzie:

- $t_{fi,d}$ - obliczeniowa odporność ogniowa
- $t_{fi,requ}$ - wymagana odporność ogniowa

Dziedzina nośności:

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t} \quad (2-5)$$

Gdzie:

- $R_{fi,d,t}$ - obliczeniowa wartość nośności elementu w sytuacji pożarowej po czasie t
- $E_{fi,d,t}$ - obliczeniowa wartość efektu oddziaływań w sytuacji pożarowej po czasie t

Dziedzina temperatury:

$$\theta_d \geq \theta_{cr,d} \quad (2-6)$$

Gdzie:

- Θ_d - obliczeniowa wartość temperatury materiału
- $\Theta_{cr,d}$ - obliczeniowa wartość temperatury krytycznej

3. CZĘŚĆ ANALITYCZNA

3.1. Konstrukcja przykładowej hali

Przykładowa hala której elementy poddane zostały analizie z uwagi na warunki pożarowe jest konstrukcji stalowej, dwunawowa. Podstawową funkcją hali jest magazynowa. Została zaprojektowana w wymiarach 42,0m w kierunku poprzecznym oraz 60,0m w kierunku podłużnym. Stateczność w układzie poprzecznym zapewnia konstrukcja słupowo-kratowa, a w kierunku podłużnym pionowe stężenia ścienne. Konstrukcję dachu stężają stężenia połączeniowe. Dodatkowo, w celu skrócenia długości wybozeniowych pasów ściskanych zaprojektowano pionowe stężenia między wiązarami.

Kubatura hali wynosi 36 855 m³.

3.1.1. Materiały użyte w konstrukcji

Elementy konstrukcyjne budynku zostały zaprojektowane z wykorzystaniem stali gatunku S275 o granicy plastyczności $f_y = 275$ MPa.

3.1.2. Pokrycie dachu

Pokrycie dachu zostało zaprojektowane przy użyciu blachy trapezowej BTR o grubości 1,0mm, wraz z warstwami papy podkładowej i folii paroizolacyjnej w celu uszczelnienia oraz płyt z wełny mineralnej o gr. 10cm.

3.1.3. Obudowa ścian

Obudowę ścian zaprojektowano z wykorzystaniem płyt warstwowych PWS-W PRUSZYŃSKI, o grubości 10cm.

3.1.4. Płatwie

Płatwie zaprojektowano o przekroju IPE 240 o rozpiętości 6,0m.

3.1.5. Główny układ poprzeczny

Główny układ poprzeczny zaprojektowany jest jako konstrukcja słupowo-kratowa o rozpiętości 42,0m, a wysokości 16,75m i rozpiętości układów poprzecznych wynoszące 6,0m. Konstrukcja ramy opiera się na dwóch wiązarach stalowych oraz słupach stalowych.

3.1.6. Wiązar

Konstrukcja wiązara oparta jest o skratowanie typu V ze słupkami pionowymi, a składa się z pasa górnego i dolnego zorientowanych do siebie równolegle. Spadek zaprojektowano jako jednostronny o 20% nachyleniu. Przekroje przyjęte do konstrukcji wiązara:

- Pas górny: RRO 250x150x12,5
- Pas dolny: QRO 150x10
- Krzyżulce: QRO 150x10
- Słupki: QRO 80x6,3

3.1.7. Słupy

Konstrukcję słupów zaprojektowano o przekrój HE B 300 w wysokości 10,5m dla słupów skrajnych oraz 14,75m dla słupów między nawami. Słupy są połączone na sztywno z fundamentem.

3.1.8. Stężenia połączeniowe poprzeczne

Stężenia połączeniowe poprzeczne zostały zaprojektowane w polach przy wiązarach skrajnych oraz przy wiązarze środkowym, o przekroju RO 139.7x10,0.

3.1.9. Stężenia połączeniowe podłużne

Stężenia połączeniowe poprzeczne zostały zaprojektowane w polach zewnętrznych wzdłuż hali, o przekroju RO 139.7x10,0.

3.1.10. Stężenia pionowe wiązarów

Stężenia pionowe zaprojektowane zostały w połowie rozpiętości wiązarów, o przekroju RO 139.7x10,0.

3.1.11. Stężenia pionowe ścian podłużnych

Stężenia pionowe ścian podłużnych zostało zaprojektowane w polu środkowym, jako podwójne skratownie X, o przekroju RO 139.7x10,0.

3.2. Charakterystyka pożarowa

Hala została zaprojektowana z myślą o przeznaczeniu jako centrum szkoleniowe.

W obiekcie przewiduje się możliwą obecność różnych palnych materiałów wyposażenia biurowego – komputery, papier, tworzywa sztuczne, meble.

3.2.1. Klasa odporności pożarowej

Zgodnie z rozporządzeniem [11] kwalifikowana jest ona jako obiekt typu ZL I – budynek typu niski, w którym jednocześnie przebywać może ponad 50 osób nie będących jego stałymi użytkownikami, o klasie odporności pożarowej „B”.

3.2.2. Podział na strefy pożarowe

Projektowany obiekt jest uznawany za jedną strefę pożarową.

3.2.3. Klasa odporności ogniowej elementów budynku

Zgodnie z rozporządzeniem [11] przyjęto klasę odporności ogniowej elementów budowlanych jako:

- Główna konstrukcja nośna: R 120
- Konstrukcja dachu: R 30
- Strop: R E I 60
- Ściana zewnętrzna E I 60
- Ściana wewnętrzna: E I 30
- Przekrycie dachu: E 30

3.3. Oddziaływania

3.3.1. Obciążenia stałe – ciężar własny konstrukcji

Ciężar własny konstrukcji budynku został uwzględniony automatycznie przez program Dlubal RSTAB.

3.3.2. Obciążenia stałe – pokrycie dachowe

Pokrycie dachowe konstrukcji zostało zaprojektowane z blachy trapezowej BTR o grubości 10mm, wraz z warstwą folii paroizolacyjnej, papy oraz płyty z wełny mineralnej o grubości 100mm. Przyjęte obciążenie wynosi $g_{k,d} = 0,123 \text{ kN/m}^2$.

3.3.3. Obciążenia stałe – obudowa ścian

Obudowę ścian zaprojektowano przy użyciu płyt warstwowych PWS-W PRUSZYŃSKI, grubości 10cm mocowanych do rygli typu C140 w sposób bezpośredni. Ciężar płyt wynosi $g_{o,p} = 0,199 \text{ kN/m}^2$, a ciężar rygla $g_{o,r} = 0,16 \text{ kN/m}^2$

3.3.4. Obciążenia zmienne – ciężar instalacji

Obciążenie od ciężaru instalacji zostało przyjęte jako: $q_{k,inst} = 0,1 \text{ kN/m}^2$.

3.3.5. Obciążenia zmienne – obciążenie śniegiem

Obciążenie śniegiem zostało przyjęte zgodnie z [6] – obiekt znajdować będzie się w mieście Gliwice, w 2 strefie obciążenia śniegiem. Przyjęto współczynniki:

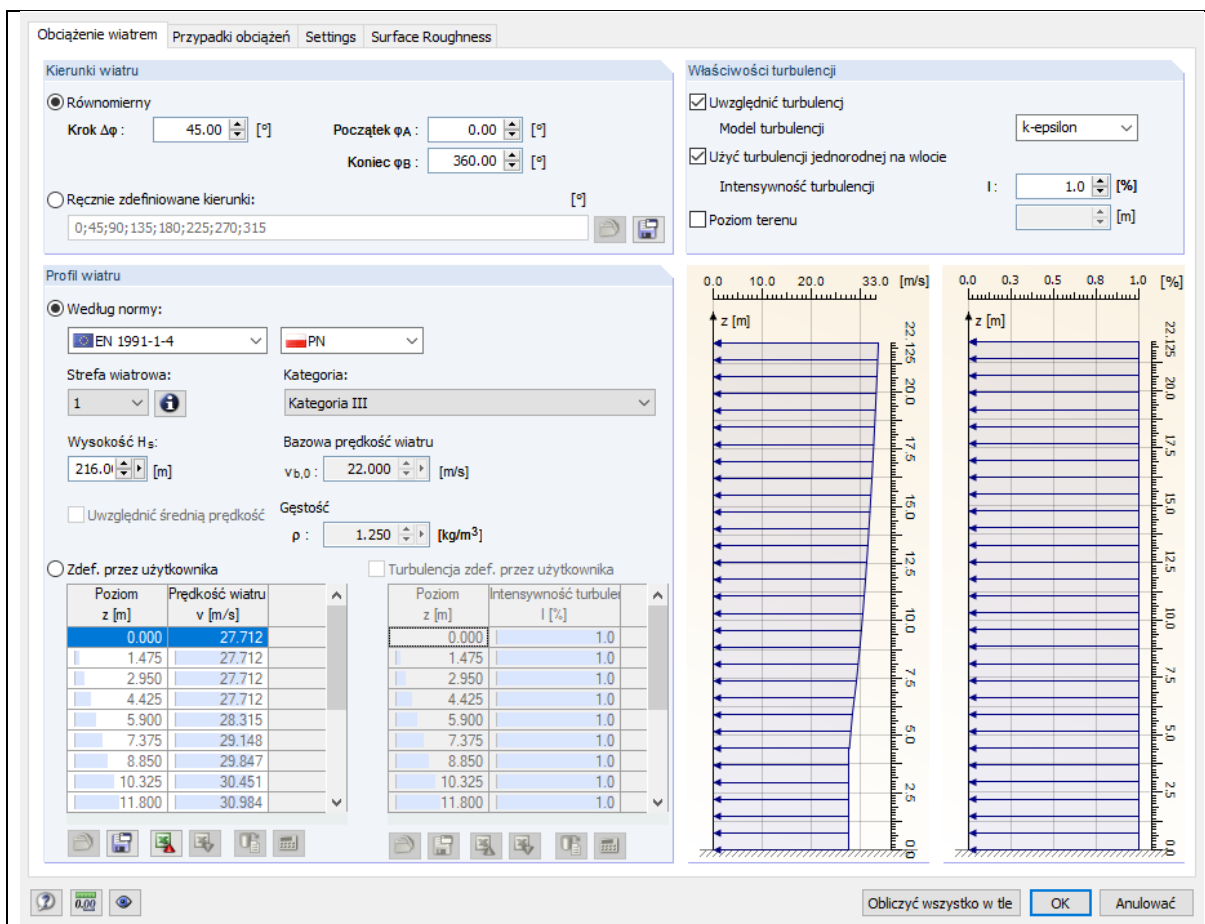
- $s_k = 0,9 \text{ kN/m}^2$ – charakterystyczne obciążenie śniegiem gruntu
- $C_t = 1,0$ – współczynnik termiczny
- $C_e = 1,0$ – współczynnik ekspozycji
- $\mu_1 = 0,8$ – współczynnik kształtu dachu

$$s = \mu_1 * C_e * C_t * s_k \quad (3-1)$$

$$s = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,9 = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

3.3.6. Obciążenia zmienne – obciążenie wiatrem

Obiekt znajdować będzie się mieście Gliwice, w strefie obciążenia wiatrem 1. Wysokość terenu wynosi 216m n.p.m., a kategorię terenu przyjmuje się jako III. Obciążenie wiatrem zostało przyjęte przy użyciu oprogramowania Dlubal RSTAB z użyciem modułu RWIND Simulation, dla ustawień przedstawionych poniżej.



Rys. 3-1. Ustawienia modułu RWIND Simulation dla wybranego obiektu.

3.3.7. Obciążenia zmienne – obciążenie temperaturą

Obciążenia termiczne dla zaprojektowanego obiektu związane z jego funkcją użytkową oraz sezonowymi zmianami temperatury zostały pominięte.

3.4. Kombinacje obciążeń

3.4.1. Stan graniczny nośności

Przyjęta kombinacja dla stanu granicznego nośności została wykonana zgodnie z normą [5], korzystając również z załącznika A1 wymienionej normy w celu pozyskania odpowiednich współczynników. Na podstawie wzorów (3-2) oraz (3-3) wyznaczone zostały przypadki działania obciążeń na projektowaną konstrukcję.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3-2)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3-3)$$

Gdzie:

- γ_G – współczynnik częściowy dla oddziaływań stałych, uwzględniający także niepewność modelu i zmiany wymiarów. Przyjmuje się jako: $\gamma_G = 1,35$ dla wartości korzystnej lub $\gamma_G = 1,00$ – niekorzystnej,
- G_k – wartość charakterystyczna oddziaływania stałego,
- $\gamma_{Q,1}$ – współczynnik częściowy dla dominującego oddziaływania zmiennego 1. Przyjmuje się jako 1,5 dla oddziaływań niekorzystnych lub 0 dla korzystnych,
- $\psi_{Q,1}$ – współczynnik dla wartości dominującego oddziaływania zmiennego 1, który przyjmuje wartość zależną od natury obciążenia,
- $Q_{k,1}$ – wartość charakterystyczna dominującego oddziaływania zmiennego 1,
- $\gamma_{Q,i}$ – współczynnik częściowy dla oddziaływania zmiennego i towarzyszącego,
- $\psi_{0,i}$ – współczynnik dla wartości kombinacyjnej oddziaływania zmiennego i towarzyszącego,
- Q_k – wartość charakterystyczna zadanego towarzyszącego obciążenia zmiennego,
- ξ - współczynnik redukcyjny.

3.4.2. Stan graniczny użyteczności

Przyjęta kombinacja dla stanu granicznego użyteczności została wykonana zgodnie z normą [5], w programie przyjęte zostały kombinacje zgodne z wzorami (3-4), (3-5), (3-6) zgodnie z ich kategorią.

Wzór (3-4) przedstawia kombinację charakterystyczną, którą stosuje się dla nieodwracalnych stanów granicznych użyteczności w konstrukcji – konsekwencje tych stanów są nie tylko widoczne, ale permanentne i pozostają po ustąpieniu oddziaływań.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3-4)$$

Wzór (3-5) przedstawia kombinację częstą, którą stosuje się dla odwracalnych stanów granicznych użyteczności w konstrukcji – konsekwencje tych stanów są widoczne, ale nie permanentne i ustępują w momencie ustąpienia oddziaływań, które je spowodowały.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (3-5)$$

Wzór (3-6) przedstawia kombinację quasi-stałą, którą stosuje się w celu oceny długotrwałych skutków na projektowaną konstrukcję.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (3-6)$$

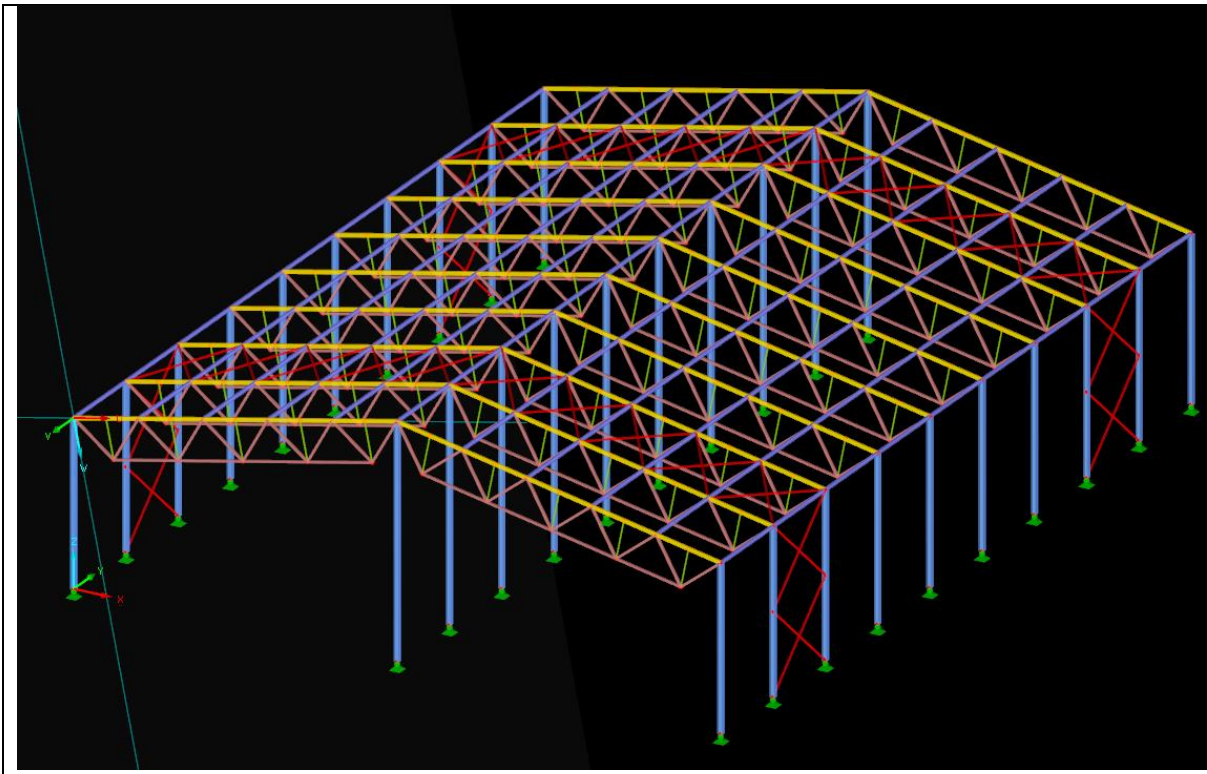
3.4.3. Kombinacje oddziaływań w przypadku pożaru

Przyjęta kombinacja dla oddziaływań w przypadku pożaru została wykonana zgodnie z normą [5] – taka sytuacja traktowana jest jako wyjątkowa sytuacja obliczeniowa. Kombinacje w programie zostały przyjęte zgodnie z przedstawionym wzorem (3-7).

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + (\psi_{1,1} \text{ lub } \psi_{2,1}) \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (3-7)$$

3.5. Wymiarowanie elementów konstrukcji

Oprogramowanie Dlubal RSTAB pozwala na użycie modułu Steel EC3 w celu odpowiedniej weryfikacji wybranych elementów konstrukcyjnych. W tym celu stworzono model przestrzenny konstrukcji przy użyciu wymienionego programu, a następnie przeprowadzono analizę sprawdzając stany graniczne nośności i użytkowości, jak również kombinację specjalną. Postanowiono przedstawić dwa rozwiązania – konstrukcję pozbawioną dodatkowych zabezpieczeń ppoż oraz porównać ją z zadanymi w programie odpowiednimi zabezpieczeniami profili narażonych na działanie ognia. W przypadku wyczerpania nośności profili pozbawionych biernej ochrony przeciwpożarowej, zdecydowano się zaproponować nowe przekroje, które te wymagania spełnią.



Rys. 3-2. Widok przestrzenny modelu analizowanej hali

3.5.1. Charakterystyka materiałów w modelu przestrzennym

Do skonstruowania modelu obliczeniowego analizowanej struktury użyto 6 przekrojów w zależności od typu elementu. Założono, że wszystkie elementy są wykonane ze stali S275. Z uwagi na charakterystykę działania oprogramowania, każdy pręt musiał zostać wirtualnie podzielony w miejscu występowania węzła – dla uproszczenia pracy zostały one zebrane w odpowiednie grupy, przedstawione w Tab. 3-1.

Tablica 3-1. Zbiory prętów utworzone w modelu przestrzennym

Zbiór prętów	Pręty nr	Przekrój	Material
Płatwie	62-72,134-144,206-216,278-288,350-360,422-432,494-504,566-576,638-648	IPE 240	Stal S275
Słupy	1-3,73-75,145-147,217-219,289-291,361-363,433-435,505-507,577-579,649-651,710-717	HEB 300	Stal S275
Pas górny wiązara	4-13,33-42,76-85,105-114,148-157,177-186,220-229,249-258,292-301,321-330,364-373,393-402,436-445,465-474,508-517,537-546,580-589,609-618,652-661,681-690	RRO 250x150x12.5	Stal S275
Pas dolny wiązara	29-32,58-61,101-104,130-133,173-176,202-205,245-248,274-277,317-320,346-349,389-392,418-421,461-464,490-493,533-536,562-565,605-608,634-637,677-680,706-709	QRO 150x10	Stal S275
Słupki wiązara	14-18,43-47,86-90,115-119,158-162,187-191,230-234,259-263,302-306,331-335,374-378,403-407,446-450,475-479,518-522,547-551,590-594,619-623,662-666,691-695	QRO 80x6.3	Stal S275
Krzyżulce wiązara	19-28,48-57,91-100,120-129,163-172,192-201,235-243,264-273,307-316,336-345,379-388,408-417,451-460,480-489,523-532,552-561,595-604,624-633,667-676,696-705	QRO 150x10	Stal S275
Stężenia	718-750,752,753,755-774	RO 139.7x10.0	Stal S275

3.5.2. Weryfikacja stanów granicznych nośności i stanów granicznych użytkowności

Weryfikację stanów granicznych nośności i stanów granicznych użytkowności konstrukcji przeprowadzono przy użyciu modułu Steel EC3. Tab. 3-2, 3-3, 3-4, 3-5, 3-6, 3-7 przedstawiają stopień wykorzystania profili w zależności od ich przekroju.

Tablica 3-2. Obliczenia przekroju HE B 300

Przekrój 1 – HE B 300			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
362	13,275	0,00	CS100) Pomijalne siły wewnętrzne
577	5,250	0,01	CS101) Sprawdzenie przekroju - Rozciąganie wg 6.2.3
74	0,000	0,06	CS102) Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg 6.2.4
291	9,450	0,26	CS111) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi y wg 6.2.5 - Klasa 1 lub 2
650	14,750	0,04	CS116) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z wg 6.2.5 - Klasa 1 lub 2
291	0,000	0,05	CS121) Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg 6.2.6
1	0,000	0,00	CS126) Sprawdzenie przekroju - Wyboczenie przy ścinaniu wg 6.2.6(6)
291	9,450	0,26	CS141) Sprawdzenie przekroju - Zginanie i siła tnąca wg 6.2.5 i 6.2.8
650	14,750	0,04	CS151) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z i siła tnąca wg 6.2.5 i 6.2.8
712	5,250	0,07	CS161) Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe i siła tnąca wg 6.2.6, 6.2.7 i 6.2.9
289	10,500	0,37	CS181) Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg 6.2.9.1
650	14,750	0,03	CS201) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z, siła tnąca i siła osiowa wg 6.2.9.1
712	5,250	0,14	CS221) Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe, ścinanie i siła osiowa wg 6.2.10 i 6.2.9
578	2,950	0,06	ST301) Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi y wg 6.3.1.1 i 6.3.1.2(4)
74	0,000	0,15	ST302) Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi y wg 6.3.1.1 i 6.3.1.2
649	0,000	0,05	ST311) Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi z wg 6.3.1.1 i 6.3.1.2(4)
74	0,000	0,39	ST312) Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi z wg 6.3.1.1 i 6.3.1.2
74	0,000	0,09	ST321) Analiza stateczności - Wyboczenie skrętne wg 6.3.1.4 i 6.3.1.2(4)
291	10,500	0,39	ST331) Analiza stateczności - Zwichrzenie wg 6.3.2.1 i 6.3.2.3 - I-przekrój
712	5,250	0,35	ST363) Analiza stateczności - Zginanie dwukierunkowe wg 6.3.3, Metoda 2
74	1,475	0,55	ST364) Analiza stateczności - Zginanie i ściskanie wg 6.3.3, Metoda 2
1	0,000	0,00	SE400) Użytkowość - Pomijalne odkształcenia
361	6,000	0,63	SE401) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Charakterystyczna' - kierunek z
361	6,000	0,09	SE402) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Częsta' - kierunek z
361	6,000	0,01	SE403) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Quasi-stała' - kierunek z
650	8,850	0,11	SE406) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Charakterystyczna' - kierunek y
650	8,850	0,01	SE407) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Częsta' - kierunek y
506	8,850	0,01	SE408) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Quasi-stała' - kierunek y

Tablica 3-3. Obliczenia przekroju RRO 250x150x12.5

Przekrój 2 – RRO 250x150x12.5			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
7	1,498	0,00	CS100) Pomijalne siły wewnętrzne
514	2,140	0,04	CS101) Sprawdzenie przekroju - Rozciąganie wg 6.2.3
109	2,140	0,10	CS102) Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg 6.2.4
292	0,000	0,51	CS111) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi y wg 6.2.5 - Klasa 1 lub 2
682	0,000	0,02	CS116) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z wg 6.2.5 - Klasa 1 lub 2
292	0,000	0,10	CS121) Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg 6.2.6
34	0,214	0,01	CS123) Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi y wg 6.2.6
4	0,000	0,00	CS126) Sprawdzenie przekroju - Wyboczenie przy ścinaniu wg 6.2.6(6)
292	0,000	0,51	CS141) Sprawdzenie przekroju - Zginanie i siła tnąca wg 6.2.5 i 6.2.8
682	0,000	0,02	CS151) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z i siła tnąca wg 6.2.5 i 6.2.8
220	0,000	0,31	CS161) Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe i siła tnąca wg 6.2.6, 6.2.7 i 6.2.9
148	0,000	0,74	CS181) Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg 6.2.9.1
34	0,214	0,04	CS201) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z, siła tnąca i siła osiowa wg 6.2.9.1
292	0,000	0,68	CS221) Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe, ścinanie i siła osiowa wg 6.2.10 i 6.2.9
542	2,140	0,07	ST301) Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi y wg 6.3.1.1 i 6.3.1.2(4)
542	2,140	0,08	ST311) Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi z wg 6.3.1.1 i 6.3.1.2(4)
321	2,140	0,44	ST364) Analiza stateczności - Zginanie i ściskanie wg 6.3.3, Metoda 2
4	0,000	0,00	SE400) Użytkowność - Pomijalne odkształcenia
292	0,856	0,23	SE401) Użytkowność - Kombinacja oddziaływań 'Charakterystyczna' - kierunek z
364	0,856	0,03	SE402) Użytkowność - Kombinacja oddziaływań 'Częsta' - kierunek z
84	1,299	0,01	SE403) Użytkowność - Kombinacja oddziaływań 'Quasi-stała' - kierunek z
33	1,070	0,06	SE406) Użytkowność - Kombinacja oddziaływań 'Charakterystyczna' - kierunek y
681	1,070	0,01	SE407) Użytkowność - Kombinacja oddziaływań 'Częsta' - kierunek y
156	1,083	0,00	SE408) Użytkowność - Kombinacja oddziaływań 'Quasi-stała' - kierunek y

Tablica 3-4. Obliczenia przekroju QRO 150x10

Przekrój 3 – QRO 150x10			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
339	0,000	0,00	CS100) Pomijalne siły wewnętrzne
131	0,000	0,17	CS101) Sprawdzenie przekroju - Rozciąganie wg 6.2.3
128	0,000	0,09	CS102) Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg 6.2.4
307	0,000	0,24	CS111) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi y wg 6.2.5 - Klasa 1 lub 2
51	0,000	0,09	CS116) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z wg 6.2.5 - Klasa 1 lub 2
307	0,329	0,03	CS121) Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg 6.2.6
49	0,000	0,01	CS123) Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi y wg 6.2.6
19	0,000	0,00	CS126) Sprawdzenie przekroju - Wyboczenie przy ścinaniu wg 6.2.6(6)
307	0,000	0,24	CS141) Sprawdzenie przekroju - Zginanie i siła tnąca wg 6.2.5 i 6.2.8
51	0,000	0,09	CS151) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z i siła tnąca wg 6.2.5 i 6.2.8
235	0,000	0,09	CS161) Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe i siła tnąca wg 6.2.6, 6.2.7 i 6.2.9
307	0,000	0,38	CS181) Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg 6.2.9.1
53	0,000	0,09	CS201) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z, siła tnąca i siła osiowa wg 6.2.9.1
235	0,000	0,19	CS221) Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe, ścinanie i siła osiowa wg 6.2.10 i 6.2.9
99	3,291	0,09	ST301) Analiza stateczności - Wyboczenie giętkie względem osi y wg 6.3.1.1 i 6.3.1.2(4)
99	3,291	0,09	ST311) Analiza stateczności - Wyboczenie giętkie względem osi z wg 6.3.1.1 i 6.3.1.2(4)
307	3,291	0,23	ST364) Analiza stateczności - Zginanie i ściskanie wg 6.3.3, Metoda 2
19	0,000	0,00	SE400) Użytkowość - Pomijalne odkształcenia
307	1,316	0,23	SE401) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Charakterystyczna' - kierunek z
307	1,316	0,03	SE402) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Częsta' - kierunek z
133	2,140	0,01	SE403) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Quasi-stała' - kierunek z
57	1,323	0,07	SE406) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Charakterystyczna' - kierunek y
57	1,323	0,01	SE407) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Częsta' - kierunek y
523	1,316	0,00	SE408) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Quasi-stała' - kierunek y

Tablica 3-5. Obliczenia przekroju QRO 80x6.3

Przekrój 4 – QRO 80x6.3			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
190	1,000	0,00	CS100) Pomijalne siły wewnętrzne
302	0,000	0,20	CS101) Sprawdzenie przekroju - Rozciąganie wg 6.2.3
331	0,000	0,20	CS102) Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg 6.2.4
335	2,500	0,02	CS111) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi y wg 6.2.5 - Klasa 1 lub 2
17	0,000	0,08	CS116) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z wg 6.2.5 - Klasa 1 lub 2
302	2,500	0,01	CS121) Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg 6.2.6
691	2,500	0,01	CS123) Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi y wg 6.2.6
14	0,000	0,00	CS126) Sprawdzenie przekroju - Wyboczenie przy ścinaniu wg 6.2.6(6)
335	2,500	0,02	CS141) Sprawdzenie przekroju - Zginanie i siła tnąca wg 6.2.5 i 6.2.8
17	0,000	0,08	CS151) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z i siła tnąca wg 6.2.5 i 6.2.8
45	2,500	0,02	CS161) Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe i siła tnąca wg 6.2.6, 6.2.7 i 6.2.9
374	0,000	0,10	CS181) Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg 6.2.9.1
44	2,500	0,09	CS201) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z, siła tnąca i siła osiowa wg 6.2.9.1
43	2,500	0,03	CS221) Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe, ścinanie i siła osiowa wg 6.2.10 i 6.2.9
619	2,250	0,06	ST301) Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi y wg 6.3.1.1 i 6.3.1.2(4)
619	0,000	0,06	ST302) Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi y wg 6.3.1.1 i 6.3.1.2
619	2,250	0,06	ST311) Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi z wg 6.3.1.1 i 6.3.1.2(4)
619	0,000	0,06	ST312) Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi z wg 6.3.1.1 i 6.3.1.2
331	0,000	0,33	ST364) Analiza stateczności - Zginanie i ściskanie wg 6.3.3, Metoda 2
14	0,000	0,00	SE400) Użytkowość - Pomijalne odkształcenia
302	0,500	0,04	SE401) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Charakterystyczna' - kierunek z
590	0,500	0,01	SE402) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Częsta' - kierunek z
119	0,500	0,00	SE403) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Quasi-stała' - kierunek z
692	1,750	0,04	SE406) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Charakterystyczna' - kierunek y
692	1,750	0,01	SE407) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Częsta' - kierunek y
518	1,250	0,00	SE408) Użytkowość - Kombinacja oddziaływań 'Quasi-stała' - kierunek y

Tablica 3-6. Obliczenia przekroju RO 139.7x10.0

Przekrój 5 – RO 139.7x10.0			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
765	1,474	0,00	CS100) Pomijalne siły wewnętrzne
751	0,000	0,02	CS101) Sprawdzenie przekroju - Rozciąganie wg 6.2.3
738	7,370	0,02	CS102) Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg 6.2.4
732	7,385	0,16	CS111) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi y wg 6.2.5 - Klasa 1 lub 2
720	1,595	0,10	CS116) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z wg 6.2.5 - Klasa 1 lub 2
723	0,000	0,01	CS121) Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg 6.2.6
771	0,000	0,02	CS123) Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi y wg 6.2.6
771	0,000	0,02	CS128) Sprawdzenie przekroju - Decydująca siła tnąca wg 6.2.6
732	7,385	0,16	CS141) Sprawdzenie przekroju - Zginanie i siła tnąca wg 6.2.5 i 6.2.8
720	1,595	0,10	CS151) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z i siła tnąca wg 6.2.5 i 6.2.8
759	7,385	0,04	CS161) Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe i siła tnąca wg 6.2.6, 6.2.7 i 6.2.9
757	7,370	0,17	CS181) Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg 6.2.9.1
743	6,378	0,12	CS201) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z, siła tnąca i siła osiowa wg 6.2.9.1
771	0,000	0,06	CS221) Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe, ścinanie i siła osiowa wg 6.2.10 i 6.2.9
743	0,000	0,21	ST364) Analiza stateczności - Zginanie i ściskanie wg 6.3.3, Metoda 2
718	0,000	0,00	SE400) Użytkowalność - Pomijalne odkształcenia
751	3,685	0,29	SE401) Użytkowalność - Kombinacja oddziaływań 'Charakterystyczna' - kierunek z
736	3,685	0,07	SE402) Użytkowalność - Kombinacja oddziaływań 'Częsta' - kierunek z
726	3,685	0,05	SE403) Użytkowalność - Kombinacja oddziaływań 'Quasi-stała' - kierunek z
721	3,986	0,47	SE406) Użytkowalność - Kombinacja oddziaływań 'Charakterystyczna' - kierunek y
774	3,189	0,06	SE407) Użytkowalność - Kombinacja oddziaływań 'Częsta' - kierunek y
772	3,986	0,00	SE408) Użytkowalność - Kombinacja oddziaływań 'Quasi-stała' - kierunek y

Tablica 3-7. Obliczenia przekroju IPE 240

Przekrój 6 – IPE 240			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
495	3,250	0,00	CS100) Pomijalne siły wewnętrzne
568	0,600	0,03	CS101) Sprawdzenie przekroju - Rozciąganie wg 6.2.3
573	6,000	0,01	CS102) Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg 6.2.4
67	6,000	0,17	CS111) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi y wg 6.2.5 - Klasa 1 lub 2
350	2,400	0,28	CS116) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z wg 6.2.5 - Klasa 1 lub 2
63	6,000	0,05	CS121) Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg 6.2.6
350	0,000	0,03	CS123) Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi y wg 6.2.6
62	0,000	0,00	CS126) Sprawdzenie przekroju - Wyboczenie przy ścinaniu wg 6.2.6(6)
64	2,140	0,06	CS131) Sprawdzenie przekroju - Skręcanie wg 6.2.7
640	3,050	0,01	CS132) Sprawdzenie przekroju - Skręcanie i siła tnąca wg 6.2.7(9)
63	1,500	0,00	CS137) Sprawdzenie przekroju - Skręcanie i siła tnąca wg 6.2.7(9)
67	6,000	0,17	CS141) Sprawdzenie przekroju - Zginanie i siła tnąca wg 6.2.5 i 6.2.8
350	2,400	0,28	CS151) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z i siła tnąca wg 6.2.5 i 6.2.8
350	0,000	0,59	CS161) Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe i siła tnąca wg 6.2.6, 6.2.7 i 6.2.9
643	0,000	0,15	CS181) Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg 6.2.9.1
206	0,000	0,22	CS201) Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z, siła tnąca i siła osiowa wg 6.2.9.1
648	0,000	0,43	CS221) Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe, ścinanie i siła osiowa wg 6.2.10 i 6.2.9
63	1,500	0,10	CS226) Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe, ścinanie, skręcanie i siła osiowa wg 6.2.10 i 6.2.9
63	1,500	0,30	CS271) Sprawdzenie przekroju - Naprężenie osiowe i skręcanie - Elastyczne obliczenia
645	0,000	0,31	ST331) Analiza stateczności - Zwichrzenie wg 6.3.2.1 i 6.3.2.3 - I-przekrój
64	0,000	0,44	ST363) Analiza stateczności - Zginanie dwukierunkowe wg 6.3.3, Metoda 2
62	0,000	0,00	SE400) Użytkowalność - Pomijalne odkształcenia
65	2,400	0,20	SE401) Użytkowalność - Kombinacja oddziaływań 'Charakterystyczna' - kierunek z
137	3,000	0,02	SE402) Użytkowalność - Kombinacja oddziaływań 'Częsta' - kierunek z
141	3,000	0,02	SE403) Użytkowalność - Kombinacja oddziaływań 'Quasi-stała' - kierunek z
350	3,000	0,72	SE406) Użytkowalność - Kombinacja oddziaływań 'Charakterystyczna' - kierunek y
350	3,000	0,10	SE407) Użytkowalność - Kombinacja oddziaływań 'Częsta' - kierunek y
142	3,000	0,00	SE408) Użytkowalność - Kombinacja oddziaływań 'Quasi-stała' - kierunek y

3.5.3. Weryfikacja konstrukcji w warunkach pożarowych

Konstrukcję postanowiono obliczyć w dwóch przypadkach – przed zastosowaniem dodatkowych zabezpieczeń przeciwpożarowych, jak również po ich użyciu. Do tego, użyto modułu Steel EC3 i wprowadzono odpowiednie wartości. Dla grup prętów zdefiniowano odpowiedni z wymaganiami wymagany czas $t_{fi,requ}$ wyrażony w minutach, co przedstawiono na Rys. 3-3 oraz Rys. 3-4.

1.10 Odporność ogniowa - Pręty										
Nr	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Pręty nr	Wymagany czas $t_{fi,requ}$ [min]	Czas oddziaływania pożaru	Ognioodporność	Typ ochrony	Jednostka masy ρ_p [kg/m ³]	Przewodność cieplna λ_p [W/m*K]	Ciepło charakterystyczne c_p [J/(kg*K)]	Grubość d_p [mm]	Komentarz
1	62-72,134-1	60	3 Strony	<input type="checkbox"/>	Izolacja konturowa	300.00	0.12	1200.00	10.00	Platwie
2	1-3,73-75,1	120	3 Strony	<input type="checkbox"/>	Izolacja konturowa	300.00	0.12	1200.00	10.00	Słupy
3	4-13,33-42,	120	3 Strony	<input type="checkbox"/>	Izolacja konturowa	300.00	0.12	1200.00	10.00	Pas górny
4	29-32,58-61	120	3 Strony	<input type="checkbox"/>	Izolacja konturowa	300.00	0.12	1200.00	10.00	Pas dolny
5	14-18,43-47	120	3 Strony	<input type="checkbox"/>	Izolacja konturowa	300.00	0.12	1200.00	10.00	Słupki więzara
6	19-28,48-57	120	3 Strony	<input type="checkbox"/>	Izolacja konturowa	300.00	0.12	1200.00	10.00	Krzyżulce więzara
7	718-750,75	120	3 Strony	<input type="checkbox"/>	Izolacja konturowa	300.00	0.12	1200.00	10.00	Stężenia
8										

Rys. 3-3. Ustawienia modułu Odporność ogniowa – Pręty dla hali pozbawionej dodatkowego zabezpieczenia.

Obliczenia konstrukcji zostały przeprowadzone z uwagi na wytrzymałość prętów w kombinacji wyjątkowej – w obliczu sytuacji pożarowej. Tab. 3-8, 3-9, 3-10, 3-11, 3-12, 3-13 przedstawiają rezultaty wyłącznie dla tej kombinacji, w zależności od typu użytego przekroju.

Tablica 3-8. Obliczenia przekroju HE B 300 dla kombinacji wyjątkowej

Przekrój 1 – HE B 300			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
74	0,000	0,69	FC602) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
73	3,500	0,42	FC681) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
74	8,850	0,64	FC701) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
712	5,250	0,19	FC721) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
74	0,000	1,86	FS802) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
74	0,000	4,13	FS812) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
74	0,000	1,11	FS822) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie skrętne wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2

Tablica 3-9. Obliczenia przekroju RRO 250x150x12.5 dla kombinacji wyjątkowej

Przekrój 2 – RRO 250x150x12.5			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
152	0,000	0,82	FC602) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
113	0,000	0,16	FC621) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
113	0,000	0,98	FC681) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
152	0,000	0,96	FS802) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
152	0,000	1,04	FS812) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
105	2,140	0,79	FS854) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Zginanie i ściskanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.5

Tablica 3-10. Obliczenia przekroju QRO 150x10 dla kombinacji wyjątkowej

Przekrój 3 – QRO 150x10			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
340	2,633	0,00	FC600) Projektowane z uwagi na warunki pożarowe - Pomijalne siły wewnętrzne
102	4,280	1,41	FC601) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Rozciąganie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.1
99	3,291	0,72	FC602) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
95	3,291	0,08	FC611) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3 - Klasa 1 lub 2
709	4,280	0,07	FC621) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
95	3,291	0,08	FC641) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie i siła tnąca wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
102	0,000	1,57	FC681) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
163	0,000	0,03	FC721) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
99	3,291	1,08	FS802) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
99	3,291	1,08	FS812) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2

Tablica 3-11. Obliczenia przekroju QRO 80x6.3 dla kombinacji wyjątkowej

Przekrój 4 – QRO 80x6.3			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
374	0,750	0,00	FC600) Projektowane z uwagi na warunki pożarowe - Pomijalne siły wewnętrzne
119	2,500	0,17	FC601) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Rozciąganie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.1
88	2,500	0,15	FC602) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
590	2,500	0,13	FC611) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3 - Klasa 1 lub 2
590	2,500	0,13	FC641) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie i siła tnąca wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
119	2,500	0,38	FC681) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3

Tablica 3-12. Obliczenia przekroju RO 139.7x10.0 dla kombinacji wyjątkowej

Przekrój 5 – RO 139.7x10.0			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
741	1,474	0,00	FC600) Projektowane z uwagi na warunki pożarowe - Pomijalne siły wewnętrzne
737	7,370	0,14	FC602) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
769	7,370	0,73	FC611) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3 - Klasa 1 lub 2
740	7,370	0,10	FC621) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
732	0,739	0,07	FC631) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Skręcanie
759	7,385	0,10	FC632) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Skręcanie i siła tnąca w osi z
769	7,370	0,73	FC641) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie i siła tnąca wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
759	7,385	0,77	FC646) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, siła tnąca i skręcanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
740	7,370	0,81	FC681) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3

Tablica 3-13. Obliczenia przekroju IPE 240 dla kombinacji wyjątkowej

Przekrój 6 – IPE 240			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
212	3,000	0,00	FC600) Projektowane z uwagi na warunki pożarowe - Pomijalne siły wewnętrzne
568	0,000	0,13	FC601) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Rozciąganie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.1
67	6,000	0,35	FC611) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3 - Klasa 1 lub 2
67	6,000	0,11	FC621) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
638	1,800	0,05	FC622) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.4 - Klasa 3 lub 4
67	6,000	0,35	FC641) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie i siła tnąca wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
568	3,000	0,32	FC681) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
141	3,000	0,97	FS831) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Zwichrzenie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3

3.5.4. Weryfikacja konstrukcji w warunkach pożarowych dla przekrojów zastępczych profili niespełniających wymagań

Obliczenia wykazały, że jedynie przekroje 4, 5 oraz 6 spełniają wymagania stopnia wykorzystania w warunkach pożarowych. Zdecydowano przeprowadzić obliczenia ponownie, sprawdzając jakie przekroje będą możliwe spełnić wymagania, bez stosowania dodatkowych środków biernej ochrony przeciwpożarowej. Po przeprowadzonej analizie, zauważono że minimalne przekroje które są w stanie zapewnić odpowiednią nośność w warunkach pożarowych to:

- HE M 400 dla przekroju 1 (dotychczasowy przekrój: HE B 300)
- RRO 250x150x14.2 dla przekroju 2 (dotychczasowy przekrój: RRO 250x150x12.5)
- QRO 160x16 dla przekroju 3 (dotychczasowy przekrój QRO 150x10)

Podsumowanie analizy przekrojów zastępczych przedstawione zostały w Tab. 3-14, 3-15 oraz 3-16.

Tablica 3-14. Obliczenia przekroju zastępczego HE M 400 dla kombinacji wyjątkowej

Przekrój zastępczy 1 – HE M 400			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
74	0,000	0,31	FC602) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
73	0,000	0,24	FC701) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
712	5,250	0,08	FC721) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3

Tablica 3-15. Obliczenia przekroju zastępczego RRO 250x150x14.2 dla kombinacji wyjątkowej

Przekrój zastępczy 2 – RRO 250x150x14.2			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
152	0,000	0,73	FC602) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
113	0,000	0,15	FC621) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
113	0,000	0,88	FC681) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
152	0,000	0,86	FS802) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
152	0,000	0,93	FS812) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2

Tablica 3-16. Obliczenia przekroju zastępczego QRO 160x16 dla kombinacji wyjątkowej

Przekrój zastępczy 3 – QRO 160x16			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
239	3,291	0,00	FC600) Projektowane z uwagi na warunki pożarowe - Pomijalne siły wewnętrzne
102	4,280	0,85	FC601) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Rozciąganie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.1
99	3,291	0,43	FC602) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
95	3,291	0,05	FC611) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3 - Klasa 1 lub 2
95	3,291	0,05	FC641) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie i siła tnąca wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
102	0,000	0,95	FC681) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
99	3,291	0,65	FS802) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
99	3,291	0,65	FS812) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2

3.5.5. Weryfikacja konstrukcji w warunkach pożarowych z zastosowaniem biernej ochrony przeciwpożarowej

W celu zapewnienia odpowiedniej ognioodporności elementów zdecydowano się na użycie jednym wariantcie modelu systemu natryskowego mrc Tecwool F – posłużono się wytycznymi zaczerpniętymi z katalogu producenta Mercor.

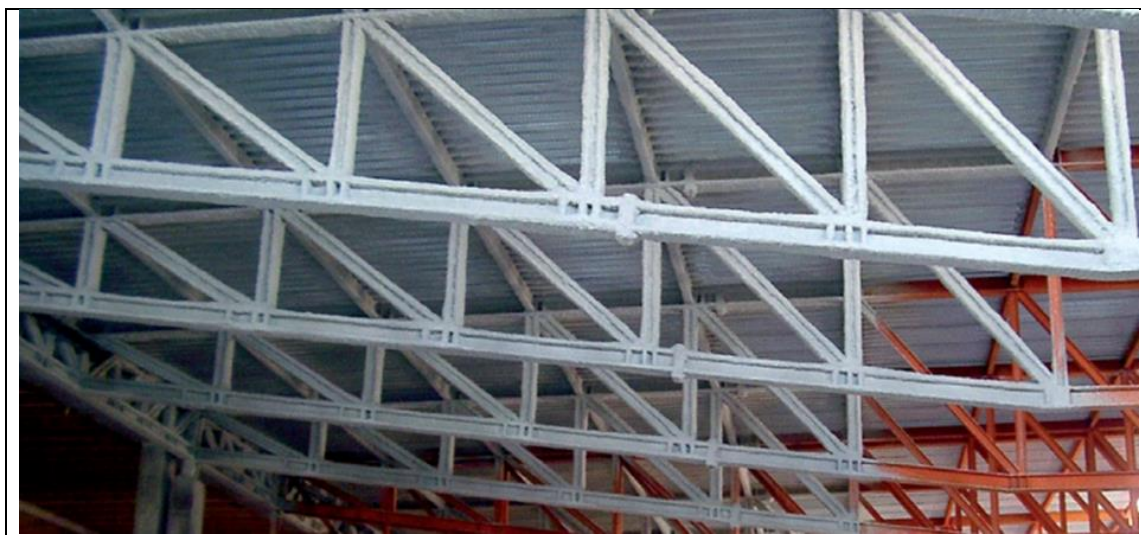
Wszystkie elementy zostaną zabezpieczone konturowo, ze względu na przeznaczony sposób użytkowania obiektu. Dla każdego elementu został obliczony współczynnik masywności jego przekroju U/A , a następnie zgodnie z zaleceniem producenta uwzględniona została odpowiednia grubość materiału mrc Tecwool F, a następnie wprowadzone do programu Dlubal, co zostało pokazane na Rys. 3-4. Przykładowe sposoby zabezpieczenia konstrukcji stalowej, zaczerpnięte z katalogu producenta Mercor zostały przedstawione na Rys. 3-5, 3-6 oraz 3-7. Konstrukcja, przed aplikacją środka biernej ochrony przeciwpożarowej powinna być oczyszczona z wszystkich środków, które mogłyby osłabić jego adhezję, np. brudu, olejów, rdzy. Środek powinno aplikować się na element zwilżony wodą, w celu zapewnienia najlepszej przyczepności do podłoża, warstwami nie grubszymi niż 25mm w jednym natrysku. W celu osiągnięcia grubości która przekracza 25mm, należy wykonać go ponownie, aż do osiągnięcia żądanej grubości. Po aplikacji środka również należy zwilżyć go wodą, aby zwiększyć jego twardość. Konstrukcja powinna uzyskać barwę szarą z charakterystyczną fakturą.

Pomimo, że w analizie konstrukcji pozbawionej takiego zabezpieczenia wykazano, że jedynie przekroje 1-3 nie spełniają warunków nośności w warunkach pożarowych, zdecydowano zastosować je do wszystkich profili – respektując wymagania prawne oraz zalecenia producenta w sprawie grubości zastosowanego zabezpieczenia. Wyniki zestawiono w Tab. 3-17, 3-18,

3-19, 3-20, 3-21, 3-22, skategoryzowane według użytego przekroju.

1.10 Odporność ogniowa – Pręty										
Nr	A Pręty nr	B Wymagany czas $t_{fi,requ}$ [min]	C Czas oddziaływa- nia pożaru	D Ognioodporność	E Typ ochrony	F Jednostka masy ρ_p [kg/m ³]	G Przewodność cieplna λ_p [W/m*K]	H Ciepło charakterystyc c_p [J/(kg*K)]	I Grubość d_p [mm]	J Komentarz
1	62-72.134-144.2	60	3 Strony	<input checked="" type="checkbox"/>	Izolacja kont	250.00	0.06	1600.00	15.00	Płatwie
2	1-3.73-75.145-1	120	3 Strony	<input checked="" type="checkbox"/>	Izolacja kont	250.00	0.06	1600.00	25.00	Słupy
3	4-13.33-42.76-8	120	3 Strony	<input checked="" type="checkbox"/>	Izolacja kont	250.00	0.06	1600.00	31.00	Pas górny
4	29-32.58-61.101	120	3 Strony	<input checked="" type="checkbox"/>	Izolacja kont	250.00	0.06	1600.00	34.00	Pas dolny
5	14-18.43-47.86-	120	3 Strony	<input checked="" type="checkbox"/>	Izolacja kont	250.00	0.06	1600.00	41.00	Słupki więzara
6	19-28.48-57.91-	120	3 Strony	<input checked="" type="checkbox"/>	Izolacja kont	250.00	0.06	1600.00	34.00	Krzyżulce więza
7	718-750.752.75	120	3 Strony	<input checked="" type="checkbox"/>	Izolacja kont	250.00	0.06	1600.00	34.00	Stężenia
8										
9										

Rys. 3-4. Ustawienia modułu Odporność ogniowa – Pręty dla hali wraz z dodatkowym zabezpieczeniem.



Rys. 3-5. Sposób zabezpieczenia więzara zaprezentowany w katalogu produktu mrc Tecwool F.



Rys. 3-6. Sposób zabezpieczenia słupa zaprezentowany w katalogu produktu mrc Tecwool F.



Rys. 3-7. Sposób aplikowania systemu natryskowego zaprezentowany w katalogu produktu mrc Tecwool F.

Tablica 3-17. Obliczenia przekroju HE B 300 dla kombinacji wyjątkowej z biernym zabezpieczeniem przeciwpożarowym

Przekrój 1 – HE B 300			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
74	0,000	0,02	FC602) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
710	2,625	0,01	FC681) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
74	8,850	0,02	FC701) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi z, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
714	5,250	0,01	FC721) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
74	0,000	0,07	FS802) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
74	0,000	0,17	FS812) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
74	0,000	0,04	FS822) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie skrętne wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2

Tablica 3-18. Obliczenia przekroju RRO 250x150x12.5 dla kombinacji wyjątkowej z biernym zabezpieczeniem przeciwpożarowym

Przekrój 2 – RRO 250x150x12.5			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
152	0,000	0,03	FC602) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
113	0,000	0,01	FC621) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
113	0,000	0,04	FC681) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
152	0,000	0,03	FS802) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
152	0,000	0,03	FS812) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
105	2,140	0,02	FS854) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Zginanie i ściskanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.5

Tablica 3-19. Obliczenia przekroju QRO 150x10 dla kombinacji wyjątkowej z biernym zabezpieczeniem przeciwpożarowym

Przekrój 3 – QRO 150x10			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
340	2,633	0,00	FC600) Projektowane z uwagi na warunki pożarowe - Pomijalne siły wewnętrzne
102	4,280	0,04	FC601) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Rozciąganie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.1
99	3,291	0,02	FC602) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
95	3,291	0,00	FC611) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3 - Klasa 1 lub 2
709	4,280	0,00	FC621) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
95	3,291	0,00	FC641) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie i siła tnąca wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
102	0,000	0,05	FC681) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
163	0,000	0,00	FC721) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie dwukierunkowe, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
99	3,291	0,04	FS802) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
99	3,291	0,04	FS812) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Wyboczenie giętne względem osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2

Tablica 3-20. Obliczenia przekroju QRO 80x6.3 dla kombinacji wyjątkowej z biernym zabezpieczeniem przeciwpożarowym

Przekrój 4 – QRO 80x6.3			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
374	0,750	0,00	FC600) Projektowane z uwagi na warunki pożarowe - Pomijalne siły wewnętrzne
119	2,500	0,01	FC601) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Rozciąganie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.1
88	2,500	0,00	FC602) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
590	2,500	0,01	FC611) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3 - Klasa 1 lub 2
590	2,500	0,01	FC641) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie i siła tnąca wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
119	2,500	0,01	FC681) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3

Tablica 3-21. Obliczenia przekroju RO 139.7x10.0 dla kombinacji wyjątkowej z biernym zabezpieczeniem przeciwpożarowym

Przekrój 5 – RO 139.7x10.0			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
741	1,474	0,00	FC600) Projektowane z uwagi na warunki pożarowe - Pomijalne siły wewnętrzne
737	7,370	0,00	FC602) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Ściskanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.2
769	7,370	0,03	FC611) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3 - Klasa 1 lub 2
740	7,370	0,00	FC621) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
732	0,739	0,00	FC631) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Skręcanie
759	7,385	0,00	FC632) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Skręcanie i siła tnąca w osi z
769	7,370	0,03	FC641) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie i siła tnąca wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
759	7,385	0,03	FC646) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, siła tnąca i skręcanie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
740	7,370	0,03	FC681) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3

Tablica 3-13. Obliczenia przekroju IPE 240 dla kombinacji wyjątkowej z biernym zabezpieczeniem przeciwpożarowym

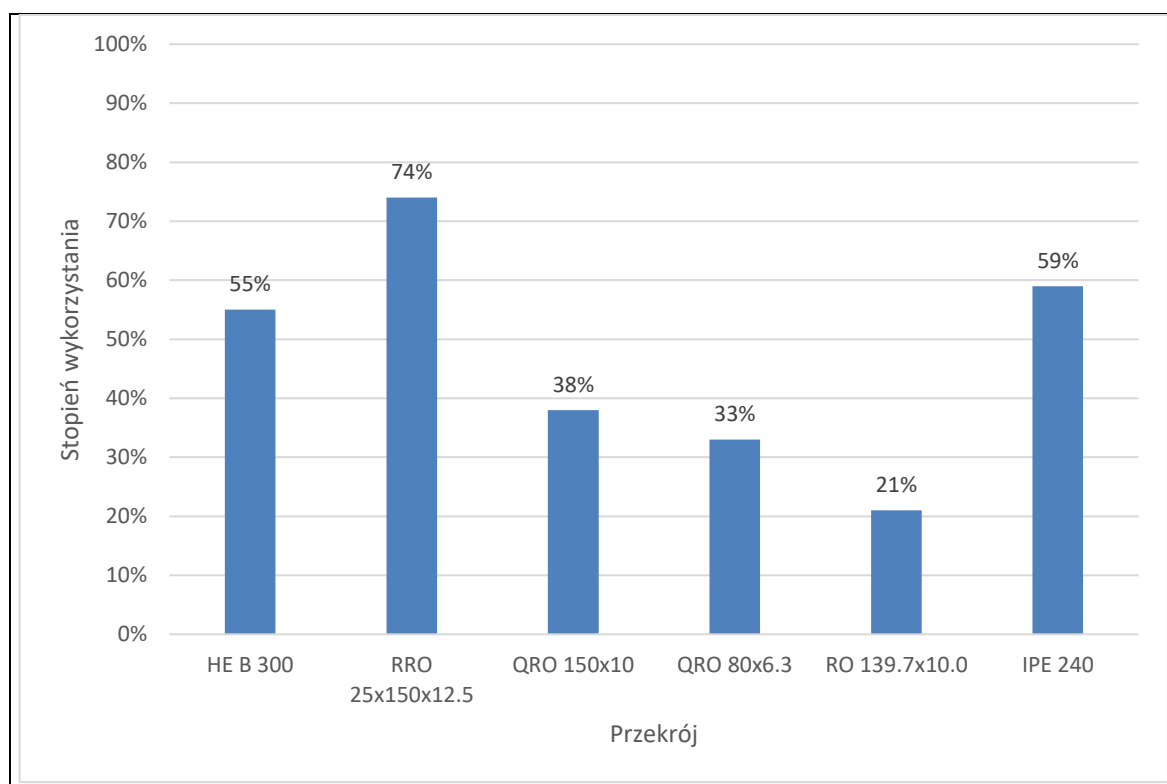
Przekrój 6 – IPE 240			
Pręt nr	Położenie x [m]	Stopień wykorzystania	Wymiarowanie wg równania
212	3,000	0,00	FC600) Projektowane z uwagi na warunki pożarowe - Pomijalne siły wewnętrzne
568	0,000	0,01	FC601) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Rozciąganie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.1
67	6,000	0,03	FC611) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3 - Klasa 1 lub 2
67	6,000	0,01	FC621) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
638	1,800	0,00	FC622) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Siła tnąca w osi z wg EN 1993-1-2, 4.2.3.4 - Klasa 3 lub 4
67	6,000	0,03	FC641) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie i siła tnąca wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
136	3,000	0,02	FC681) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Sprawdzenie przekroju - Zginanie, ścinanie i siła osiowa wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3
141	3,000	0,07	FS831) Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe - Analiza stateczności - Zwłóknienie wg EN 1993-1-2, 4.2.3.3

4.WNIOSKI

4.1. Przedstawienie graficzne przeprowadzonej analizy konstrukcji

4.1.1. Wyniki analizy stanów granicznych nośności dla poszczególnych przekrojów

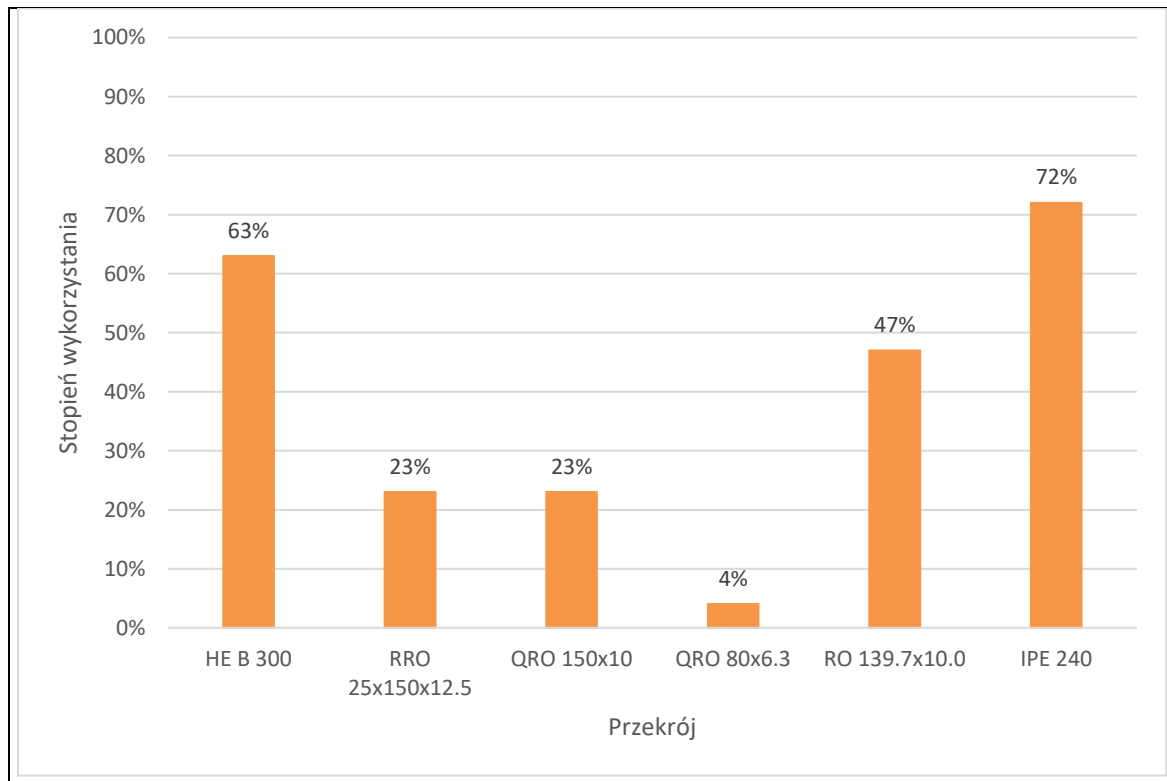
Na wykresie Wyk. 4-1 przedstawione zostały maksymalne uzyskane stopnie wykorzystania elementów, pod kątem przekroju podczas analizy stanów granicznych nośności. Wszystkie pręty spełniły warunki określone w analizie SGN.



Wyk. 4-1. Maksymalne stopnie wykorzystania elementów w zależności od przekroju według SGN

4.1.2. Wyniki analizy stanów granicznych użyteczności dla poszczególnych przekrojów

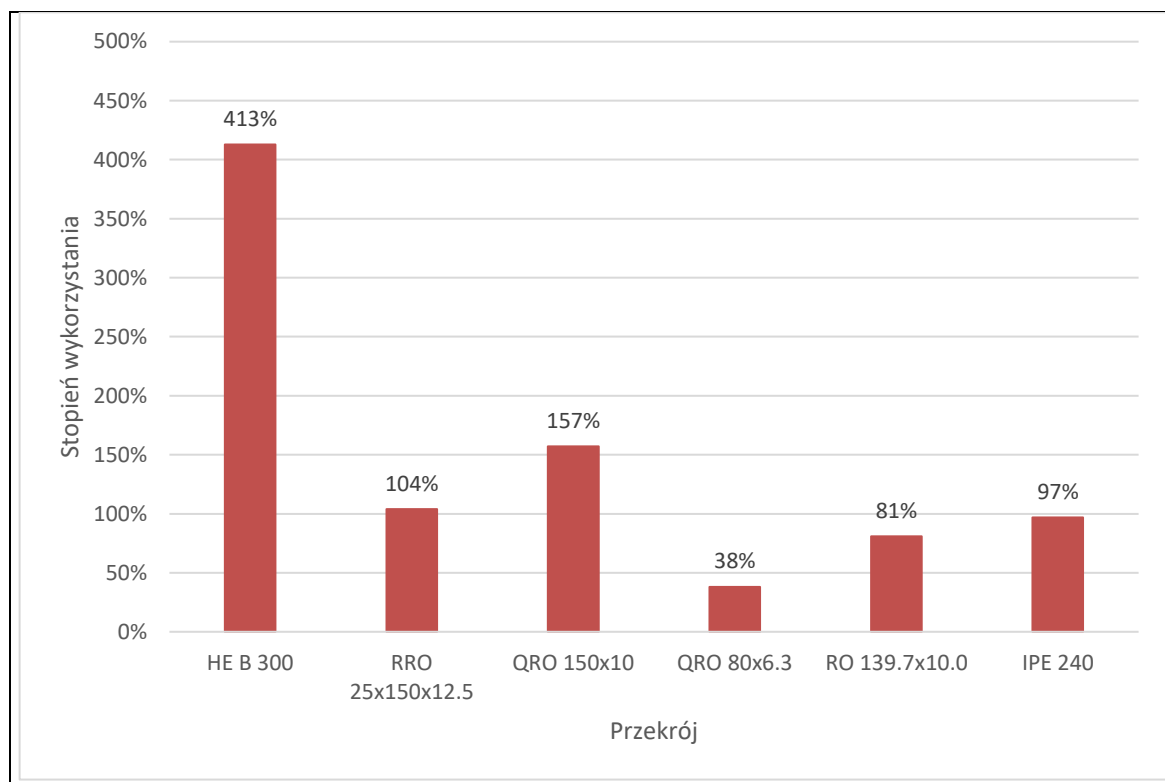
Na wykresie Wyk. 4-2 przedstawione zostały maksymalne uzyskane stopnie wykorzystania elementów, pod kątem przekroju podczas analizy stanów granicznych użyteczności. Wszystkie pręty spełniły warunki określone w analizie SGU.



Wyk. 4-2. Maksymalne stopnie wykorzystania elementów w zależności od przekroju według SGN

4.1.3. Wyniki analizy konstrukcji w warunkach pożarowych – maksymalne stopnie wykorzystania przekrojów pierwotnej konstrukcji

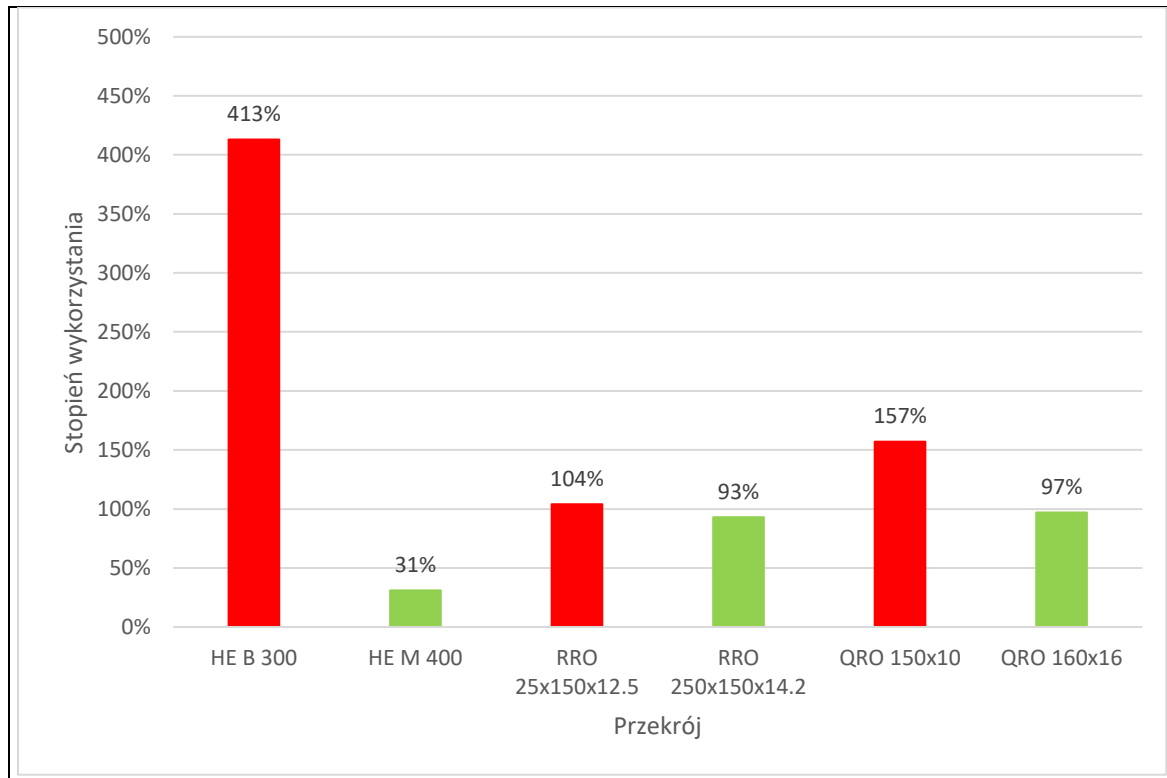
Na wykresie Wyk. 4-3 przedstawione zostały maksymalne uzyskane stopnie wykorzystania elementów, pod kątem przekroju podczas analizy poświęconej warunkom pożarowym. Analizowany był jedynie pierwotny model obiektu.



Wyk. 4-3. Maksymalne stopnie wykorzystania elementów pierwotnej hali w warunkach pożarowych

4.1.4. Wyniki analizy konstrukcji w warunkach pożarowych – porównanie pierwotnej konstrukcji wraz z przekrojami zastępczymi

Na wykresie Wyk. 4-4 przedstawione zostało porównanie uzyskanych maksymalnych stopni wykorzystania przekrojów konstrukcji pierwotnej dla przekrojów niespełniających wymagania nośności w warunkach pożarowych z przekrojami zastępczymi zaproponowanymi w toku analizy i rezultatem ich stopnia wykorzystania, po poddaniu ich takiej samej analizie.

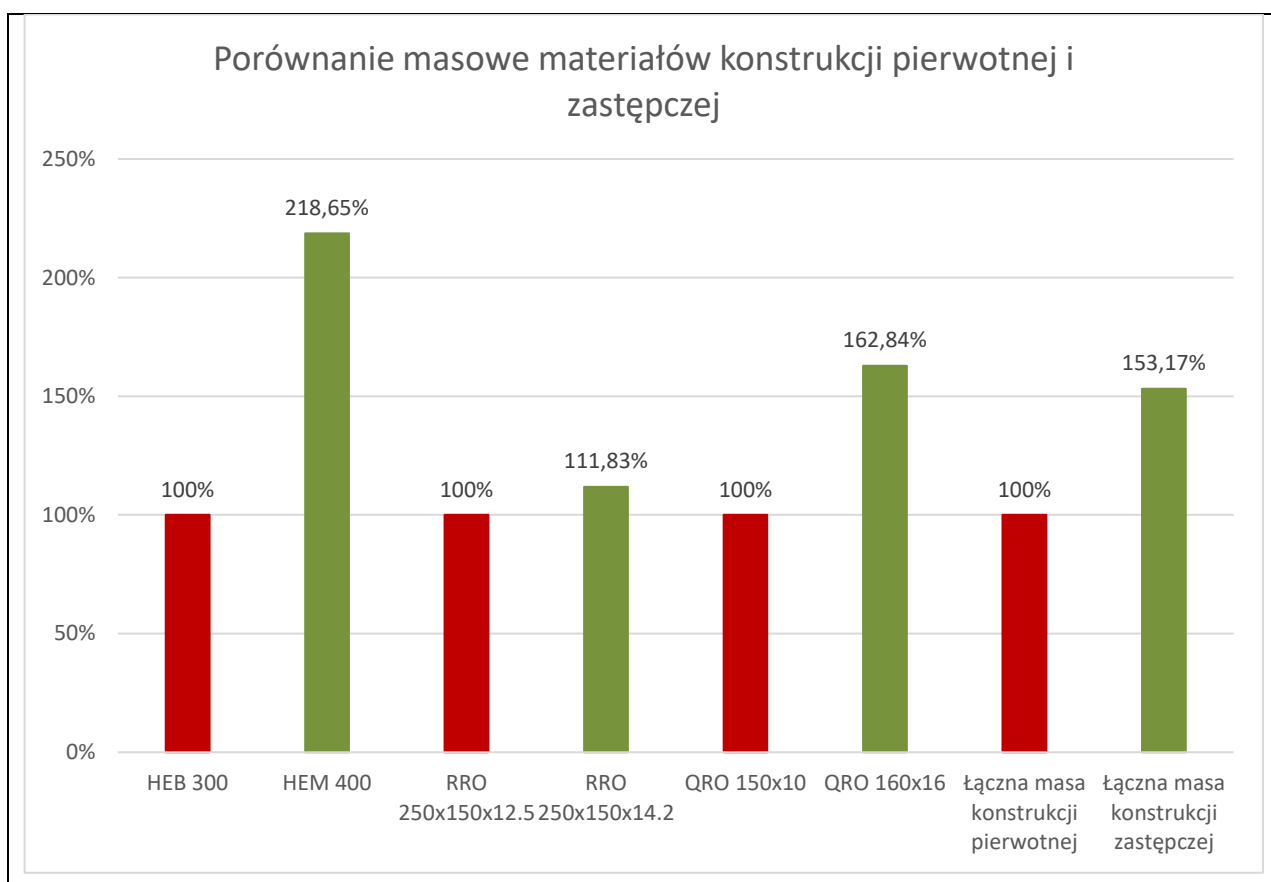


Wyk. 4-4. Porównanie stopnia wykorzystania przekrojów pierwotnych w stosunku do zaproponowanych przekrojów zastępczych

Ponadto, porównano zmianę masy konstrukcji po wprowadzeniu przekrojów zastępczych, w porównaniu do ogólnej masy konstrukcji pierwotnej, lub pierwotnego przekroju. Przedstawiona analiza dotyczy każdego przekroju z osobna, jak również dla każdego osobnego przekroju. Wyniki przedstawione zostały w tabeli Tab. 4-1 oraz na wykresie 4-5.

Tablica 4-1. Zestawienie masowe konstrukcji i jej przekrojów

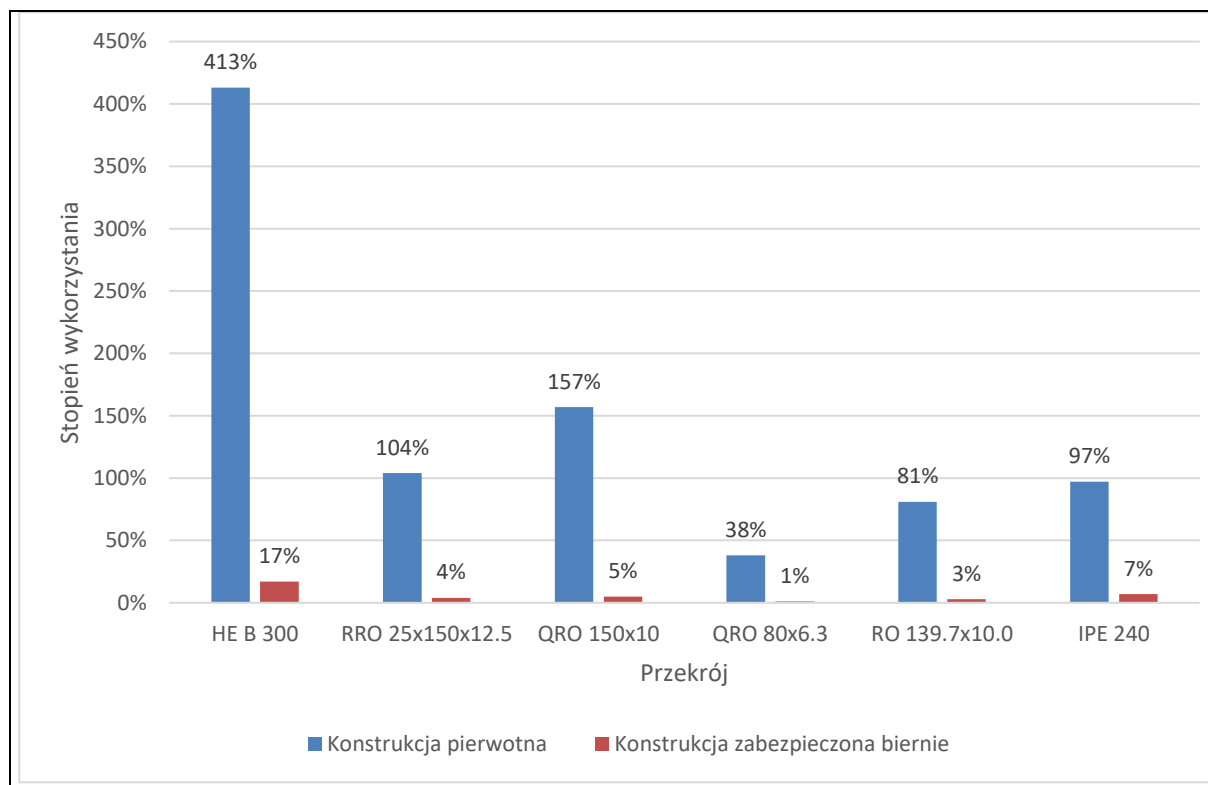
Element	Masa [t]
HEB 300	41,84
HEM 400	91,49
RRO 250x150x12.5	30,98
RRO 250x150x14.2	34,65
QRO 150x10	43,14
QRO 160x16	70,24
QRO 80x6.3	3,55
IPE 240	18,23
RO 139.7x10.0	13,50
Łączna masa konstrukcji pierwotnej	151,242
Łączna masa konstrukcji zastępczej	231,660



Wyk. 4-5. Porównanie masowe materiałów konstrukcji pierwotnej i zastępczej.

4.1.5. Wyniki analizy konstrukcji w warunkach pożarowych – porównanie oryginalnej konstrukcji z konstrukcją zabezpieczoną biernymi środkami przeciwpożarowymi

Na wykresie Wyk. 4-6 przedstawione zostało porównanie uzyskanych maksymalnych stopni wykorzystania przekrojów konstrukcji pierwotnej z maksymalnymi stopniami wykorzystania przekrojów konstrukcji zabezpieczonej biernymi środkami ochrony przeciwpożarowej.



Wyk. 4-6. Porównanie stopnia wykorzystania przekrojów niezabezpieczonych do zabezpieczonych.

4.2. Wnioski wynikające z analizy konstrukcji

4.2.1. Wnioski generalne

Przeprowadzona analiza konstrukcji wykazała znaczną różnicę w wymaganiach postawionych przed konstrukcją pomiędzy stanami granicznymi nośności, a wyjątkową sytuacją obliczeniową jaką są warunki pożarowe. Pomimo akceptowalnych rezultatów konstrukcji pod kątem SGN oraz SGU, wykazano jednak że projektowany budynek nie spełni warunków bezpieczeństwa pożarowego, wskutek czego nie będzie umożliwiona wymagana prawnie możliwość ewakuacji osób użytkujących obiekt przez określony ustawowo czas.

Przedstawiono, że przekroje 1 – HE B 300, 2 - RRO 25x150x12.5 oraz 3 - QRO 150x10 powinny zostać zmienione, lub odpowiednio zabezpieczone w celu spełnienia wyżej omawianych wymagań.

4.2.2. Wnioski szczegółowe

- Brak wzmocnienia profili pod kątem warunków pożarowych skutkuje przekroczeniem nośności o maksymalnie 413% dla profilu HE B 300.
- W przypadku braku możliwości zastosowania biernych środków ochrony przeciwpożarowej, możliwe jest użycie innych przekrojów dla prętów szczególnie narażonych, których stopień wykorzystania będzie niewystarczający.
- Zastosowanie odpowiednich środków biernej ochrony przeciwpożarowej wykazało, że wyczerpanie profili spadło maksymalnie do 17% - jest to spadek aż o 396% dla tego konkretnego profilu.

5. BIBLIOGRAFIA

5.1. Publikacje

- [1] Biegus A.: Projektowanie konstrukcji stalowych według Eurokodu 3. Bezpieczeństwo pożarowe konstrukcji stalowych. Wrocław, 2003.
- [2] Porozumienie dla Bezpieczeństwa w Budownictwie: Standard BPH 17.2 – Pożary, ochrona przeciwpożarowa.
- [3] www.arcelormittal.com: Konstrukcje stalowe w Europie. Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe, część 7: Inżynieria pożarowa
- [4] Kowolik B.: Projektowanie konstrukcji metalowych z uwagi na warunki pożarowe. XXVII Ogólnopolskie Warsztaty Projektanta Konstrukcji „Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjno-materiałowo-technologiczne. Konstrukcje metalowe”. Szczyrk 7-10 marca 2012 r, tom III, s.241-350.

5.2. Normy

- [5] PN-EN 1990:2004. Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji, PKN
- [6] PN-EN 1991-1-3:2005. Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne. Obciążenie śniegiem, PKN
- [7] PN-EN 1991-1-4:2008. Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru, PKN
- [8] PN-EN 1993-1-1:2006 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, PKN.
- [9] PN-EN 1993-1-2:2007 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-2: Reguły ogólne. Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe, PKN.

5.3. Akty prawne

- [10] Dz. U. 2021 poz. 2351 – Ustawa z dnia 7 lipca 1994r. – Prawo budowlane
- [11] Dz. U. 2019 poz. 1065 – Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [12] Dz. U. 2010 nr 109 poz. 719 - Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów

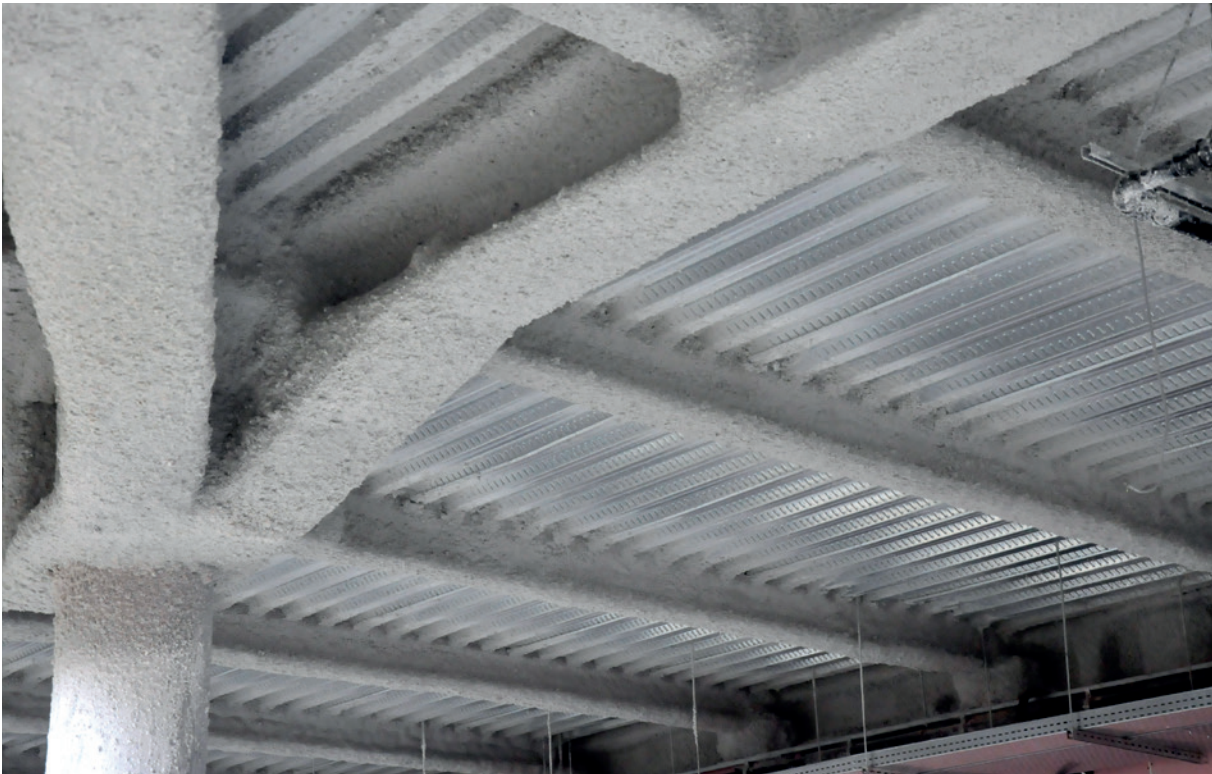
5.4. Materiały informacyjne

Mercor. Zabezpieczenia konstrukcji – systemy natryskowe – mcr Tecwool F – natryskowy system zabezpieczeń ogniochronnych. <https://www.mercor.com.pl/pl/>



mcr Tecwool F

natryskowy system zabezpieczeń
ogniochronnych konstrukcji budowlanych,
natryskowy tynk akustyczny





ZASTOSOWANIE

Natryskowy system mcr Tecwool F służy do zabezpieczenia ogniochronnego elementów konstrukcji stalowych o profilach otwartych i zamkniętych, elementów żelbetowych, jak również stropów belkowo-pustakowych, w których elementami nośnymi są belki żelbetowe, strunobetonowe lub stalowe z wypełnieniem z pustaków ceramicznych, betonowych lub z betonu lekkiego, pełne lub drążone.

mcr Tecwool F należy do grupy tzw. ogniochronnych natrysków lekkich, czyli posiadających małą gęstość masy natryskowej. Przeznaczony jest do obiektów budowlanych budownictwa ogólnego lądowego, gdzie wymagane jest zwiększenie odporności ogniowej elementów konstrukcji narażonych na wystąpienie pożarów standardowych (Rys.1). Dla obiektów specjalistycznych, takich jak: elektrownie, rafinerie, instalacje chemiczne, platformy itp., gdzie występuje zagrożenie pożarami węglowodorowymi, przeznaczony jest system natryskowy mcr Isoverm 825 z oferty MERCOR S.A.

mcr Tecwool F zapewnia:

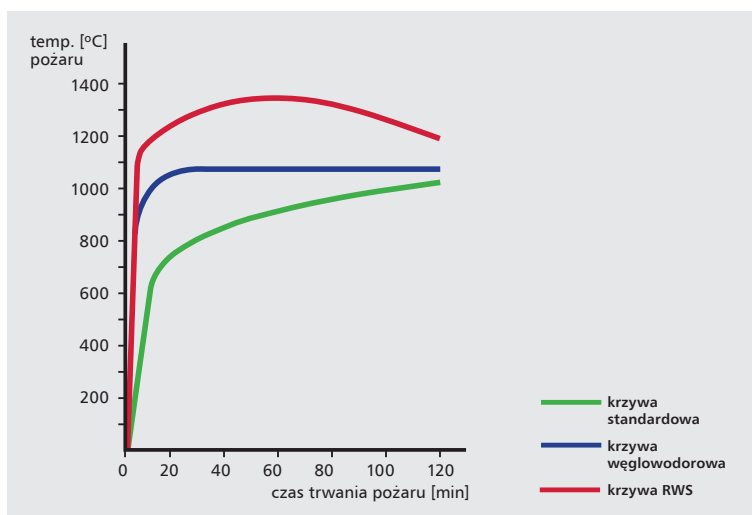
- stalowym elementom konstrukcji o współczynniku masywności $U/A \leq 495 \text{ m}^{-1}$ uzyskanie klas odporności ogniowej **od R30 do R240**,
- elementom żelbetowym uzyskanie klas odporności ogniowej **od R30 do R240**,
- stropom belkowo-pustakowym uzyskanie klas odporności ogniowej **REI60 oraz REI120**.

mcr Tecwool F poza doskonałymi właściwościami ogniochronnymi cechuje się również dobrą izolacyjnością termiczną - współczynnik przewodzenia ciepła λ wynosi 0,061 W/mK.

Ze względu na bardzo dobre parametry pochłaniania dźwięku mcr Tecwool F można dodatkowo stosować jako **izolację akustyczną / dźwiękochłonną** wewnątrz pomieszczeń, gdzie zachodzi potrzeba skorygowania czasu pogłosu, czyli np. w salach konferencyjnych, wykładowych, koncertowych.

System nie powinien być wykorzystywany do zabezpieczenia elementów konstrukcji nie osłoniętych przed bezpośrednim działaniem czynników atmosferycznych (deszcz, śnieg).

Rysunek 1. Krzywe określające odporność ogniową elementów budowlanych.



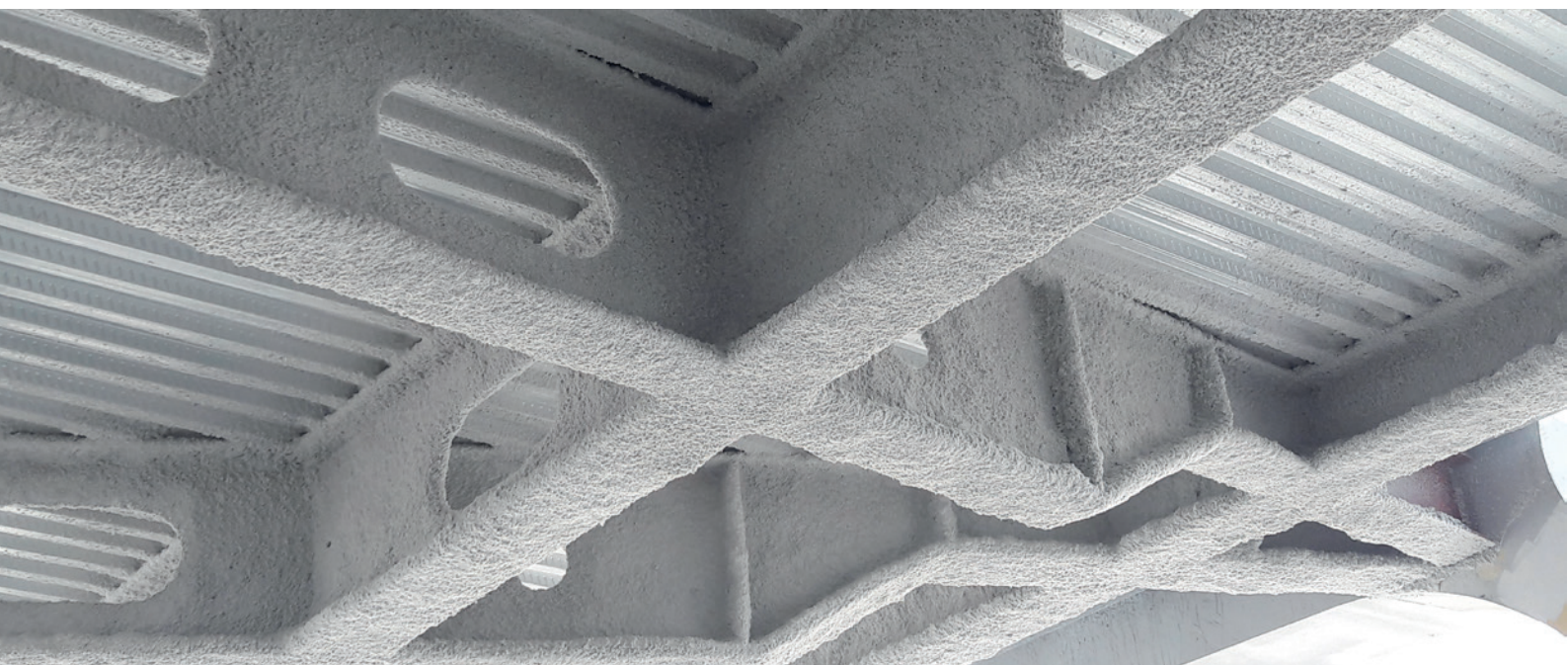
Krzywa standardowa (celulozowa) została zdefiniowana (zgodnie z PN-EN 1363-1) w celu zobrazowania spalania materiałów celulozowych (papier, drewno, itp.)

Krzywa węglowodorowa została zdefiniowana (zgodnie z PN-EN 1363-2) w celu zobrazowania pożarów o bardzo dużej intensywności. Występują one najczęściej w zakładach przemysłu chemicznego i petrochemicznego oraz na platformach naftowych. Cechą charakterystyczną tego typu pożarów jest gwałtowny wzrost temperatury i szybkie rozprzestrzenianie się.

Krzywa tunelowa Rijkswaterstaat (RWS-Holandia) została zdefiniowana w celu zobrazowania przebiegu pożaru w tunelu. Osiąga ona najwyższą temperaturę pożaru ze wszystkich modelowych krzywych.

DOKUMENTY DOPUSZCZAJĄCE

- ▶ Europejska Ocena Techniczna ITeC ETA 11/0185
- ▶ Certyfikat Stałości Właściwości Użytkowych 1220-CPR-1110
- ▶ Deklaracja Właściwości Użytkowych TCRS-TW-01
- ▶ Aprobata Techniczna ITB AT-15-9682/2016
- ▶ Certyfikat Zgodności ITB-2468/W
- ▶ Krajowa Deklaracja Właściwości Użytkowych KDWU/HZ/03/2017



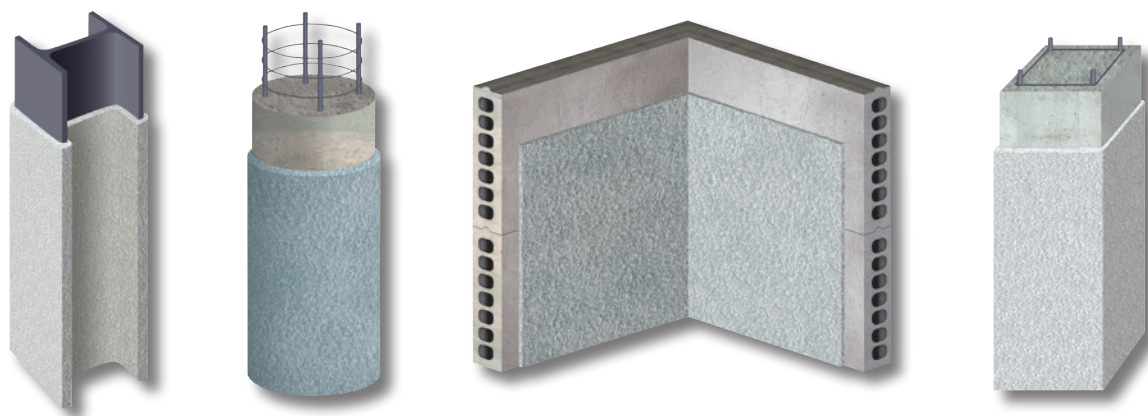
CECHY SYSTEMU

- ▶ wysoka trwałość
- ▶ szybka i prosta w wykonaniu aplikacja
- ▶ pomijalny w obliczeniach statycznych ciężar wykonanej izolacji ogniochronnej
- ▶ obojętny biologicznie, nietoksyczny, przyjazny dla zdrowia
- ▶ odporny na pękanie, kurz, gnicie czy grzyby
- ▶ szczelny – zapewnia idealne pokrycie
- ▶ wysoka izolacyjność termiczna
- ▶ bardzo dobre właściwości akustyczne (pochłanianie dźwięku)
- ▶ brak oddziaływania korozyjnego na powierzchnię stali niezabezpieczonej
- ▶ faktura zewnętrzna „baranka” w kolorze jasnoszarym
- ▶ może być malowany farbami nawierzchniowymi
- ▶ pozbawiony metali ciężkich

WŁAŚCIWOŚCI FIZYKO-MECHANICZNE ZAPRAWY

sucha mieszanka mcr Tecwool F	
wygląd zewnętrzny	sucha mieszanka koloru szarego, bez zbryleń i zanieczyszczeń
gęstość nasypowa	$250 \pm 10\% \text{ kg/m}^3$
stwardniała zaprawa mcr Tecwool F	
gęstość objętościowa w stanie suchym	$328 \pm 10\% \text{ kg/m}^3$
skurcz liniowy	$\leq 0,07\%$
pryczepność do podłoża stalowego	$\geq 0,05 \text{ MPa}$ lub zerwanie w wyprawie
pryczepność do podłoża betonowego	$\geq 0,05 \text{ MPa}$ lub zerwanie w wyprawie
klasa reakcji na ogień	A1

Stała kontrola jakości podczas procesu produkcji mieszanki mcr Tecwool F gwarantuje zachowanie odpowiednich właściwości fizycznych i mechanicznych zapewniających właściwości ogniochronne.



ODPORNOŚĆ OGNIOWA – ZABEZPIECZENIA ELEMENTÓW STALOWYCH

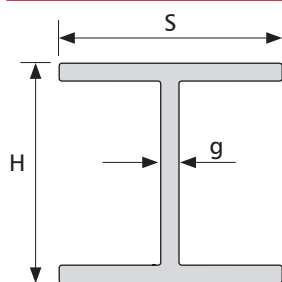
Odporność ogniową systemu zapewnia właściwy dobór grubości natrykiwanej masy w zależności od współczynnika masywności przekroju zabezpieczanego elementu, wymaganej klasy odporności ogniowej oraz temperatury krytycznej stali.

Współczynnik masywności przekroju należy wyliczać oddzielnie dla każdego z elementów wchodzących w skład konstrukcji. Wyraża się on stosunkiem $U/A \text{ [m}^{-1}\text{]}$, gdzie:

U - długość nagrzewanego obwodu przekroju poprzecznego elementu [m]

A - pole powierzchni przekroju poprzecznego elementu [m²]

Rysunek 2. Różne warianty izolacji.



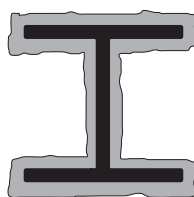
gdzie:

H – wysokość całkowita profilu [m]

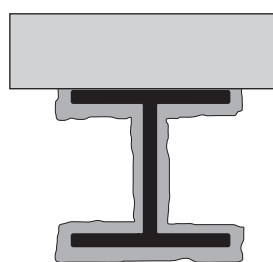
S – szerokość stopki profilu [m]

g – grubość środnika profilu [m]

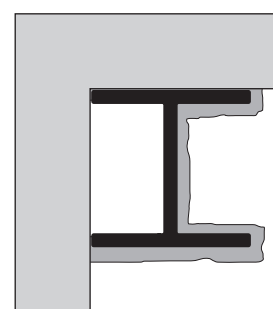
Przykładowe wzory na wyliczenie długości nagrzewanego obwodu U dla profilu dwuteowego, dla różnych wariantów izolacji:



Izolacja z czterech stron profilu:
 $U = 2H + 4S - 2g$ [m]



Izolacja z trzech stron profilu:
 $U = 2H + 3S - 2g$ [m]



Izolacja z dwóch stron profilu:
 $U = H + 2S - 2g$ [m]

Dla innych profili (ceowniki, kątowniki, teowniki itp.) należy stosować analogiczne wzory.

Tabela 1. Minimalne grubości izolacji ogniochronnej w systemie mcr Tecwool F dla profili stalowych o przekroju otwartym wymagane do uzyskania określonej odporności ogniowej w zależności od współczynnika masywności przekroju danego elementu.

U/A [m ⁻¹]	R30	R60	R90	R120	R180	R240
≤60	10	10	13	22	37	57
61-80	10	10	15	25	40	61
81-100	10	11	18	28	44	65
101-120	10	13	20	31	47	68
121-140	10	14	22	32	49	-
141-160	10	15	23	34	51	-
161-180	10	16	24	35	52	-
181-200	10	17	25	36	53	-
201-220	10	17	26	36	54	-
221-240	10	18	26	37	55	-
241-260	10	18	27	38	55	-
261-280	10	19	27	38	56	-
281-300	10	19	28	38	56	-
301-320	10	19	28	39	57	-
321-340	10	20	28	39	57	-
341-360	10	20	29	39	57	-
361-380	10	20	29	40	58	-
381-400	10	20	29	40	58	-
401-420	11	20	29	40	58	-
421-440	11	21	29	40	58	-
495	11	21	30	41	59	-



Tabela 2. Minimalne grubości izolacji ogniochronnej w systemie mcr Tecwool F dla profili stalowych o przekroju zamkniętym wymagane do uzyskania określonej odporności ogniowej w zależności od współczynnika masywności przekroju danego elementu.

U/A [m ⁻¹]	R30	R60	R90	R120	R180	R240
≤60	10	10	14	24	39	61
61-80	10	10	17	27	43	66
81-100	10	12	20	31	48	-
101-120	11	14	23	34	52	-
121-140	11	16	25	37	56	-
141-160	11	18	27	39	59	-
161-180	11	19	29	41	61	-
181-200	11	20	30	43	63	-
201-220	12	21	31	44	66	-
221-240	12	22	33	46	68	-
241-260	12	23	33	47	69	-
261-280	12	23	34	48	-	-
281-300	12	24	35	48	-	-
301-320	12	24	35	49	-	-
321-340	12	25	35	49	-	-
341-360	13	25	36	49	-	-
361-380	13	25	36	50	-	-
381-400	13	25	36	50	-	-
401-420	13	26	36	50	-	-
421-440	14	26	37	50	-	-
495	14	26	37	51	-	-

Podane w tabelach 1, 2 minimalne grubości izolacji ogniochronnej potrzebnej do zabezpieczenia odpowiedniego elementu konstrukcji stalowej w warunkach działania pożaru standardowego wyznaczone zostały przy założeniu, że:

- dla klasy odporności ogniowej R30 temperatura krytyczna stali jest równa 550°C
- dla klasy odporności ogniowej R60 i R90 temperatura krytyczna stali jest równa 500°C
- dla klasy odporności ogniowej R120 i R180 temperatura krytyczna stali jest równa 450°C
- dla klasy odporności ogniowej R240 temperatura krytyczna stali jest równa 400°C

ODPORNOŚĆ OGNIOWA – ZABEZPIECZENIA ELEMENTÓW ŻELBETOWYCH

Oporność ogniową systemu zapewnia właściwy dobór grubości natrykiwanej masy w zależności od grubości betonowej otuliny zbrojenia a_0 i temperatury krytycznej stali zbrojenia.

Tabela 3. Minimalne grubości izolacji ogniochronnej w systemie mcr Tecwool F dla stropów i ścian żelbetowych wymagane do uzyskania określonej odporności ogniowej.

a_0 [mm]	R30	R60	R90	R120	R180	R240
10-14	0	11,5	11,5	11,5	11,5	15,3
15-19	0	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
20-24	0	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
25-29	0	0	11,5	11,5	11,5	11,5
30-34	0	0	0	11,5	11,5	11,5
35-39	0	0	0	11,5	11,5	11,5
40-44	0	0	0	11,5	11,5	11,5
45-49	0	0	0	0	11,5	11,5
50-54	0	0	0	0	11,5	11,5
55-59	0	0	0	0	0	11,5
60-64	0	0	0	0	0	11,5
65-69	0	0	0	0	0	11,5
70-74	0	0	0	0	0	11,5
75-79	0	0	0	0	0	11,5
≥ 80	0	0	0	0	0	0



ODPORNOŚĆ OGNIOWA – ZABEZPIECZENIA ELEMENTÓW ŻELBETOWYCH

Tabela 4. Minimalne grubości izolacji ogniochronnej w systemie mcr Tecwool F dla belek i słupów żelbetowych wymagane do uzyskania określonej odporności ogniowej.

a_0 [mm]	R30	R60	R90	R120	R180	R240
10-14	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	36,1
15-19	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	33,7
20-24	0	12,2	12,2	12,2	12,2	31,4
25-29	0	12,2	12,2	12,2	12,2	29,0
30-34	0	12,2	12,2	12,2	12,2	26,6
35-39	0	12,2	12,2	12,2	12,2	24,2
40-44	0	12,2	12,2	12,2	12,2	21,8
45-49	0	0	12,2	12,2	12,2	19,4
50-54	0	0	12,2	12,2	12,2	17,0
55-59	0	0	0	12,2	12,2	14,6
60-64	0	0	0	12,2	12,2	12,2
65-69	0	0	0	12,2	12,2	12,2
70-74	0	0	0	12,2	12,2	12,2
75-79	0	0	0	0	12,2	12,2
80-84	0	0	0	0	12,2	12,2
85-89	0	0	0	0	12,2	12,2
90-124	0	0	0	0	12,2	12,2
≥ 125	0	0	0	0	0	0

Podane w tabelach 3, 4 minimalne grubości izolacji ogniochronnej potrzebnej do zabezpieczenia odpowiedniego elementu konstrukcji żelbetowej w warunkach działania pożaru standardowego wyznaczone zostały przy założeniu, że:

- dla klasy odporności ogniowej R30 temperatura krytyczna stali jest równa 550°C
- dla klasy odporności ogniowej R60 i R90 temperatura krytyczna stali jest równa 500°C
- dla klasy odporności ogniowej R120 i R180 temperatura krytyczna stali jest równa 450°C
- dla klasy odporności ogniowej R240 temperatura krytyczna stali jest równa 400°C

ODPORNOŚĆ OGNIOWA – ZABEZPIECZENIA STROPÓW BELKOWO-PUSTAKOWYCH

Stropy belkowo-pustakowe składają się z elementów nośnych w postaci belek żelbetowych, strunobetonowych lub stalowych. Wypełnienie stropu powinny stanowić pustaki ceramiczne, betonowe lub z betonu lekkiego, pełne lub drążone o ściankach grubości co najmniej 10 mm zespalane za pomocą wylewki cementowej lub betonu o grubości co najmniej 40 mm.

Zaprawa mcr Tecwool F w zależności od zastosowanej grubości, zapewnia zabezpieczenie ogniochronne stropom belkowo-pustakowym w klasach:

- REI60 odporności ogniowej przy grubości zaprawy 15 mm,
- REI120 odporności ogniowej przy grubości zaprawy 25 mm.



TECHNOLOGIA WYKONYWANIA NATRYSKU MASY OGNIOPRONNEJ MCR TECWOOL F

- ▶ Przed aplikacją masy mcr Tecwool F elementy zabezpieczane muszą zostać oczyszczone z brudu, olejów, smarów, odpadającej farby i rdzy – z wszystkiego co może osłabić adhezję.
- ▶ Gotową zaprawę należy nakładać niezwłocznie po zwilżeniu zabezpieczanego elementu wodą dla zapewnienia możliwie najlepszej przyczepności do podłoża.
- ▶ Masę nakłada się warstwami o grubości nie większej niż 25 mm, aż do osiągnięcia docelowej wymaganej grubości całkowitej. Natrysk należy wykonywać pod kątem prostym w stosunku do zabezpieczanej powierzchni, utrzymując odległość dyszy od powierzchni około 500-600 mm.
- ▶ Po naniesieniu docelowej grubości izolacji ogniochronnej należy zwilżyć ją wodą w celu zwiększenia jej twardości.
- ▶ Po wykonaniu natrysku zabezpieczane profile i powierzchnie zachowują swoje naturalne kształty, uzyskując jednocześnie charakterystyczną fakturę „baranka” koloru szarego. Zabezpieczone elementy mogą zostać dodatkowo pomalowane farbami nawierzchniowymi w celach dekoracyjnych.

Zaprawa mcr Tecwool F dostarczana jest na miejsce budowy w postaci sproszkowanej, w workach po 25 kg.

Do wykonania zabezpieczenia wykorzystuje się specjalistyczne maszyny natryskowe. Sucha masa wsypanywana jest do zbiornika takiej maszyny, po czym pod ciśnieniem podawana jest wężami do specjalnej dyszy natryskowej, w której następuje jej połączenie z wodą. Woda podawana jest do dyszy niezależnie osobnym przewodem.



NATRYSKOWY TYNK AKUSTYCZNY (DŹWIĘKOCHŁONNY)

Natryskowy system mcr Tecwool F, poza swoją podstawową funkcją ogniochronną, może być również z powodzeniem stosowany jako **tynek akustyczny** (dźwiękochłonny), zdolny do rozpraszania dźwięku i ograniczania odbić energii dźwiękowej od powierzchni zabezpieczanych przegród. Zastosowanie w pomieszczeniu tynku mcr Tecwool F powoduje pochłanianie fal dźwiękowych, redukcję pogłosu i zdecydowaną poprawę komfortu akustycznego.

Tynk akustyczny mcr Tecwool F jest całkowicie niepalny, posiada najwyższą klasę reakcji na ogień A1 według EN 13501-1 i jednocześnie podnosi odporność ogniową zabezpieczanych elementów budowlanych.

Dźwiękochłonność systemu mcr Tecwool F została przebadana zgodnie z normą PN-EN ISO 354.

Grubość tynku wpływa bezpośrednio na absorpcję akustyczną. Im wyższa grubość, tym lepsze pochłanianie dźwięku.

Tabela 5. Ważone współczynniki pochłaniania dźwięku w zależności od grubości zaprawy dźwiękochłonnej wyrażone zgodnie z normą

średnia grubość zaprawy [mm]	współczynnik pochłaniania dźwięku α_w	klasa pochłaniania
16	0,50	D
26	0,75	C
33	0,85	B
50	0,90	A
55	0,95	A

Technologia stosowania mcr Tecwool F jako izolacji akustycznej jest identyczna jak izolacji ogniochronnej. Zaprawa mcr Tecwool F aplikowana jest bezpośrednio metodą natryskową.

Podłoże przed natryskiem powinno zostać dokładnie oczyszczone i odtłuszczone. Dodatkowa ingerencja w nałożoną izolację w postaci rolowania, wałkowania czy malowania może mieć negatywny wpływ na parametry akustyczne. Docelowa struktura baranka może być wykonana w wersji drobno- lub gruboziarnistej. Izolacja może być nakładana jako natrysk ciągły na całej powierzchni lub w postaci wytyczonych pól.



SYSTEMY ZABEZPIECZEŃ PRZECIWPÓŻAROWYCH

- ▶ zabezpieczenia ogniochronne konstrukcji budowlanych
- ▶ systemy wentylacji pożarowej
- ▶ systemy oddymiania, odprowadzania ciepła i doświetleń dachowych



Centrala Gdańsk
ul. Grzegorza z Sanoka 2
80-408 Gdańsk
tel. +48 58 341 42 45
fax +48 58 341 39 85
merc@merc.com.pl

Biuro handlowe Warszawa
ul. Grzybowska 2 lok. 79
00-131 Warszawa
tel. +48 22 654 26 55
fax +48 22 654 26 47
warszawa@merc.com.pl

Biuro handlowe Mikołów
ul. Kolejowa 4
43-190 Mikołów
tel. +48 32 738 49 33
fax +48 32 738 53 15
mikolow@merc.com.pl

www.mercor.com.pl