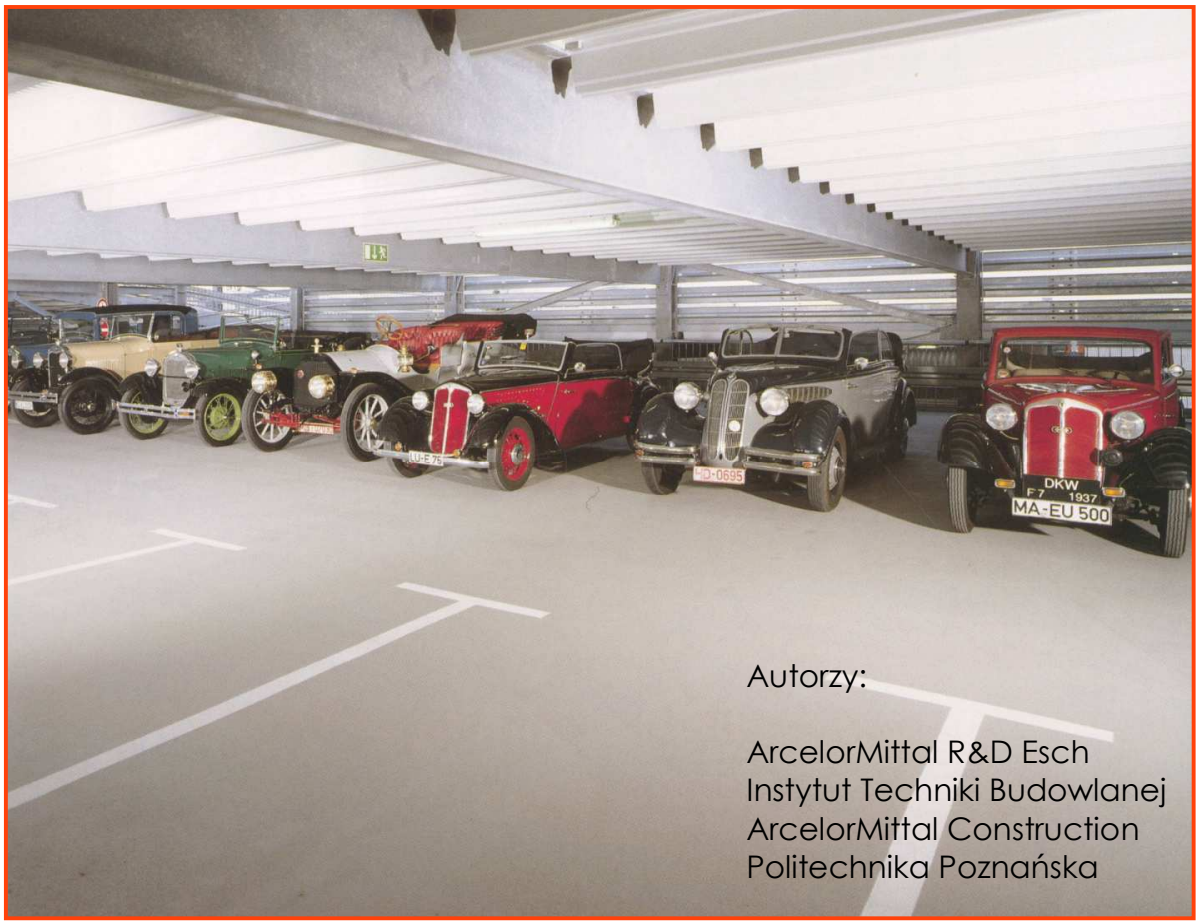
Projektowanie otwartych parkingów samochodowych o konstrukcji stalowej na rynek polski

Przewodnik projektowania



Autorzy:

ArcelorMittal R&D Esch
Instytut Techniki Budowlanej
ArcelorMittal Construction
Politechnika Poznańska

2011

Spis treści

1 Wstęp ... 1

2 Zakres stosowania i przepisy ... 1

2.1 Parking otwarty ... 1

2.2 Konstrukcja ... 2

2.3 Geometria ... 2

2.4 Górna powierzchnia płyty ... 2

2.5 Otwarte parkingi w innych krajach europejskich ... 3

2.5.1 Francja ... 3

2.5.2 Niemcy ... 3

2.5.3 Wielka Brytania ... 3

3 Scenariusz pożarowy ... 4

3.1 Klasyfikacja samochodów ... 4

3.2 Statystyki ... 6

3.3 Zidentyfikowane scenariusze pożarowe ... 7

4 Oddziaływania na konstrukcję ... 8

4.1 Pożar lokalny ... 8

4.2 Wymiana ciepła ... 9

4.3 Oddziaływanie mechaniczne ... 10

5 Wymagania i zalecenia ... 12

5.1 Materiał – Właściwości ... 12

5.1.1 Belki stalowe ... 12

5.1.2 Beton zwykły ... 12

5.1.3 Stal zbrojeniowa ... 12

5.2 Dodatkowe zbrojenie ... 13

5.3 Połączenia ... 13

5.4 Konstrukcja zespolona ... 15

5.4.1 Płyta zespolona ... 15

5.4.2 Belki zespolone 15
6 Analiza przypadków 16
7 Modelowanie metodą elementów skończonych 17
7.1 Analiza termiczna 18
7.1.1 Belki 18
7.1.2 Płyta 18
7.2 Analiza konstrukcyjna 19
7.2.1 Warunki brzegowe 20
7.2.2 Model siatki 21
8 Konstrukcje wstępnie zaprojektowane 21
9 Załącznik 1: Oddziaływanie membranowe 39
10 Załącznik 2: Cofraplus60 46
10.1 Opis techniczny wyrobu 46
10.2 Analiza dostępnej dokumentacji dotyczącej określania odporności ogniowej stropu 47
10.3 Zasady określania odporności ogniowej stropu z blachy profilowanej COFRAPLUS 60 47
10.3.1 Nośność przy dodatnim momencie zginającym Mfi,Rd+ 48
10.3.2 Nośność przy ujemnym momencie zginającym Mfi,Rd- 49
10.4 Zalety Cofraplus 50
11 Załącznik 3: Szczegóły wstępnie zaprojektowanych konstrukcji – obliczenia na warunki pożarowe 51
12 Bibliografia 57

1 Wstęp

Niniejszy dokument stanowi końcowe sprawozdanie z realizacji projektu „Projektowanie otwartych parkingów samochodowych o konstrukcji stalowej na rynek polski”. Zawiera on szczegółowy opis wszystkich przeprowadzonych badań i analiz wchodzących w zakres projektu.

Głównym celem projektu jest zaproponowanie metody inżynierii pożarowej do projektowania otwartych parkingów o konstrukcji stalowej. Na podstawie eksperymentalnych badań i analiz ustalono i zastosowano do wybranych konstrukcji odpowiednie scenariusze pożarowe. Geometria konstrukcji opiera się na powszechnie stosowanych praktykach, jak również na wymaganiach polskich przepisów budowlanych w odniesieniu do definicji otwartego parkingu, minimalnych dopuszczalnych wymiarów oraz przepisów bezpieczeństwa.

Wszystkie proponowane konstrukcje zostały zaprojektowane na warunki normalne, a następnie zweryfikowane i dostosowane w zależności od zachowania w określonych scenariuszach pożarowych. Analizy pożarów zostały przeprowadzone przy użyciu programu metody elementu skończonego SAFIR opracowanego przez Uniwersytet w Liège i składają się z analizy wymiany ciepła oraz analizy naprężeń/przemieszczeń. Założenia dotyczące modelowania oraz uzyskane wyniki zostały objaśnione pod kątem zachowania konstrukcji i interakcji poszczególnych elementów.

Istotne jest podkreślenie faktu, iż metoda inżynierii pożarowej, zaproponowana w niniejszym dokumencie, odnosi się do projektowania zespolonych płyt i belek. Słupy nie stanowią przedmiotu analiz i dlatego muszą zostać zaprojektowane zgodnie z przepisami budowlanymi i przeciwpożarowymi.

Dodatkowo dla wykonanych symulacji założono stabilność modeli gwarantowaną przez warunki brzegowe. Oznacza to, że dodatkowo dla każdego projektu należy rozpatrzyć stateczność konstrukcji, ponieważ zależy ona od różnych warunków nieuwzględnionych w niniejszym opracowaniu.

Ostatecznym celem projektu jest metodologia projektowania płyt i belek w otwartych parkingach o konstrukcji stalowej bez stosowania zabezpieczeń ogniochronnych, opracowana przy zastosowaniu metod inżynierii pożarowej.

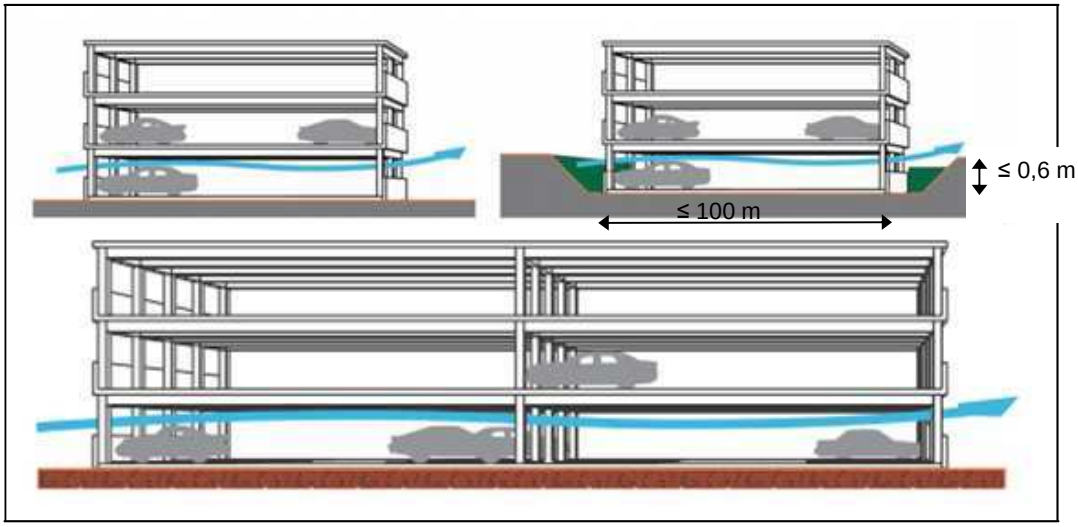
2 Zakres stosowania i przepisy

2.1 Parking otwarty

Metoda projektowa przedstawiona w niniejszym dokumencie ma zastosowanie, jak wskazano na samym początku, do otwartych parkingów o konstrukcji stalowej. Zgodnie z przepisami budowlanymi parking uważa się za otwarty, jeśli spełnione są następujące warunki:

- Całkowita powierzchnia otworów (na każdym poziomie) > 35 % całkowitej powierzchni ścian
- Odległość między ścianami z otworami <100 m

Te dwa warunki zapewniają naturalną wentylację, jak pokazano na Rys. 2-1, co pozwala uniknąć nagromadzenia dymu i dodatkowego wzrostu temperatury.



Rys. 2-1 Wentylacja naturalna w parkingach otwartych

2.2 Konstrukcja

Wszystkie badania i analizy w ramach projektu zostały przeprowadzone dla konstrukcji z systemem zespolonych stropów i belkami stalowymi walcowanymi na gorąco.

W przedstawionym wstępnym projekcie został wykorzystany tylko jeden system płyt - Cofraplus 60. Specyfikacja tej płyty została przedstawiona w Załączniku 2.

2.3 Geometria

Biorąc pod uwagę polskie przepisy i zalecenia, w parkingach otwartych muszą być zapewnione następujące minimalne wymiary:

- Pojedyncze miejsce parkingowe: co najmniej 2,3 m x 5 m (szerokość x długość)
- Wysokość (pomiędzy podłogą a sufitem): co najmniej 2,2 m
- Wysokość (pomiędzy podłogą a instalacjami pod sufitem): co najmniej 2,0 m
- Szerokość drogi dojazdowej: co najmniej 5,7 m (gdy samochody są parkowane prostopadle do drogi)

Biorąc pod uwagę powszechne praktyki i tendencje obserwowane w wielu krajach, zaleca się stosować wymiar 2,5 m x 5 m dla pojedynczego miejsca parkingowego oraz 6 m dla szerokości drogi dojazdowej. Warto wspomnieć, że wszystkie badania, do których podano odniesienia w niniejszym tekście, przeprowadzono dla szerokości miejsca parkingowego 2,5 m.

2.4 Górna powierzchnia płyty

Płyta betonowa w podłodze parkingu odgrywa ważną rolę jako element konstrukcyjny zespolonego stropu stalowego lub zespolonej belki stalowej oraz jako powierzchnia ruchu samochodowego. W związku z tym musi być wystarczająco wytrzymała i twarda w górnej części. Beton stropu musi być również odporny na korozję spowodowaną wilgocią oraz w przypadku niezadaszonego górnego piętra parkingu – korozję spowodowaną zamarzaniem i rozmarzaniem wody i solą używaną w czasie zimy.

Biorąc pod uwagę ryzyko korozji powierzchni stropów pośrednich, warunki środowiskowe betonu można sklasyfikować jako XC1 zgodnie z Tabelą 4.1 [PN-EN-1992-1-1]. Dla tej klasy ekspozycji charakterystyczną klasą wytrzymałości betonu z tabeli E.1N [PN-EN-1992-1-1] jest C20/25. Jednakże podczas szacowania wartości minimalnej otuliny zbrojenia z tabeli 4.3N zaleca się dla tej samej klasy

ekspozycji XC1 klasę wytrzymałości betonu nie mniejszą niż C30/37 (okres użytkowania 100 lat).

Tak więc w przypadku stropu narażonego na oddziaływania klimatyczne minimalna klasa betonu może być dokładnie dobrana i zależy od ochrony zbrojenia przed korozją przez otulinę betonu, która może być zwiększona przez wykończenia górnej powierzchni stropu.

Istnieją dwie główne metody wykańczania górnej powierzchni stropów parkingu.

DST - posypka utwardzająca. Ta metoda wykańczania polega na rozsypywaniu na wylewanym betonie powierzchniowego materiału utwardzającego, który jest mechanicznie rozcierany na całej powierzchni. Następnie konieczne jest spryskanie powierzchni środkiem impregnującym.

Wykończenia epoksydowe. Ta warstwa ochronna o grubości 1 do 5 mm jest tworzona poprzez malowanie lub natryskiwanie na suchej powierzchni betonu materiałów polimerowych. Poza ochroną przed wodą wykończenia te charakteryzuje duża wytrzymałość i odporność na ścieranie. Mogą być one również barwione przez dodanie pigmentów do materiałów malarskich.

2.5 Otwarte parkingi w innych krajach europejskich

2.5.1 Francja

Wymagania dotyczące odporności ogniowej konstrukcji, nakładane przez przepisy z dnia 31 stycznia 1986 i przepisy w sprawie konstrukcji podlegających klasyfikacji, są następujące :

- parking otwarty jednokondygnacyjny: R 30;
- parkingi otwarte z co najwyżej dwoma poziomami: R 60;
- parkingi otwarte z więcej niż dwoma poziomami, ale nie wyższe niż 28 m: R 90;
- parkingi otwarte wyższe niż 28 m: R 120.

Nowe podejście

Obecny rozwój francuskich przepisów ustawowych dotyczących otwartych parkingów dąży do ustanowienia nowego podejścia. Prace badawcze i testy w skali rzeczywistej doprowadziły do rozwoju metodologii obliczeń mającej na celu weryfikację właściwości pożarowych otwartych parkingów w warunkach rzeczywistego pożaru. Budynek klasyfikowany jako otwarty parking, projektowany na podstawie nowej metody badań i obliczeń, podlega ograniczeniom związanym z wymogami dotyczącymi ewakuacji, wentylacji poprzez minimalne otwory w elewacji, maksymalnej odległości pomiędzy ścianami, powierzchni stropu, itd.

Wreszcie, istnieją zatwierdzone scenariusze pożarowe dla parkingów otwartych we Francji a stateczność ich konstrukcji w warunkach pożarowych sprawdza się na podstawie obliczeń opartych na właściwościach użytkowych w warunkach pożaru naturalnego.

Wszystkie obliczenia pożarowe muszą być zatwierdzone przez wykwalifikowane biuro kontroli.

2.5.2 Niemcy

Nie ma wymogu dotyczącego odporności ogniowej dla parkingów otwartych do 20 m wysokości.
Koncepcja pożaru naturalnego jest w zasadzie przyjęta, ale jak wszystkie projekty na warunki pożarowe musi zostać ona zweryfikowana i zatwierdzona przez właściwy organ.

2.5.3 Wielka Brytania

Przepisy budowlane w Wielkiej Brytanii są jasno sformułowane w odniesieniu do wymogów i dopuszczalnego podejścia do bezpieczeństwa pożarowego, odporności ogniowej i inżynierii pożarowej.
Istnieją niewielkie różnice dotyczące przepisów budowlanych Anglii i Walii, oraz przepisów Szkocji

i Irlandii Północnej. Jednakże projekt oparty o nakazowe metody musi zapewnić 15-minutową odporność ogniową w parkingach otwartych do 30 m wysokości. Większość uniwersalnych kształtowników stalowych bez zabezpieczeń posiada odporność ogniową 15 minut, a zatem większość otwartych parkingów w konstrukcji stalowej nie wymaga konstrukcyjnego zabezpieczenia ogniochronnego.

Stal w parkingach otwartych jest obecnie w większości przypadków niezabezpieczona.
W odniesieniu do metod inżynierii pożarowej przepisy pozostawiają wiele swobody w zakresie metody projektowania tak długo jak budynek zachowuje w warunkach pożarowych stateczność przez określony czas.

3 *Scenariusz pożarowy*

W ujęciu inżynierii pożarowej z zastosowaniem naturalnego modelu pożaru ważne jest ustalenie lokalizacji pożaru i jego mocy reprezentowanej przez szybkość wydzielania ciepła (RHR). Lokalizacja i obciążenie ogniowe składają się na tzw. scenariusz pożarowy.

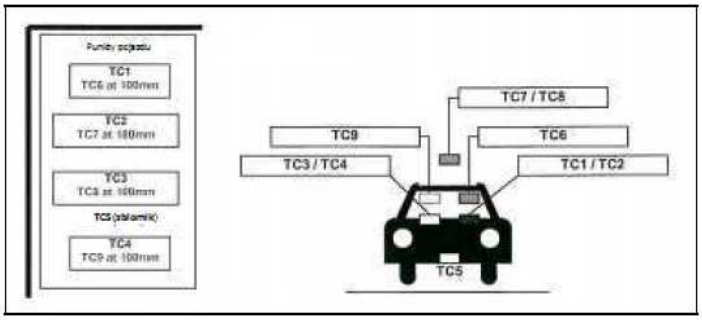
Istotne jest, aby do projektu wybrać scenariusz pożarowy, który jest najbardziej krytyczny dla konstrukcji. Nie oznacza to jednak najostrzejszego, ale najbardziej realistyczny scenariusz, oparty na badaniach i doświadczeniu. Ponieważ jest to kluczowe dla podejmowania decyzji, przed określeniem scenariusza pożarowego dla projektowania w Polsce, zostają zaprezentowane niektóre informacje podstawowe.

3.1 Klasyfikacja samochodów

Wspomniano już, że aby określić scenariusz pożaru należy znać szybkość wydzielania ciepła (RHR) samochodów. RHR jest mierzone liczbą megawatów wytwarzanych przez spalanie przedmiotu w czasie [MW]. Wartość ta jest określana doświadczalnie poprzez podpalenie samochodu pod okapem do badań kalorymetrycznych, jak pokazano na Rys. 3-1.

Rys. 3-1 Wyciąg do badań kalorymetrycznych

Pojazdy badane pod okapem do badań kalorymetrycznych są wyposażone tak, jakby były w stanie działającym. Posiadają cztery opony i koło zapasowe, zbiornik wypełniony w dwóch trzecich pojemności benzyną. Ponadto samochody mają poduszki powietrzne i klimatyzację. Wszystkie drzwi i okna są zamknięte, kiedy samochód zostaje podpalony przy pomocy 1,5 litra benzyny. Samochód został wyposażony w termoelementy, jak pokazano na Rys. 3-2.



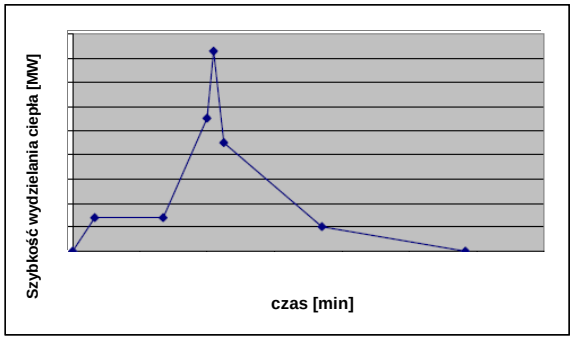
Rys. 3-2 Położenie termoelementów

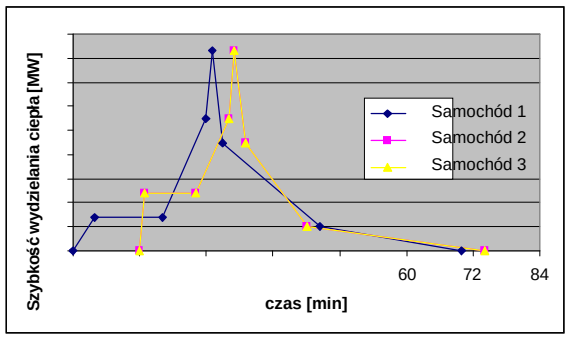
Badania pozwoliły na sklasyfikowanie samochodów w pięciu klasach w zależności od szybkość wydzielania ciepła. RHR zależy od charakterystyk samochodu, takich jak wielkość pojazdu, jego obciążenie, jego wiek, itp. Przykład klasyfikacji typów konkretnej marki należących do określonej klasy został przedstawiony na Rys. 3-3.

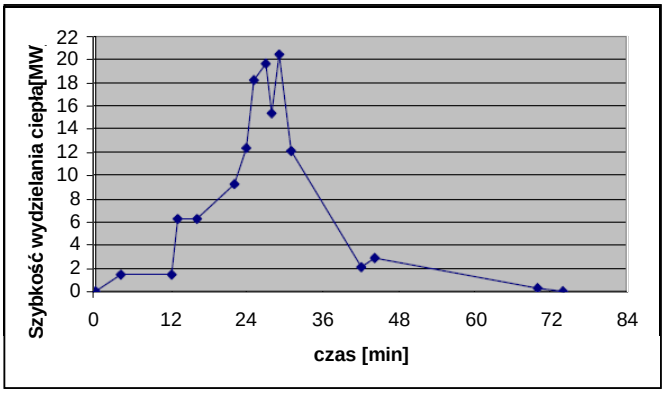
Marka	Klasa 1	Klasa 2	Klasa 3	Klasa 4	Klasa 5
Peugeot	106	306	406	605	806
Renault	Twingo/Clio	Megane	Laguna	Safrane	Espace
Citroën	Saxo	ZX	Xantia	XM	Evasion
Ford	Fiesta	Escort	Mondeo	Scorpio	Galaxy
Opel	Corsa	Astra	Vectra	Omega	Frontera
Fiat	Punto	Bravo	Tempra	Croma	Ulysse
Volkswagen	Polo	Golf	Passat	//	Sharan

Rys. 3-3 Klasyfikacja samochodów

Krzywe RHR spalanych samochodów uzyskano w badaniach w CTICM (1995-1996) [Sch1, 99]. Określona szybkość wydzielania zależna od czasu odpowiada każdej z tych 5 klas samochodów. Wykres na Rys. 3-4 po lewej przedstawia RHR dla klasy samochodu 3. Jest to klasa samochodu, najczęściej używana w scenariuszach pożarowych. Najwyższą wartość RHR dla tej klasy, osiągającą 8,3 MW, uzyskuje się po 25 minutach spalania.







Rys. 3-4 RHR dla samochodu klasy 3 (górny lewy wykres), RHR dla każdego z trzech samochodów przy rozprzestrzeniającym się pożarze (górny prawy wykres) i skumulowana wartość RHR dla trzech palących się samochodów (wykres dolny)

To samo badanie zostało wykorzystane do analizy rozprzestrzeniania ognia z jednego samochodu na drugi. Ustalono, że drugi samochód zapala się 12 minut po pierwszym samochodzie. Zmierzono również RHR dla drugiego samochodu ogarniętego ogniem. Pomimo faktu, że oba samochody należały do tej samej klasy, druga krzywa nieznacznie się różni, jak pokazano na Rys. 3-4 (górny prawy wykres). RHR dla drugiego samochodu zaczyna się 12 minut później. Na podstawie RHR dla każdego płonącego samochodu ustalić można oddziaływanie cieplne na elementy konstrukcyjne parkingu.

3.2 Statystyki

Dostępne statystyki są jednym z instrumentów, które pomagają określić krytyczne scenariusze. Analiza statystyczna pożarów z udziałem samochodów, została przedstawiona poniżej.

Liczba samochodów uczestniczących w pożarze

3 samochody: 10% pożarów samochodów;

2 samochody: 10% pożarów samochodów;

1 samochód: 80% pożarów samochodów

Klasyfikacja palących się samochodów

Klasa 1: 45 % (Renault Twingo, ...)

Klasa 2: 25 % (Renault Megane, …)

Klasa 3: 20 % (Renault Laguna, …)

Klasy 4 i 5: 10 % (Renault Espace, …)

Czas do ugaszenia pożaru

5,5 % pożarów samochodów: ugaszono przed przybyciem straży pożarnej

30 i 60 minut dla ugaszenia pożaru z udziałem **kilku samochodów** (50 % przypadków)

70 % pożarów z udziałem **1 samochodu**: ugaszono **do 15 minuty**

80 % pożarów z udziałem **2 samochodów**: ugaszono między **6 a 30 minutą**

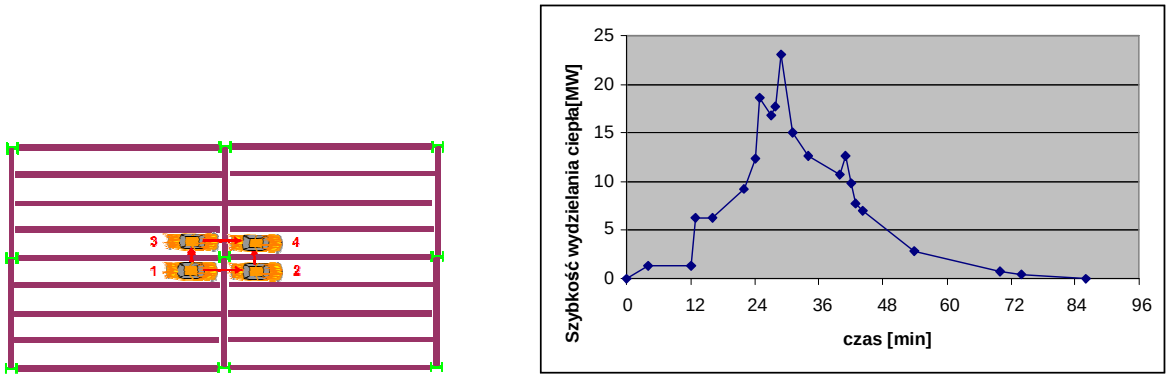
84 % pożarów z udziałem **3 samochodów**: ugaszono przez strażaków między **16 do 60 minutą**

3.3 Zidentyfikowane scenariusze pożarowe

Biorąc pod uwagę wyniki badań ogniowych przedstawione w poprzednich punktach oraz kolejne symulacje i statystyki, do wykorzystania w scenariuszach pożarowych wybrano klasę 3 samochodów, czyli samochodów porównywalnych z Renault Laguna, Oplem Vectra, Fordem Mondeo lub Volkswagenem Passatem. Jest to najczęściej używana klasa samochodów do analizy pożarowej parkingów, ponieważ jest ona wyższą klasą, niż najbardziej rozpowszechnione samochody na drogach, dlatego gwarantuje ona statystycznie bezpieczne podejście do projektowania.

Różne konfiguracje i liczby samochodów zostały przetestowane i wykorzystane w symulacjach. Wyniki pokazują, że duża liczba samochodów w scenariuszu pożarowym nie prowadzi do dalszego wzrostu temperatury konstrukcji, ponieważ ogień przemieszcza się, a nie kumuluje. Ponadto więcej niż trzy równocześnie palące się samochody to tak rzadki przypadek, że nie jest on reprezentowany przez znaczące liczby w statystykach. Dlatego też wybrano dwa scenariusze:

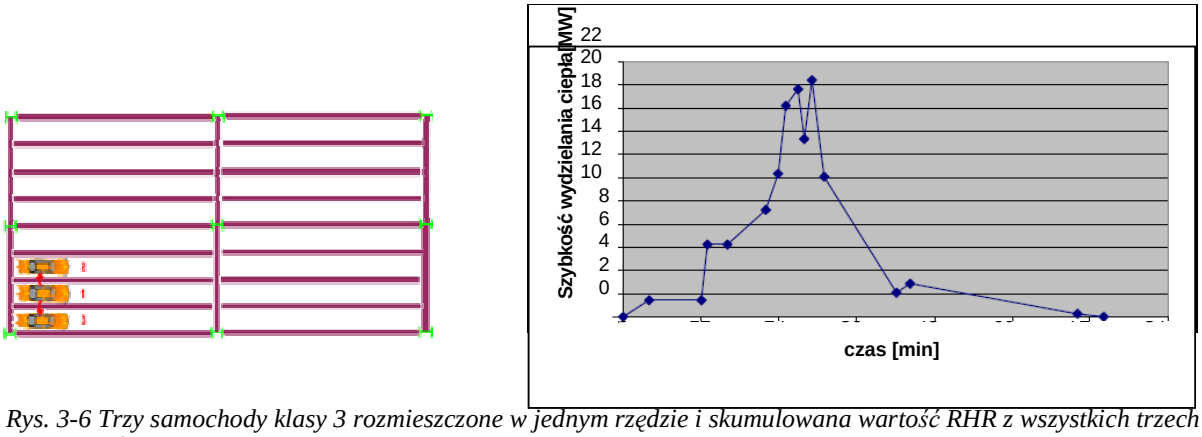
- cztery samochody wokół centralnego słupa (Rys. 3-5)
- trzy samochody w rzędzie w rogu parkingu (Rys. 3-6)



Rys. 3-5 Cztery samochody klasy 3 rozmieszczone wokół słupa i skumulowana wartość RHR z wszystkich czterech samochodów

Celem analizy wg pierwszego scenariusza jest ustalenie zachowania konstrukcji narażonej na 4 palące się samochody zlokalizowane wokół jednego słupa w środku parkingu.

Pożar rozpoczyna się o czasie t = 0 s w samochodzie nr 1. W pierwszym kroku pożar rozprzestrzenia się na samochody nr 2 i nr 3 po czasie Δt = 12 min, a w kolejnym kroku na samochód nr 4 po czasie Δt = 24 min od początku pożaru. Szybkość wydzielania ciepła dla samochodów klasy 3 przedstawiono na Rys. 3-5, gdzie maksymalna szybkość wydzielania ciepła wynosi 23 MW i zostaje osiągnięta po 29 min.



Rys. 3-6 Trzy samochody klasy 3 rozmieszczone w jednym rzędzie i skumulowana wartość RHR z wszystkich trzech samochodów

W drugim scenariuszu 3 samochody są umieszczone obok siebie w rogu parkingu. Skraj parkingu jest najbardziej narażoną częścią konstrukcji.

Pożar rozpoczyna się o czasie t = 0 w samochodzie nr 1 i rozprzestrzenia się na dwa pozostałe samochody (nr 2 i nr 3) po czasie Δt = 12 min. Tak jak poprzednio, symulacja została przeprowadzona dla samochodów klasy 3. Szybkość wydzielania ciepła przedstawiono na Rys. 3-6, gdzie maksymalna wartość RHR wynosi 20,5 MW.

4 *Oddziaływania na konstrukcję*

Konstrukcje parkingów są poddawane różnym obciążeniom stałym i zmiennym w zwykłych i wyjątkowych sytuacjach projektowych. Obciążenia te są różne w fazie budowy i eksploatacji konstrukcji.

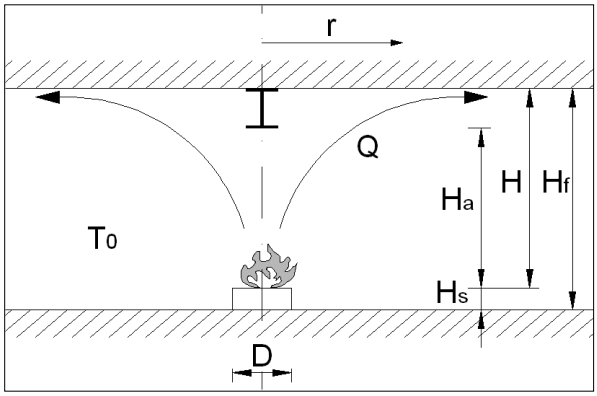
Na etapie budowy najważniejszymi obciążeniami są ciężar własny konstrukcji stalowych, ciężar własny mokrego betonu płyty stropowej oraz równomiernie rozłożone obciążenie technologiczne (wylewanie betonu). Na etapie eksploatacji najważniejszy jest ciężar własny stali, ciężar elementów zespolonych konstrukcji oraz obciążenie użytkowe stropu.

Do obliczeń konstrukcji parkingu należy wziąć również pod uwagę obciążenia klimatyczne, takie jak obciążenie śniegiem, obciążenie wiatrem i obciążenia temperaturą. Ze względu na specyficzną budowę otwartych parkingów z pionowymi stężeniami lub sztywnymi trzonami betonowymi, obciążenia klimatyczne mają drugorzędny wpływ na projekt stropów i słupów i nie są brane pod uwagę w niniejszym przewodniku. Jeśli jednak na ostatniej kondygnacji nie ma dachu, wymagane jest dodatkowo sprawdzenie pod kątem obciążenia śniegiem.

Odrębnym problemem jest ochrona przeciwpożarowa i zachowanie konstrukcji podczas pożaru, w warunkach wysokiej temperatury. Jest to sytuacja wyjątkowa i musi być brana pod uwagę w projekcie wraz z odpowiednią kombinacją obciążeń.

4.1 Pożar lokalny

Strumień ciepła przejmowany przez elementy konstrukcji oblicza się wykorzystując model pożaru lokalnego. Zgodnie z przyjętym scenariuszem, strumienie ciepła odbierane przez elementy, będą funkcją ich rozmieszczenia w stosunku do palących się pojazdów i czasu. Oddziaływanie płomieni na konstrukcję oblicza się, jako funkcję następujących parametrów wskazanych na Rys. 4-1:



Rys. 4-1 Parametry pożaru lokalnego

Q (W) – RHR samochodów

Ha (m) – pionowa odległość dolnej półki belki od podłogi (w przypadku obecności belek)

Hs (m) – pionowa odległość źródła ognia od stropu. Dla ognia pochodzącego z samochodu, odległość przyjmuje się jako **Hs = 0,3 m [Sch1, 99]**

D (m) – Średnica pożaru. Dla obliczeń parkingu **D = 3,9 m [Sch1, 99]**

r (m) – Odległość pomiędzy osią pożaru, a punktem, gdzie obliczony został strumień ciepła netto

Przy analizie parkingów przyjmuje się hipotezę, iż pożar oddziaływuje na sufit, i dlatego stosuje się metodę obliczeń Hasemiego [Sch2, 99]. Metodę tę opisano w Załączniku C do EN 1991-1-2.

Kiedy płomień oddziaływuje na sufit, strumień ciepła [kW/m2] odbierany przez jednostkowy obszar powierzchni narażonej na oddziaływanie ognia na poziomie sufitu, wynosi:

Dla y < 0,3 $\dot{h} = 100$

Dla 0,3 < y < 1 $\dot{h} = 136{,}3$ *do* 121 *y*

Dla y > 1 $\dot{h} = 15\ y^{-3{,}7}$

gdzie

$$y = \frac{r + H + z'}{L_h + H + z'}$$ - bezwymiarowy parametr [-]

$$L_h = (2.9\,H\,(Q_H^*)^{0.33}) - H$$ - pozioma długość płomienia [m]

$$Q_H^* = Q/(1.11 \cdot 10^6\ H^{2.5})$$ - bezwymiarowa szybkość wydzielania ciepła [-]

$$z' = 2.4\,D\,(Q_D^{*2/5} - Q_D^{*2/3}) \quad gdy\ Q \leq 1$$
$$z' = 2.4\,D\,(1 - Q_D^{*2/5}) \quad gdy\ Q \geq 1$$
- pionowe położenie wirtualnego źródła ciepła [m]

$$Q_D^* = Q/(1.11 \cdot 10^6\ D^{2.5})$$ - bezwymiarowa szybkość wydzielania ciepła [-]

W przypadku kilku pożarów lokalnych, strumień ciepła przejmowany przez element konstrukcji odpowiada sumie strumieni ciepła pochodzących ze wszystkich pożarów lokalnych.
Jednakże całkowity strumień ciepła jest ograniczony maksymalnie do 100 kW/m² zgodnie z Załącznikiem C do EN 1991-1-2.

4.2 Wymiana ciepła

Na podstawie określonych w poprzednim etapie oddziaływań termicznych na elementy konstrukcji, zostały ustalone, zależne od czasu wartości temperatury, osiągane przez te elementy.

Jeśli pole temperatury w elemencie konstrukcji nie jest jednorodne, obliczenia wymiany ciepła muszą być wykonywane za pomocą oprogramowania z uwzględnieniem wymiany ciepła w „co najmniej” 2 wymiarach.

W przeciwnym wypadku, przy polu o jednorodnej temperaturze, można zastosować uproszczony model obliczeń zgodnie z Eurokodem 3 Części 1-2.

Strumień ciepła netto $\dot{h}_{net}$ odbieranego przez jednostkową powierzchnię nagrzewanego sufitu, uzyskuje się na podstawie całkowitego strumienia ciepła odbieranego przez konstrukcję. Obliczanie strumienia ciepła netto uwzględnia efekt wentylacji pochodzący stąd, iż parking jest otwarty.

$$\dot{h}_{net} = \dot{h} - \alpha_c\,(\Theta_m - 20) - \Phi\,\varepsilon_m\,\varepsilon_f\,\sigma\,[(\Theta_m + 273)^4 - (20 + 273)^4]$$

gdzie

α_c - współczynnik przejmowania ciepła przez konwekcję dla materiału elementu

Θ_m - temperatura powierzchni elementu [C º]

Φ - współczynnik konfiguracji

ε_m - emisyjność powierzchni elementu [C º]

ε_f - emisyjność ognia

σ - stała Stefana Boltzmanna (= 5,67 10^{-8} W/m² K^4)

Aby uzyskać równoważny równomierny rozkład temperatury w przekroju poprzecznym, przyrost temperatury $\Delta\theta_{a,t}$ w niezabezpieczonych elementach konstrukcji stalowych w przedziale czasu Δt należy wyznaczać z:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh}\frac{A_m/V}{c_a\rho_a}\dot{h}_{net}\Delta t$$

gdzie:

k_{sh} jest współczynnikiem poprawkowym uwzględniającym efekt zacienienia;

A_m / V jest wskaźnikiem przekroju niezabezpieczonych stalowych elementów konstrukcji [1/m];

A_m jest powierzchnią elementu konstrukcji na jednostkę długości [m²/m];

V jest objętością elementu konstrukcji na jednostkę długości [m³/m];

c_a jest ciepłem właściwym stali [J/kgK];

$\dot{h}_{net}$ jest wartością obliczeniową strumienia ciepła netto na jednostkę powierzchni [W/m^2];

Δt jest przedziałem czasu [s];

ρ_a jest gęstością stali [kg/m].

4.3 Oddziaływanie mechaniczne

Belki i płyty stropowe w pierwszej kolejności muszą być zaprojektowane na warunki normalne dla kombinacji obciążeń w SGN i SGU.

W SGN przy projektowaniu z uwagi na wytrzymałość (STR – PN-EN-1993-1-1) w warunkach normalnych, podstawowa kombinacja obciążeń jest zgodna z następującą formułą:

$$\sum_{i\geq 1}\gamma_{G,i}G_{k,i} + \gamma_{Q,i}Q_{k,1} + \sum_{j\geq 1}\gamma_{k,j}\psi_{0,j}Q_{k,j}$$

Gdzie:

$G_{k,i}$ jest wartością charakterystyczną oddziaływań stałych

$Q_{k,1}$ jest wartością charakterystyczną dominującego oddziaływania zmiennego

$Q_{k,j}$ jest wartością charakterystyczną towarzyszących oddziaływań zmiennych

$\gamma_{G,i}$ jest częściowym współczynnikiem obciążenia dla oddziaływań stałych

$\gamma_{Q,i}, \gamma_{k,j}$ są częściowymi współczynnikami obciążenia dla oddziaływań zmiennych
$\psi_{0,j}$ są współczynnikami kombinacyjnymi

Dlatego w przypadku elementów konstrukcyjnych parkingu kombinacja obciążeń przy projektowaniu z uwagi na wytrzymałość (STR), wynosi:

$$1,35\sum_{i\geq 1} G_{k,i} + 1,5 Q_{k,1}$$

gdzie zgodnie z PN-1991-1-1 (i PN 80/B-02000, 02001, 02002):

- na etapie użytkowania

  $G_{k,i}$ = ciężar wyschniętego betonu + ciężar stalowego szalunku (+ ciężar belek stalowych)

  $Q_{k,1}$ = 2,5 kN/m^2

- na etapie budowy

  $G_{k,i}$ = ciężar mokrego betonu + ciężar stalowego szalunku (+ ciężar belek stalowych)

  $Q_{k,1}$ = 0,6 kN/m^2

W SGU ugięcia elementów stalowych obliczone dla wartości częstych kombinacji odwracalnych obciążeń:

$$\sum_{i\geq 1} G_{k,i} + Q_{k,1},$$

nie powinno przekraczać wartości przedstawionych w PN-EN 1993-1-1, to jest:

- dla belek drugorzędnych L/250
- dla belek głównych L/350

W sytuacji pożarowej, obciążenia konstrukcji można uzyskać zgodnie z następującym wzorem podanym w PN-EN 1990:

$$\sum_{i\geq 1} G_{k,i} + (\psi_{1,1}\ lub\ \psi_{1,2})\, Q_{k,1} + \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

gdzie:

$G_{k,i}$ jest wartością charakterystyczną oddziaływań stałych

$Q_{k,1}$ jest wartością charakterystyczną dominującego oddziaływania zmiennego

$Q_{k,i}$ jest wartością charakterystyczną towarzyszących oddziaływań zmiennych

$\psi_{1,1}$ jest współczynnikiem dla wartości częstych oddziaływań zmiennych

$\psi_{2,i}$ jest współczynnikiem dla wartości prawie stałych oddziaływań zmiennych

Zalecane wartości ψ_1 i ψ_2 podano w tablicy A.1.1 w EN 1990, ale mogły być one zmodyfikowane w Załączniku krajowym.

W polskim Załączniku krajowym zaleca się stosowanie wartości częstej $\psi_{1,1}$ Q_1 jako wartości reprezentatywnej obciążenia zmiennego Q_1 . Dlatego też kombinacja dla sytuacji pożarowej dla parkingu przedstawia się następująco:

$$1\,G + 0{,}7Q$$

5 *Wymagania i zalecenia*

5.1 Materiał – Właściwości

5.1.1 Belki stalowe

Właściwości cieplne:

- Współczynnik przejmowania ciepła przez konwekcję (powierzchnia nagrzewana) = 35
- Współczynnik przejmowania ciepła przez konwekcję (powierzchnia nienagrzewana) = 4
- Względna emisyjność = 0,7

Właściwości mechaniczne:

- Moduł Younga = $2{,}1 \times 10^{11}$ N/m^2
- Współczynnik Poissona = 0,3
- Granica plastyczności = $2{,}35 \times 10^8$ N/m^2 lub $3{,}55 \times 10^8$ N/m^2

5.1.2 Beton zwykły

Zaleca się stosowanie betonu zwykłego klasy C30/37, ponieważ w niektórych przypadkach jest to najniższa dopuszczalna klasa przy projektowaniu na warunki pożarowe. Dodatkowo, zastosowanie tego gatunku nie nakłada dodatkowych wymagań w zakresie wykończenia powierzchni stropu, zgodnych z warunkami środowiskowymi i wymaganiami dla parkingów otwartych. Stosowanie betonu klasy C20/25 jest jednak dozwolone, ale po dokonaniu dodatkowej weryfikacji. W studium przedstawionym w niniejszym dokumencie zastosowano klasę C30/37.

Właściwości cieplne:

- Współczynnik przejmowania ciepła przez konwekcję (powierzchnia nagrzewana) = 35
- Współczynnik przejmowania ciepła przez konwekcję (powierzchnia nienagrzewana) = 4
- Względna emisyjność = 0,7
- Wilgotność = 2%

Właściwości mechaniczne:

- Współczynnik Poissona = 0,3
- Wytrzymałość na ściskanie = $0{,}3 \times 10^8$ N/m^2
- Wytrzymałość na rozciąganie = $0{,}3 \times 10^7$ N/m^2

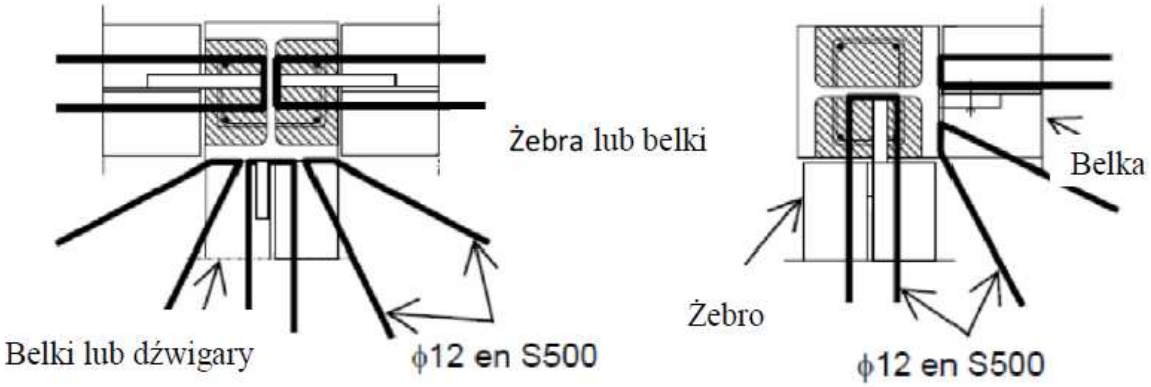
5.1.3 Stal zbrojeniowa

Właściwości mechaniczne:

- Moduł Younga = $2{,}1 \times 10^{11}$ N/m^2
- Współczynnik Poissona = 0,3
- Granica plastyczności = 5×10^8 N/m^2

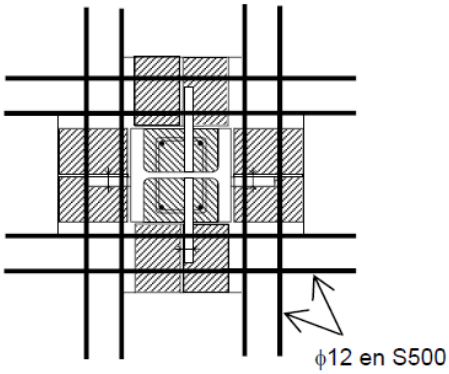
5.2 Dodatkowe zbrojenie

(1) Wymagane jest połączenie pomiędzy skrajnym słupem a betonową płytą; należy je zapewnić poprzez zbrojenie o minimalnej średnicy 12 mm montowane w stalowym słupie (patrz Rys. 5-1).



Rys. 5-1 Połączenie dodatkowego zbrojenia ze skrajnym słupem

(2) Dla słupów środkowych należy zapewnić ciągłość zbrojenia w płycie betonowej przez dodatkowe pręty (Rys. 5-2)



Rys. 5-2 Szczegóły dodatkowego zbrojenia wokół środkowego słupa

(3) Arkusz spawanej siatki musi zachować dostateczne połączenie, za pomocą łbów sworzni, z belkami skrajnymi (żebra i belki główne); osiągnąć to można poprzez dodatkowe zbrojenie. Zbrojenie to powinno posiadać dodatkową długość kotwienia, wystarczającą do uzyskania trwałego zakotwienia w płycie.

5.3 Połączenia

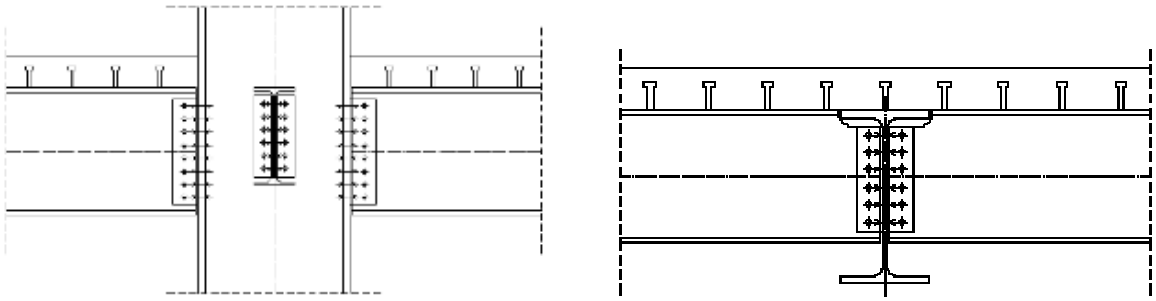
Stalowe elementy konstrukcyjne głównej konstrukcji parkingu zaprojektowano z kształtowników dwuteowych walcowanych na gorąco. Belki drugorzędne to kształtowniki IPE lub HEA, belki główne (dźwigary) to przede wszystkim kształtowniki HEA lub w niektórych przypadkach IPE. Zaleca się, aby przekrój poprzeczy połączonych ze sobą belek dobierany był w taki sposób, aby we wszystkich przypadkach wysokość belki drugorzędnej nie przekraczała wysokości połączonej z nią belki głównej. W związku z tym konstrukcja połączenia jest prosta i łatwa do wykonania.

W przypadku systemu ram stężonych zaleca się stosowanie połączeń przegubowych wykonanych za pomocą prostych połączeń śrubowych.

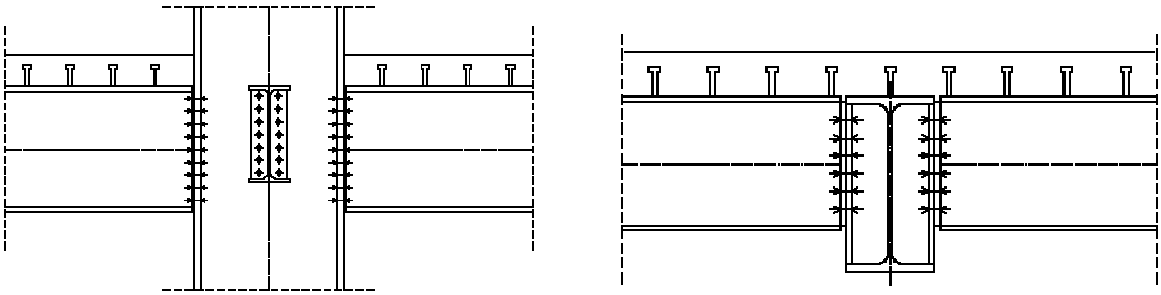
Możliwe jest wykorzystanie dwóch rodzajów połączeń śrubowych w rozważanej sytuacji:

- Połączenie na nakładki z kątowników (Rys. 5-3)
- Połączenia na blachy czołowe (Rys. 5-4)

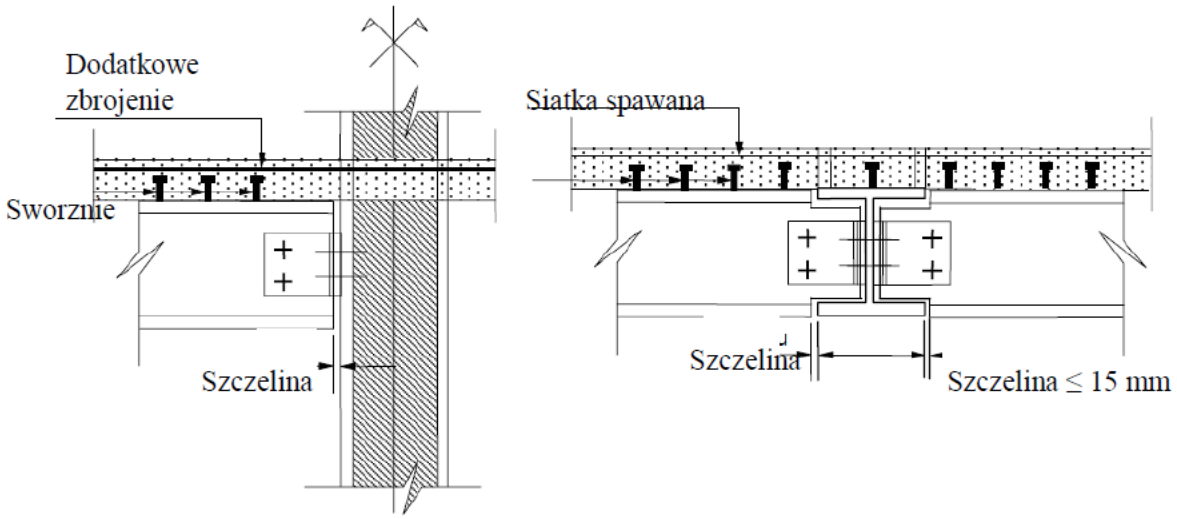
Wybór typu połączenia zależy od producenta konstrukcji stalowych i musi zostać sprawdzony zgodnie z PN-EN-1993-1-2: 2005.



Rys. 5-3 Połączenie na nakładki z kątowników



Rys. 5-4 Połączenia na blachy czołowe



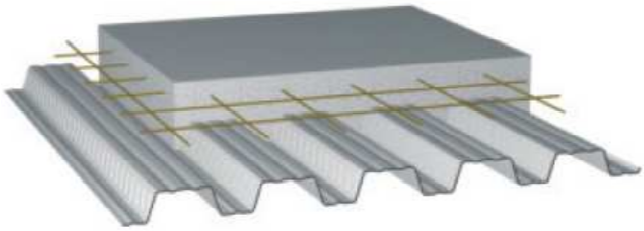
Rys. 5-5 Połączenie belka-słup i belka-belka

Gdy połączenie belka-słup i belka-belka wykonane jest za pomocą złącza przegubowego, dolna półka belki musi zachować maksymalny luz 15 mm w celu zapewnienia nośności przy zginaniu momentem ujemnym w przypadku pożaru (patrz Rys. 5-5). Stosować można wszelkie inne połączenia zapewniające co najmniej taką samą nośność przy zginaniu momentem ujemnym (np. połączenia na blachy czołowe).

5.4 Konstrukcja zespolona

5.4.1 Płyta zespolona

Płyty zespolone składają się z profilowanego stalowego szalunku jako stałej konstrukcji dla spodniej części płyt betonowych (na etapie budowy). Szalunek pracuje w zespoleniu z betonem pod obciążeniem (etap eksploatacji). Przejmuje obciążenia, które są obecne zanim beton uzyska odpowiednią wytrzymałość i zazwyczaj nie wymaga stemplowania na etapie budowy. Zbrojenie w formie lekkiej siatki umieszcza się w betonie głównie jako „zbrojenie pożarowe", ale również w celu zmniejszenia pękania w wyniku skurczu i ujemnego momentu nad podporami (Rys. 5-6).



Rys. 5-6 Płyty zespolone

Jako profilowany szalunek w parkingach została wybrana blacha Cofraplus. Osiąga ona odpowiedni stopień zespolenia z betonem dzięki tłoczeniom i nacięciom (otwory w żebrach) wokół profilu.

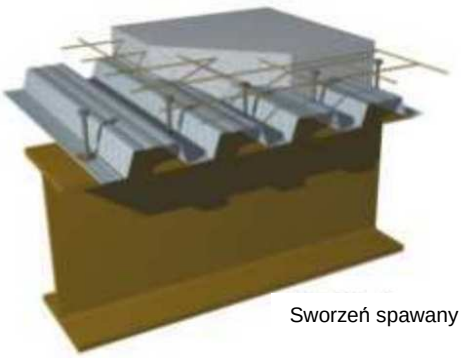
Projektowanie stalowego szalunku (na etapie budowy) jest ujęte w Eurokodzie 3 (PN-EN-1993-1-1) Część 1.3, która dotyczy konstrukcji kształtowników stalowych, szalunków i pokryć dachowych.

Sprężysty moment bezwładności przekroju ustala się biorąc pod uwagę efektywną szerokość cienkościennych stalowych elementów ściskanych.

Projekt płyty zespolonej (na etapie eksploatacji) zazwyczaj opiera się na informacjach dostarczanych przez producenta w postaci tabel dopuszczalnych obciążeń. Wartości te są określane na podstawie wyników badań i ich interpretacji zgodnie z wymaganiami Eurokodu 3 (PN-EN 1993-1-4).

5.4.2 Belki zespolone

Belka zespolona I to zazwyczaj kształtownik teowy z szeroką półką. Półka betonowa jest ściskana, a kształtownik stalowy zasadniczo jest rozciągany. Siły pomiędzy oboma materiałami są przekazywane przez łączniki ścinane. Korzyści oddziaływania zespolonego obejmują zwiększoną wytrzymałość i sztywność, które wpływają na ekonomię konstrukcji.



Rys. 5-7 Belka zespolona

Belka stalowa w fazie budowy projektowana jest zgodnie z Eurokodem 3 (PN-EN-1993-1-1). Przyjmuje się, że belki są poprzecznie zamocowane przez stalowy szalunek w przypadkach, gdy szalunek rozciąga się prostopadle do belki (belki drugorzędne) i są z nim bezpośrednio połączone za pomocą spawanych sworzni. W przypadkach, gdy szalunek rozciąga się równolegle do belki (belki główne), poprzeczne zamocowanie zapewniają jedynie belki drugorzędne, a nośność belki przy wyboczeniu ustala się dla długości efektywnej belki pomiędzy belkami drugorzędnymi.

Zgodnie z Eurokodem 3 (PN-EN-1993-1-4) obliczenia belek zespolonych opiera się na koncepcji szerokości efektywnej ściskanej półki betonowej. Szerokość efektywna jest ograniczona przez wpływ zjawiska „shear lag" związanego z odkształceniami betonu w płaszczyźnie.

Nośność przekroju zespolonego przy zginaniu zależy od klasy kształtownika stalowego i stopnia zespolenia pomiędzy belką stalową i płytą betonową.

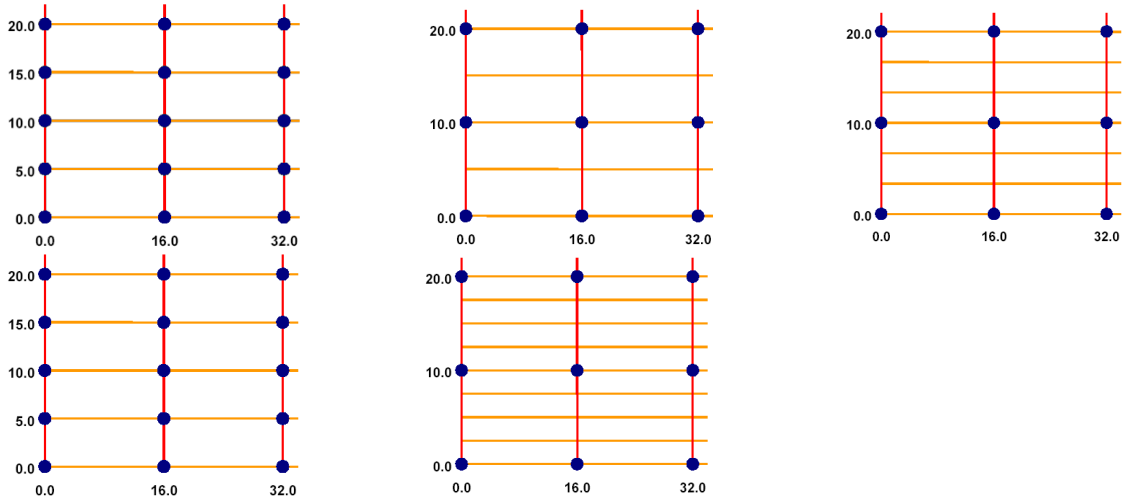
Nośność belki zespolonej przy ścinaniu obliczana jest na podstawie nośności na ścinanie kształtownika stalowego.

Ugięcie belki zespolonej pod działaniem momentu dodatniego obliczane jest z uwzględnieniem równoważnego przekroju stalowego uzyskanego przez podzielenie składowej betonu przez stosunek modułów sprężystości betonu i stali n=Ec/E.

6 *Analiza przypadków*

Metoda projektowania przedstawiona w niniejszym dokumencie, która obejmuje inżynierię pożarową, pożar lokalny, oddziaływanie membranowe i projektowanie oparte na właściwościach użytkowych, została zastosowana do 5 różnych geometrii parkingów otwartych zilustrowanych na Rys. 6-1. Dodatkowo, zastosowano dwa gatunki stali (S235, S355), co prowadzi do uzyskania 10 wstępnie zaprojektowanych konstrukcji.

Główny moduł geometryczny konstrukcji tworzą słupy zlokalizowane na siatce 16 m x 10 m (lub 5 m). Ta siatka umożliwia lokalizację parkingu dla samochodów o rozmiarze 5 m x 2,5 m pozostawiając 6 m na drogę pomiędzy miejscami parkingowymi. Wysokość słupów wynosi 2,9 m od poziomu stropu do następnego stropu. Takie rozwiązanie spełnia minimalne wymagania dla wysokości pomiędzy podłogą a dolną półką belki oraz pomiędzy podłogą i sufitem. Mimo, że słupy nie są częścią projektu, wysokość jest ważna w celu ustalenia rozmiaru płomienia pożaru lokalnego.

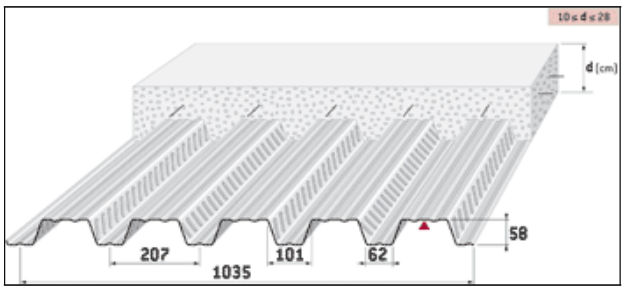


Rys. 6-1 Proponowany układ konstrukcyjny parkingu otwartego

Dla konstrukcji zaproponowano stalowy system stropowy Cofraplus 60. Grubość stropu wynosi d=120 mm dla większości prezentowanej geometrii, jednak w kilku przypadkach większych rozpiętości, konieczna jest grubość d=150.

Płytę pokazano na Rys. 6-2. Zastosowano szalunek stalowy o grubości 0,75 mm i beton zwykły o wytrzymałości C30/37.

Siatka 150x150mm o średnicy 6 mm do 8 mm w zależności od rozpiętości, umieszczona jest w odległości 3 cm od góry płyty. Otulina 3 cm jest również wymagana przez przepisy środowiskowe. Do zbrojenia stosowana jest zawsze stal gatunku S500.



Rys. 6-2 Cofraplus 60

7 Modelowanie metodą elementów skończonych

Podejście zaprezentowane w tym dokumencie dotyczy koncepcji pożaru naturalnego i modelu pożaru lokalnego. Dlatego też do analizy nie można użyć danych tabelarycznych i należy stosować zaawansowane metody obliczeń. Projekt na warunki pożarowe obejmuje dwa etapy.

Dla celów opracowania niniejszej pracy zastosowano SAFIR, specjalny program komputerowy do analizy konstrukcji w warunkach normalnych i w temperaturze podwyższonej. Program, który jest oparty na metodzie elementów skończonych (MES) może być używany do analizy konstrukcji jedno, dwu i trójwymiarowych. Program (SAFIR) został opracowany na uniwersytecie w Liège w Belgii.

Jako program wykorzystujący metodę elementów skończonych, SAFIR wykorzystuje różne elementy dla różnych modeli, procedur obliczeń i różnych charakterystyk materiałowych naprężenie – odkształcenie. Wśród elementów znajdują się elementy 2-D SOLID, 3-D SOLID, BEAM, SHELL, TRUSS. Wykorzystywane prawa materiałowe ‘naprężenie – odkształcenie’ to zazwyczaj związki liniowo-eliptyczne dla stali i nieliniowe dla betonu.

Analiza konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe za pomocą programu może składać się z kilku kroków. Pierwszy etap polega na obliczeniach rozkładu temperatury wewnątrz elementów konstrukcyjnych, dalej zwanych „analizą termiczną”.

Dla elementów 3-D BEAM może być niezbędna analiza skręcania w przypadku przekrojów podatnych na zwichrzenie i wtedy, gdy tabela funkcji zwichrzenia i sztywność skrętna przekroju poprzecznego nie są dostępne. Ostatnia część analizy, określana jako „analiza konstrukcyjna”, jest przeprowadzana przede wszystkim w celu wyznaczenia odpowiedzi konstrukcji na obciążenia statyczne i cieplne.

Symulacje przeprowadzono w następujący sposób.

Analiza termiczna przeprowadzana jest dla dwuwymiarowego przekroju poprzecznego elementu konstrukcji. Model konstrukcyjny budowany jest z elementów belkowych reprezentujących belki i słupy stalowe oraz elementów powłokowych reprezentujących płyty.

Model konstrukcyjny musi być przygotowany z wyprzedzeniem w celu określenia, gdzie dokładnie w konstrukcji znajduje się źródło pożaru. Ponieważ stosuje się model pożaru lokalnego, dla każdego z elementów siatki modelu konstrukcyjnego zostaje indywidualnie obliczony rozkład temperatury w zależności od czasu.

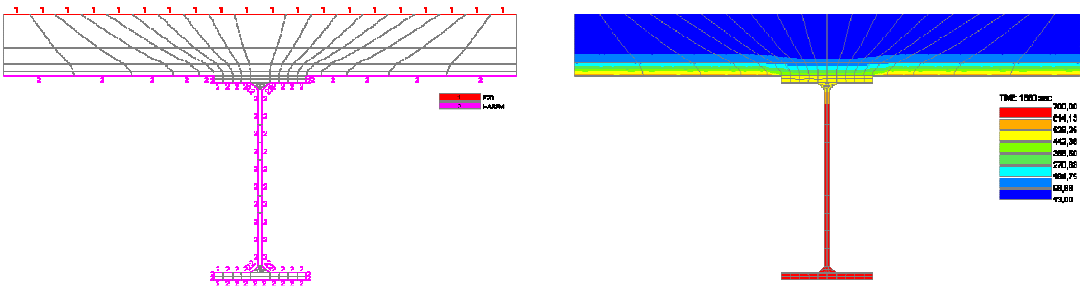
7.1 Analiza termiczna

Analiza termiczna jest przeprowadzana dla każdego elementu siatki modelu konstrukcyjnego w warunkach oddziaływania pożaru lokalnego. Każdy z tych elementów jest reprezentowany przez model 2D jego przekroju w celu symulacji szczegółowego rozkładu temperatury.

7.1.1 Belki

Mimo że belka i płyta modelowane są niezależnie w fazie analizy termicznej, w celu uzyskania rzeczywistego rozkładu temperatury w belkach dodaje się warstwę płyty betonowej. Płyta betonowa ma znaczący wpływ na temperaturę, zwłaszcza w górnej półce kształtownika stalowego. Ważne jest, aby jedynie temperatura belki stalowej uzyskana w niniejszej analizie była wykorzystywana w analizie konstrukcyjnej.

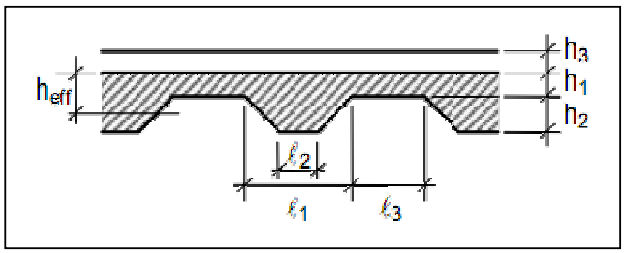
Na Rys. 7-1 pokazano warunki brzegowe. Kształtownik stalowy i dolna część płyty odbierają strumień ciepła uzyskany z modelu Hasemiego. Wartości zależą od lokalizacji elementu w stosunku do źródła pożaru. Górna część betonu na początku symulacji poddawana jest działaniu temperatury otoczenia, która zmienia się wraz z wymianą ciepła w całym kształtowniku.



Rys. 7-1 Rozkład temperatury w kształtowniku stalowym

7.1.2 Płyta

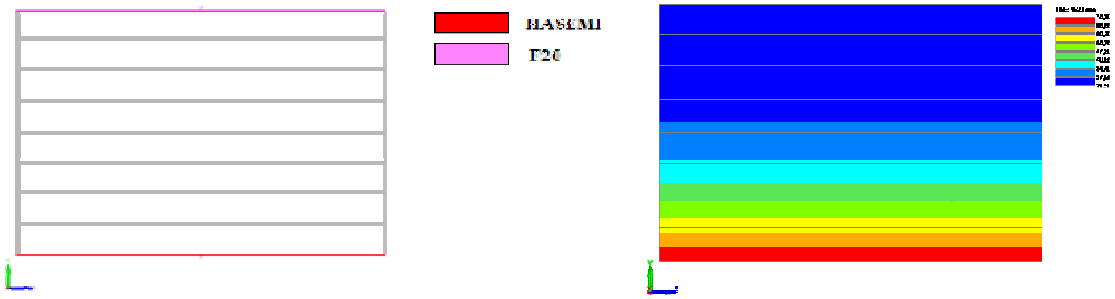
Na Rys. 7-2 przedstawiono przekrój płyty stropowej zastosowanej w konstrukcji. Dla takiej płyty EN 1994-1-2:2005 Załącznik D daje możliwość obliczenia efektywnej grubości płyty zespolonej i stosowania w ten sposób uproszczonej geometrii. Efektywna grubość płyty zespolonej została obliczona za pomocą następujących równań:



Rys. 7-2 Geometria płyty Cofraplus 60

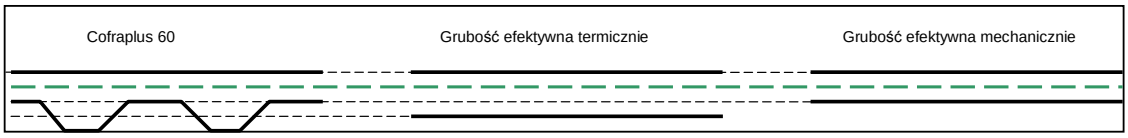
$$\begin{cases} h_{eff} = h_1 + 0.5\, h_2 \left(\dfrac{l_1 + l_2}{l_1 + l_3} \right) & dla \quad \dfrac{h_2}{h_1} < 1.5 \;\; i \qquad h_1 > 40mm \\ h_{eff} = h_1\, (1 + 0.75 \left(\dfrac{l_1 + l_2}{l_1 + l_3} \right)) & dla \quad \dfrac{h_2}{h_1} > 1.5 \;\; i \qquad h_1 < 40mm \end{cases}$$

Ostatecznie analizowano model płyty przedstawiony na Rys. 7-3, gdzie strumień ciepła na dolnej krawędzi ustala się na podstawie modelu Hasemiego i lokalizacji elementu w stosunku do źródła ognia. Podobnie jak w modelu belki, górna krawędź znajduje się początkowo w temperaturze otoczenia, która zmienia się wraz z wymianą ciepła.



Rys. 7-3 Rozmieszczenie temperatury w płycie

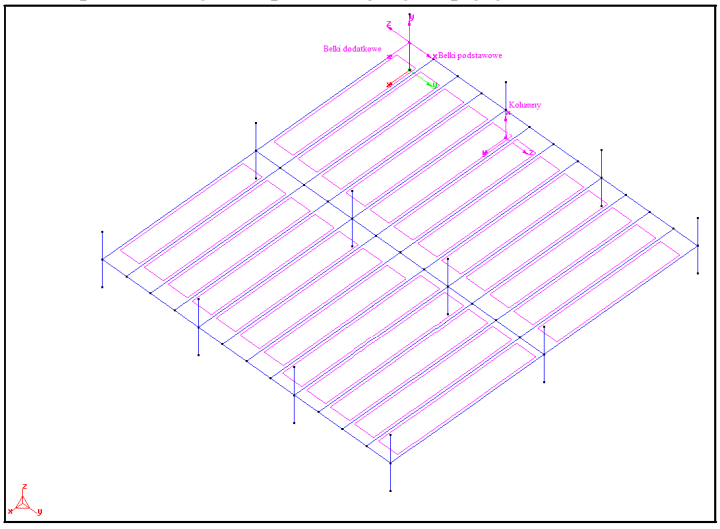
Efektywna grubość obliczanej płyty zespolonej jest wykorzystywana tylko do analizy termicznej. W analizie konstrukcyjnej grubość płyty jest jeszcze bardziej zmniejszona tylko do części ciągłej, jak pokazano na Rys. 7-4.



Rys. 7-4 Położenie efektywnych grubości płyty - termicznej i mechanicznej

7.2 Analiza konstrukcyjna

Model konstrukcyjny składa się z elementów belkowych reprezentujących belki i słupy oraz elementów powłokowych reprezentujących płyty.



Rys. 7-5 Model konstrukcyjny parkingu

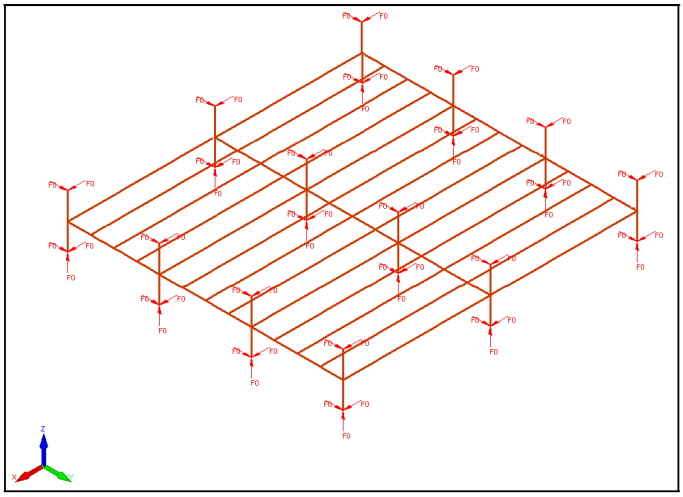
7.2.1 Warunki brzegowe

Warunki brzegowe na podporach

Aby odzwierciedlić rzeczywistość i pozostać po bezpiecznej stronie projektowania, słupy uznaje się za przegubowo podparte od dołu. Dla modelu MES oznacza to, że wszystkie trzy translacyjne stopnie swobody są odebrane, podczas gdy obroty pozostają swobodne.

U góry słupów poziome translacyjne stopnie swobody są odebrane, podczas gdy ruch pionowy i obroty pozostają możliwe. Odzwierciedla to sytuację, gdy inny system stropowy jest połączony od góry ze słupami.

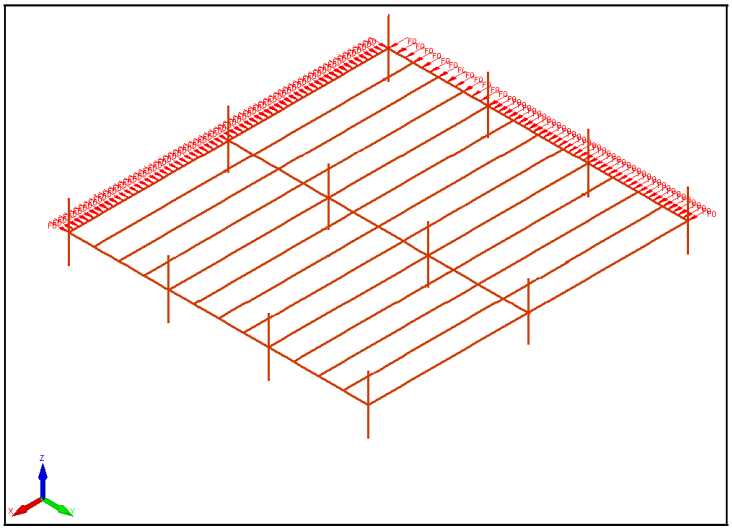
Dodatkowo takie warunki brzegowe gwarantują stateczność konstrukcji, która w przeciwnym wypadku zapewniana jest poprzez stężenia.



Rys. 7-6 Warunki brzegowe na podporach

Warunki ciągłości płyty

Model stanowi część większej konstrukcji. W celu umożliwienia rozszerzenia konstrukcji w obu kierunkach poziomych, należy zastosować na poziomie płyty dodatkowe warunki brzegowe. Ruch poziomy płyty jest blokowany w celu symulacji ciągłości płyty jak pokazano na Rys. 7-7.



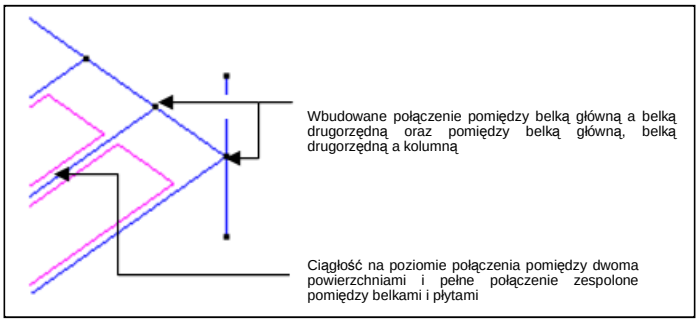
Rys. 7-7 Warunki ciągłości na poziomie płyty

Połączenie pomiędzy elementami modelu

Domyślnie SAFIR wykorzystuje pełne połączenie między elementami o wspólnym węźle. Dlatego uważa się, że między belkami głównymi i drugorzędnymi istnieje pełne połączenie we wspólnym węźle. Podobnie jest w przypadku połączenia między belkami i słupami.

Takie połączenie może być zmienione ręcznie, ale w przypadku analizowanym w niniejszym opracowaniu na podstawie założeń i zaleceń określonych dla połączeń i zbrojenia zakłada się pełne połączenie.

Dzięki tej funkcji oprogramowania łatwo jest zastosować pełne połączenie zespolone pomiędzy belkami a płytami, jedynie poprzez wykorzystanie wspólnych węzłów pomiędzy tymi dwoma elementami.

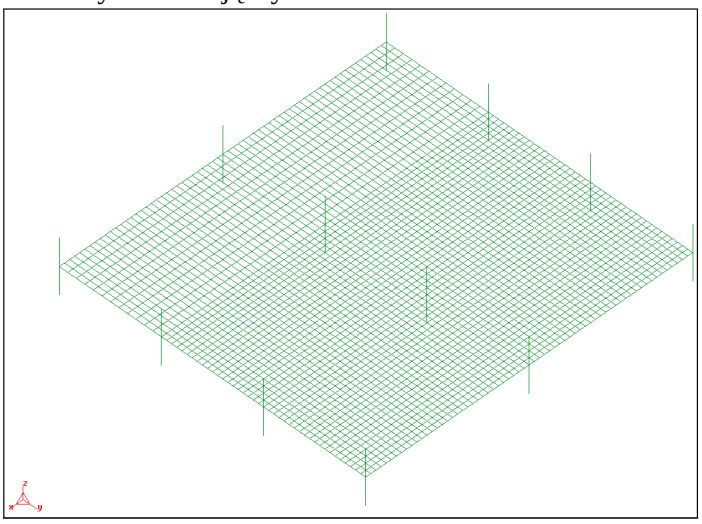


Rys. 7-8 Połączenia pomiędzy elementami modelu

7.2.2 Model siatki

Siatka modelowana jest za pomocą czworobocznych regularnych elementów o wymiarze 50x50cm na obszarze, gdzie temperatura będzie wyższa i gdzie oczekuje się znacznych przemieszczeń. Siatka jest zagęszczona również w miejscach, gdzie będzie korzystne zwiększenie precyzji.

W innej części parkingu z dala od źródła pożaru siatka nie musi być tak gęsta. W rezultacie w tym obszarze elementy siatki mają wymiar 84x50 cm.



Rys. 7-9 Siatka

8 *Konstrukcje wstępnie zaprojektowane*

Ostateczne wyniki dla przedstawianej konstrukcji, uzyskane wyżej opisaną metodą dla podanych

scenariuszy pożarowych, zostały podsumowane w poniższej tabeli. Wartości istotne w odniesieniu do maksymalnych ugięć i temperatury obliczonej dla każdego scenariusza, przedstawiono w dalszej części niniejszego punktu, a szczegółowe wyniki można znaleźć w Załączniku 3.

Charakterystyka			Odpowiedź konstrukcji			
Rama [m] Słup 2,9 m	Rozpiętość płyty [m]	Gatunek stali	Belka drugorzędna	Belka główna	Płyta zespolona z betonem C30/37	Szalunek stalowy z siatką S500
16x10	2,5 m	S235	IPE 450	HEA 650	Cofraplus60 120mm	Ø 8 150x150
		S355	IPE 400	HEA 550		Ø 6 150x150
	3,3 m	S235	IPE 550	HEA 700	Cofraplus60 120mm	Ø 7 150x150
		S355	IPE 500	HEA 600		Ø 7 150x150
	5 m	S355	IPE 600	HEA 600	Cofraplus60 150mm	Ø 8 100x100
16x5	2,5 m	S235	IPE 450	HEA 450	Cofraplus60 120mm	Ø 6 150x150
		S355	IPE 400	IPE 400		Ø 7 150x150
	5 m	S355	IPE 600	IPE 160	Cofraplus60 150mm	Ø 8 100x100

Geometria:

Siatka 16m x 10m

Rozpiętość płyty 2,5m

Gatunek

stali: S235

Scenariusz pożarowy:

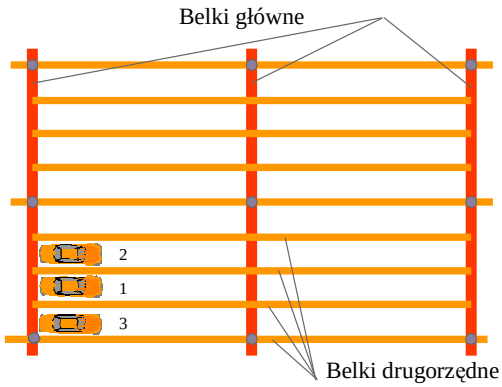
3 samochody ustawione w rogu

Oddziaływanie:

Stałe: 1 kN/m^2

Zmienne: 2,5 kN/m^2

Kombinacja: 1G + 0,7 Q



Wybór kształtowników:

Belka drugorzędna: IPE 450

Belka główna: HEA 650

Wybór systemu stropowego:

Płyta: Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm

Grubość: 120 mm

Zbrojenie: 150 mm x 150 mm Ø6

Pozycja zbrojenia od góry płyty: 31mm

Odpowiedź termiczna:

Maks. temperatura w płycie: 775 ºC

Maks. temperatura w zbrojeniu: 198 ºC

Lokalizacja: przed samochodem nr 1

Maks. temperatura w belce: 876 ºC

Lokalizacja: po obu stronach samochodu nr 1

Odpowiedź mechaniczna:

Maks. ugięcie płyty: 28,07 cm

Lokalizacja: powyżej samochodu nr 1

Maks. ugięcie belki drugorzędnej: 23,46 cm

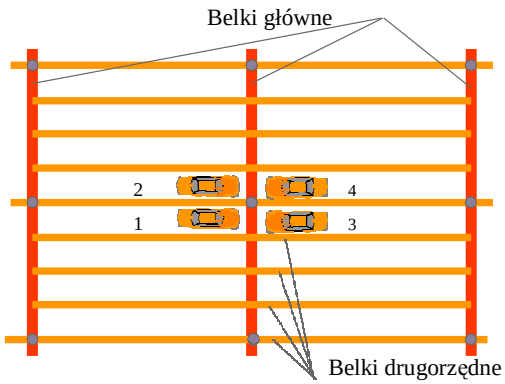
Lokalizacja: pomiędzy samochodami nr 1 i nr 2

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na głównej belce

Bez podstemplowania płyt w fazie budowy

Geometria: Siatka 16m x 10m Rozpiętość płyty 2,5m	
Gatunek stali: S235	
Scenariusz pożarowy: 4 samochody wokół słupa	
Oddziaływanie: Stałe: 1 kN/m^2 Zmienne: 2,5 kN/m^2 Kombinacja: 1G + 0,7 Q	

Wybór kształtowników:

Belka drugorzędna:	IPE 450
Belka główna:	HEA650

Wybór systemu stropowego:

Płyta:	Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm
Grubość:	120mm
Zbrojenie:	150mm x 150mm Ø8mm

Pozycja zbrojenia od góry płyty: 31mm

Odpowiedź termiczna:

Maks. temperatura w płycie:	763 ºC
Maks. temperatura w zbrojeniu:	183 ºC
Lokalizacja:	powyżej samochodu nr 1
Maks. temperatura w belce:	875 ºC
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 1 i nr 2

Odpowiedź mechaniczna:

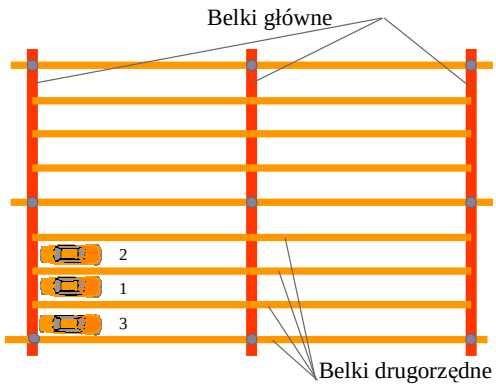
Maks. ugięcie w płycie:	32,81 cm
Lokalizacja:	powyżej samochodu nr 4
Maks. ugięcie belki drugorzędnej:	31,91 cm
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 3 i nr 4

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na głównej belce

Bez podstemplowania płyt w fazie budowy

Geometria: Siatka 16m x 10m Rozpiętość płyty 2,5m	
Gatunek stali: S355	
Scenariusz pożarowy: 3 samochody ustawione w rogu	
Oddziaływanie: Stałe: 1 kN/m^2 Zmienne: 2,5 kN/m^2 Kombinacja: 1G + 0,7 Q	

Wybór kształtowników:

Belka drugorzędna:	IPE 400
Belka główna:	HEA 550

Wybór systemu stropowego:

Płyta:	Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm
Grubość:	120mm
Zbrojenie:	150mm x 150mm Ø6mm

Pozycja zbrojenia od góry płyty: 31mm

Odpowiedź termiczna:

Maks. temperatura w płycie:	775 ºC
Maks. temperatura w zbrojeniu:	198 ºC
Lokalizacja:	przed samochodem nr 1
Maks. temperatura w belce:	877 ºC
Lokalizacja:	po obu stronach samochodu nr 1

Odpowiedź mechaniczna:

Maks. ugięcie w płycie:	30,06 cm
Lokalizacja:	strefa powyżej samochodu nr 1
Maks. ugięcie belki drugorzędnej:	27,94 cm
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 1 i nr 2

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na głównej belce

Bez podstemplowania płyt w fazie budowy

Geometria:

Siatka 16m x 10m

Rozpiętość płyty 2,5m

Gatunek

stali: S355

Scenariusz pożarowy:

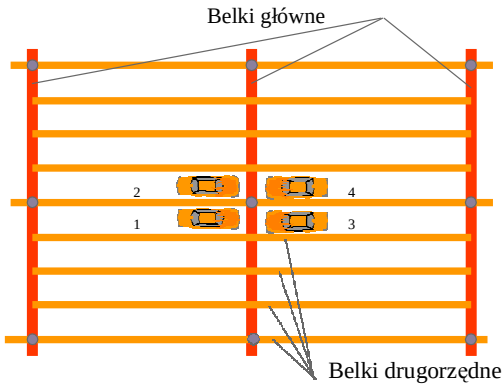
4 samochody wokół słupa

Oddziaływanie:

Stałe: 1 kN/m^2

Zmienne: 2,5 kN/ m^2

Kombinacja: 1G + 0,7 Q



Wybór kształtowników:

Belka drugorzędna: IPE400

Belka główna: HEA 550

Wybór systemu stropowego:

Płyta: Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm

Grubość: 120mm

Zbrojenie: 150mm x 150mm Ø6mm

Pozycja zbrojenia od góry płyty: 31mm

Odpowiedź termiczna:

Maks. temperatura w płycie: 763 ºC

Maks. temperatura w zbrojeniu: 183 ºC

Lokalizacja: przed samochodem nr 1

Maks. temperatura w belce: 876 ºC

Lokalizacja: pomiędzy samochodami nr 3 i nr 4

Odpowiedź mechaniczna:

Maks. ugięcie w płycie: 37,82 cm

Lokalizacja: strefa powyżej samochodu nr 4

Maks. ugięcie belki drugorzędnej: 34,88 cm

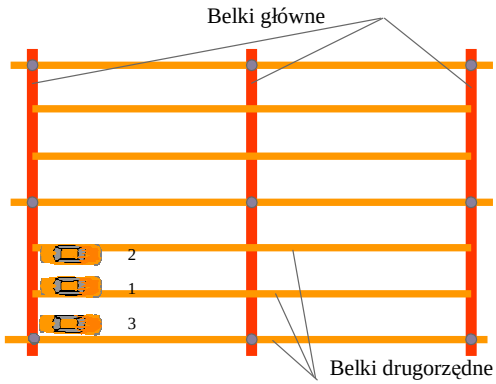
Lokalizacja: pomiędzy samochodami nr 3 i nr 4

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na głównej belce

Bez podstemplowania płyt w fazie budowy

Geometria: Siatka 16m x 10m Rozpiętość płyty 3,3m	
Gatunek stali: S235	
Scenariusz pożarowy: 3 samochody ustawione w rogu	
Oddziaływanie: Stałe: 1 kN/m^2 Zmienne: 2,5 kN/m^2 Kombinacja: 1G + 0,7 Q	

Wybór kształtowników:

Belka drugorzędna:	IPE 550
Belka główna:	HEA 700

Wybór systemu stropowego:

Płyta:	Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm
Grubość:	120mm
Zbrojenie:	150mm x 150mm Ø7mm

Pozycja zbrojenia od góry płyty: 31mm

Odpowiedź termiczna:

Maks. temperatura w płycie:	776 ºC
Maks. temperatura w zbrojeniu:	198º
Lokalizacja:	przed samochodem nr 1
Maks. temperatura w belce:	876º
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 1 i nr 3

Odpowiedź mechaniczna:

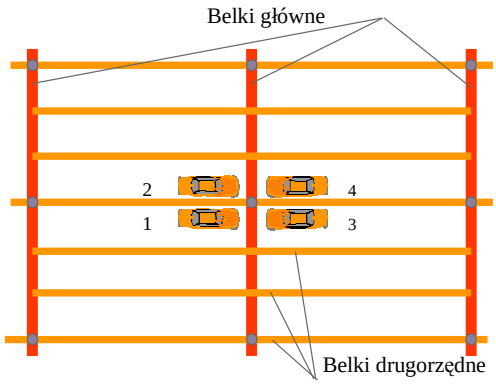
Maks. ugięcie w płycie:	20,97 cm
Lokalizacja:	strefa powyżej samochodu nr 1
Maks. ugięcie belki drugorzędnej:	17,89 cm
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 1 i nr 3

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na głównej belce

Bez podstemplowania płyt w fazie budowy

Geometria: Siatka 16m x 10m Rozpiętość płyty 3,3m	
Gatunek stali: S235	
Scenariusz pożarowy: 4 samochody wokół słupa	
Oddziaływanie: Stałe: 1 kN/m^2 Zmienne: 2,5 kN/m^2 Kombinacja: 1G + 0,7 Q	

Wybór kształtowników:

Belka drugorzędna:	IPE550
Belka główna:	HEA 700

Wybór systemu stropowego:

Płyta:	Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm
Grubość:	120mm
Zbrojenie:	150mm x 150mm Ø7mm

Pozycja zbrojenia od góry płyty: 31mm

Odpowiedź termiczna:

Maks. temperatura w płycie:	758 ºC
Maks. temperatura w zbrojeniu:	183 ºC
Lokalizacja:	przed samochodem nr 1
Maks. temperatura w belce:	866 ºC
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 1 i nr 2

Odpowiedź mechaniczna:

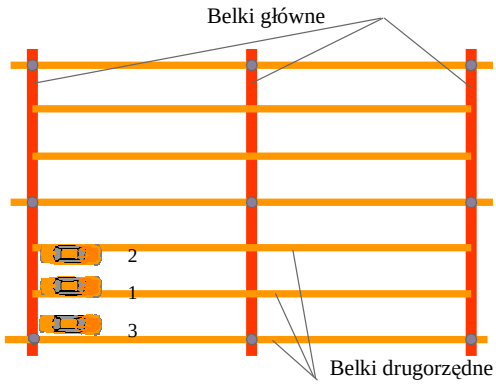
Maks. ugięcie w płycie:	30,51 cm
Lokalizacja:	strefa powyżej samochodu nr 4
Maks. ugięcie belki drugorzędnej:	25,02 cm
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 3 i nr 4

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na głównej belce

Bez podstemplowania płyt w fazie budowy

Geometria: Siatka 16m x 10m Rozpiętość płyty 3,3m	
Gatunek stali: S255	
Scenariusz pożarowy: 3 samochody ustawione w rogu	
Oddziaływanie: Stałe: 1 kN/m^2 Zmienne: 2,5 kN/m^2 Kombinacja: 1G + 0,7 Q	

Wybór kształtowników:

Belka drugorzędna:	IPE 500
Belka główna:	HEA 600

Wybór systemu stropowego:

Płyta:	Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm
Grubość:	120mm
Zbrojenie:	150mm x 150mm Ø7mm

Pozycja zbrojenia od góry płyty: 31mm

Odpowiedź termiczna:

Maks. temperatura w płycie:	776 ºC
Maks. temperatura w zbrojeniu:	198º
Lokalizacja:	przed samochodem nr 1
Maks. temperatura w belce:	876º
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 1 i nr 3

Odpowiedź mechaniczna:

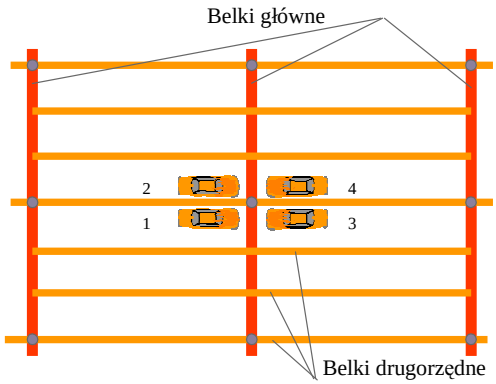
Maks. ugięcie w płycie:	25,85 cm
Lokalizacja:	strefa powyżej samochodu nr 1
Maks. ugięcie belki drugorzędnej:	22,67 cm
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 1 i nr 3

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na głównej belce

Bez podstemplowania w fazie budowy

Geometria: Siatka 16m x 10m Rozpiętość płyty 3,3m	
Gatunek stali: S355	
Scenariusz pożarowy: 4 samochody wokół słupa	
Oddziaływanie: Stałe: 1 kN/m^2 Zmienne: 2,5 kN/m^2 Kombinacja: 1G + 0,7 Q	

Wybór kształtowników:

Belka drugorzędna:	IPE500
Belka główna:	HEA 600

Wybór systemu stropowego:

Płyta:	Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm
Grubość:	120mm
Zbrojenie:	150mm x 150mm Ø7mm

Pozycja zbrojenia od góry płyty: 31mm

Odpowiedź termiczna:

Maks. temperatura w płycie:	758 ºC
Maks. temperatura w zbrojeniu:	183 ºC
Lokalizacja:	przed samochodem nr 1
Maks. temperatura w belce:	866 ºC
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 1 i nr 2

Odpowiedź mechaniczna:

Maks. ugięcie w płycie:	31,8 cm
Lokalizacja:	strefa powyżej samochodu nr 4
Maks. ugięcie belki drugorzędnej:	26,58 cm
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 3 i nr 4

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na głównej belce

Bez podstemplowania w fazie budowy

Geometria:

Siatka 16m x 10m

Rozpiętość płyty 5m

Gatunek

stali: S355

Scenariusz pożarowy:

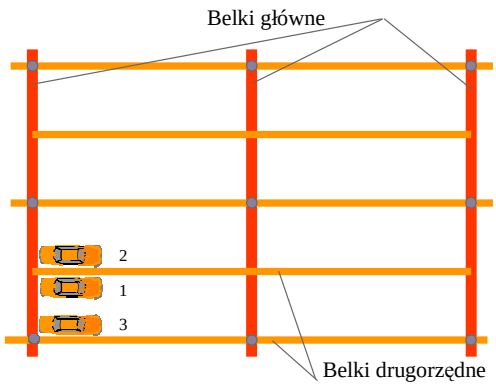
3 samochody ustawione w rogu

Oddziaływanie:

Stałe: 1 kN/m^2

Zmienne: 2,5 kN/m^2

Kombinacja: 1G + 0,7 Q



Wybór kształtowników:

Belka drugorzędna: IPE600

Belka główna: HEA600

Wybór systemu stropowego:

Płyta: Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm

Grubość: 150mm

Zbrojenie: 100mm x 100mm Ø8mm

Pozycja zbrojenia od góry płyty: 46mm

Odpowiedź termiczna:

Maks. temperatura w płycie: 775 ºC

Maks. temperatura w zbrojeniu: 140 ºC

Lokalizacja: przed samochodem nr 1

Maks. temperatura w belce: 867 ºC

Lokalizacja: pomiędzy samochodami nr 1 i nr 2

Odpowiedź mechaniczna:

Maks. ugięcie w płycie: 23,23 cm

Lokalizacja: strefy powyżej samochodów nr 1 i nr 3

Maks. ugięcie belki drugorzędnej: 19,79 cm

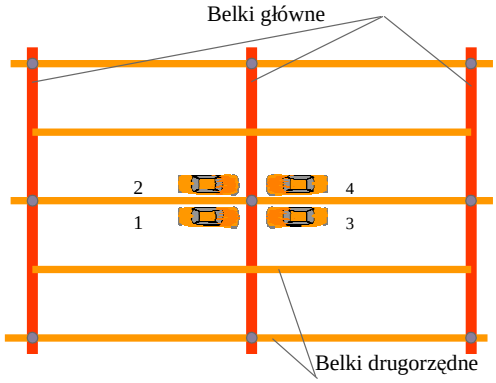
Lokalizacja: pomiędzy samochodami nr 1 i nr 2

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø22mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø22mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na głównej belce

Belki drugorzędne należy podstemplować w co najmniej 2 miejscach a płyta musi również zostać podstemplowana w fazie budowy

Geometria: Siatka 16m x 10m Rozpiętość płyty 5m	
Gatunek stali: S355	
Scenariusz pożarowy: 4 samochody wokół słupa	
Oddziaływanie: Stałe: 1 kN/m^2 Zmienne: 2,5 kN/m^2 Kombinacja: 1G + 0,7 Q	

Wybór kształtowników:	
Belka drugorzędna:	IPE600
Belka główna:	HEA600

Wybór systemu stropowego:	
Płyta:	Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm
Grubość:	150mm
Zbrojenie:	100mm x 100mm Ø8mm
Pozycja zbrojenia od góry płyty: 46mm	

Odpowiedź termiczna:	
Maks. temperatura w płycie:	766 ºC
Maks. temperatura w zbrojeniu:	137 ºC
Lokalizacja:	przed samochodem nr 1
Maks. temperatura w belce:	863 ºC
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 1 i nr 2

Odpowiedź mechaniczna:	
Maks. ugięcie w płycie:	26,42 cm
Lokalizacja:	strefa powyżej samochodu nr 4
Maks. ugięcie belki drugorzędnej:	21,73 cm
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 3 i nr 4

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø22mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø22mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na głównej belce

Belki drugorzędne należy podstemplować w co najmniej 2 miejscach a płyta musi również zostać podstemplowana w fazie budowy

Geometria:

Siatka 16m x 5m

Rozpiętość płyty 2,5m

Gatunek

stali: S235

Scenariusz pożarowy:

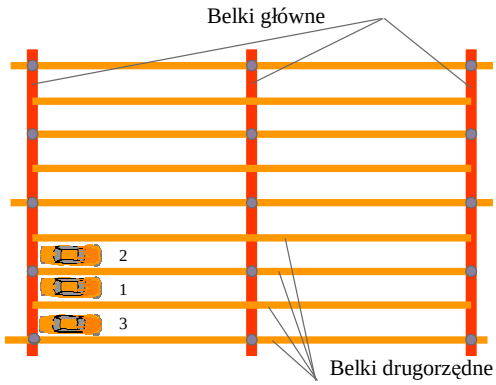
3 samochody ustawione w rogu

Oddziaływanie:

Stałe: 1 kN/m^2

Zmienne: 2,5 kN/m^2

Kombinacja: 1G + 0,7 Q



Wybór kształtowników:

Belka drugorzędna: IPE 450

Belka główna: HEA 450

Wybór systemu stropowego:

Płyta: Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm

Grubość: 120mm

Zbrojenie: 150mm x 150mm Ø6mm

Pozycja zbrojenia od góry płyty: 31mm

Odpowiedź termiczna:

Maks. temperatura w płycie: 775 ºC Maks.

Maks. temperatura w zbrojeniu: 198 ºC

Lokalizacja: przed samochodem nr 1

Maks. temperatura w belce: 876 ºC

Lokalizacja: po obu stronach samochodu nr 1

Odpowiedź mechaniczna:

Maks. ugięcie w płycie: 24,85 cm

Lokalizacja: strefa powyżej samochodu nr 1

Maks. ugięcie belki drugorzędnej: 23,26 cm

Lokalizacja: pomiędzy samochodami nr 1 i nr 2

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na głównej belce

Bez podstemplowania w fazie budowy

Geometria:

Siatka 16m x 5m

Rozpiętość płyty 2,5m

Gatunek

stali: S235

Scenariusz pożarowy:

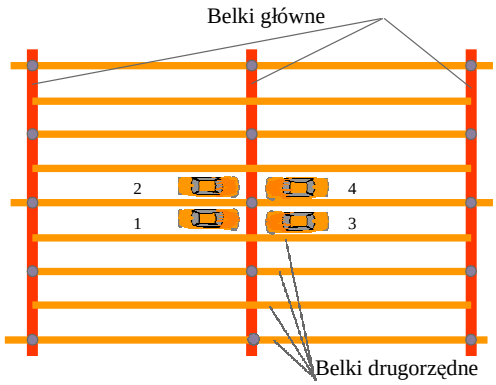
4 samochody wokół słupa

Oddziaływanie:

Stałe: 1 kN/m^2

Zmienne: 2,5 kN/m^2

Kombinacja: 1G + 0,7 Q



Wybór kształtowników:

Belka drugorzędna: IPE450

Belka główna: HEA 450

Wybór systemu stropowego:

Płyta: Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm

Grubość: 120mm

Zbrojenie: 150mm x 150mm Ø6mm

Pozycja zbrojenia od góry płyty: 31mm

Odpowiedź termiczna:

Maks. temperatura w płycie: 757 ºC

Maks. temperatura w zbrojeniu: 182 ºC

Lokalizacja: przed samochodem nr 1

Maks. temperatura w belce: 875 ºC

Lokalizacja: pomiędzy samochodami nr 1 i nr 2

Odpowiedź mechaniczna:

Maks. ugięcie w płycie: 31,65 mm

Lokalizacja: strefa powyżej samochodu nr 4

Maks. ugięcie belki drugorzędnej: 31,26 cm

Lokalizacja: pomiędzy samochodami nr 3 i nr 4

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na głównej belce

Bez podstemplowania w fazie budowy

Geometria:

Siatka 16m x 5m

Rozpiętość płyty 2,5m

Gatunek

stali: S355

Scenariusz pożarowy:

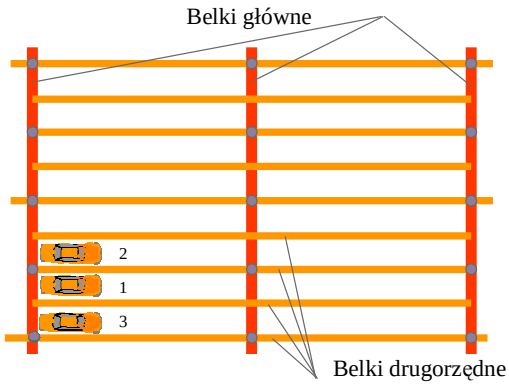
3 samochody ustawione w rogu

Oddziaływanie:

Stałe: 1 kN/m^2

Zmienne: 2,5 kN/m^2

Kombinacja: 1G + 0,7 Q



Wybór kształtowników:

Belka drugorzędna: IPE400

Belka główna: IPE 400

Wybór systemu stropowego:

Płyta: Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm

Grubość: 120mm

Zbrojenie: 150mm x150mm Ø7mm

Pozycja zbrojenia od góry płyty: 31mm

Odpowiedź termiczna:

Maks. temperatura w płycie: 775 ºC

Maks. temperatura w zbrojeniu: 198 ºC

Lokalizacja: przed samochodem nr 1

Maks. temperatura w belce: 876 ºC

Lokalizacja: po obu stronach samochodu nr 1

Odpowiedź mechaniczna:

Maks. ugięcie w płycie: 26,81 cm

Lokalizacja: strefa powyżej samochodu nr 1

Maks. ugięcie belki drugorzędnej: 25,23 cm

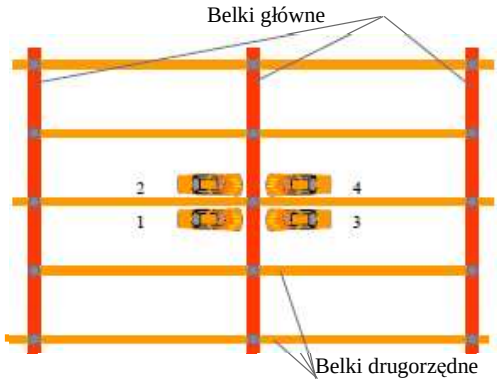
Lokalizacja: pomiędzy samochodami nr 1 i nr 2

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na głównej belce

Bez podstemplowania płyt w fazie budowy

Geometria: Siatka 16m x 5m Rozpiętość płyty 2,5m	
Gatunek stali: S355	
Scenariusz pożarowy: 4 samochody wokół słupa	
Oddziaływanie: Stałe: 1 kN/m^2 Zmienne: 2,5 kN/m^2 Kombinacja: 1G + 0,7 Q	

Wybór kształtowników:

Belka drugorzędna:	IPE400
Belka główna:	IPE400

Wybór systemu stropowego:

Płyta:	Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm
Grubość:	120mm
Zbrojenie:	150mm x150mm Ø8mm

Pozycja zbrojenia od góry płyty: 31mm

Odpowiedź termiczna:

Maks. temperatura w płycie:	757 ºC
Maks. temperatura w zbrojeniu:	182 ºC
Lokalizacja:	przed samochodem nr 1
Maks. temperatura w belce:	875ºC
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 1 i nr 2

Odpowiedź mechaniczna:

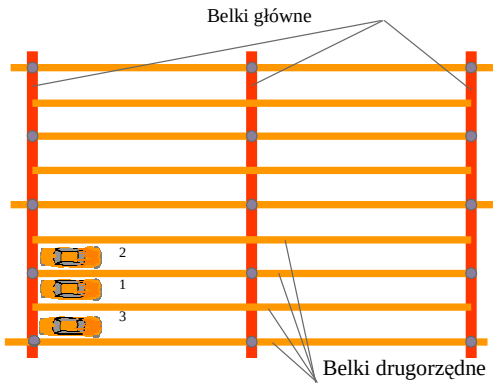
Maks. ugięcie w płycie:	33,86 cm
Lokalizacja:	strefa powyżej samochodu nr 4
Maks. ugięcie belki drugorzędnej:	33,51 cm
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 3 i nr 4

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø19mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na głównej belce

Bez podstemplowania w fazie budowy

Geometria: Siatka 16m x 5m Rozpiętość płyty 5m	
Gatunek stali: S355	
Scenariusz pożarowy: 3 samochody ustawione w rogu	
Oddziaływanie: Stałe: 1 kN/m^2 Zmienne: 2,5 kN/m^2 Kombinacja: 1G + 0,7 Q	

Wybór kształtowników:	
Belka drugorzędna:	IPE600
Belka główna:	IPE 160

Wybór systemu stropowego:	
Płyta:	Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm
Grubość:	150mm
Zbrojenie:	100mm x100mm Ø8mm
Pozycja zbrojenia od góry płyty: 46mm	

Odpowiedź termiczna:	
Maks. temperatura w płycie:	766 ºC
Maks. temperatura w zbrojeniu:	137 ºC
Lokalizacja:	przed samochodem nr 1
Maks. temperatura w belce:	863 ºC
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 1 i nr 2

Odpowiedź mechaniczna:	
Maks. ugięcie w płycie:	23,57 cm
Lokalizacja:	strefa powyżej samochodów nr 1 i nr 3
Maks. ugięcie belki drugorzędnej:	16,63 cm
Lokalizacja:	pomiędzy samochodami nr 1 i nr 2

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø22mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

Belki główne nie działają jak zespolenie z płytą

Belki drugorzędne należy podstemplować w dwóch miejscach a płyta musi również zostać podstemplowana na środku

Geometria:

Siatka 16m x 5m

Rozpiętość płyty 5m

Gatunek

stali: S355

Scenariusz pożarowy:

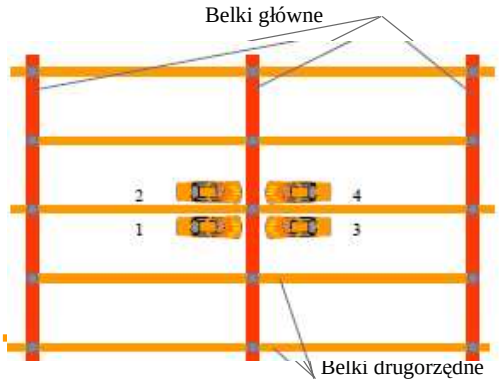
4 samochody wokół słupa

Oddziaływanie:

Stałe: 1 kN/m^2

Zmienne: 2,5 kN/m^2

Kombinacja: 1G + 0,7 Q



Wybór kształtowników:

Belka drugorzędna: IPE600

Belka główna: IPE160

Wybór systemu stropowego:

Płyta: Cofraplus 60 z szalunkiem stalowym 0,75mm

Grubość: 150mm

Zbrojenie: 100mm x100mm Ø8mm

Pozycja zbrojenia od góry płyty: 46mm

Odpowiedź termiczna:

Maks. temperatura w płycie: 766 ºC

Maks. temperatura w zbrojeniu: 137 ºC

Lokalizacja: przed samochodem nr 1

Maks. temperatura w belce: 863 ºC

Lokalizacja: pomiędzy samochodami nr 1 i nr 2

Odpowiedź mechaniczna:

Maks. ugięcie w płycie: 24,8 cm

Lokalizacja: powyżej samochodu nr 3

Maks. ugięcie belki drugorzędnej: 22,22 cm

Lokalizacja: pomiędzy samochodami nr 3 i nr 4

Połączenia zespolone:

1 rząd stalowych sworzni Nelsona Ø22mm, rozmieszczonych co 20,7 cm na drugorzędnej belce

Belki główne nie działają jak zespolenie z płytą

Belki drugorzędne należy podstemplować w dwóch miejscach a płyta musi również zostać podstemplowana na środku

9 Załącznik 1: Oddziaływanie membranowe

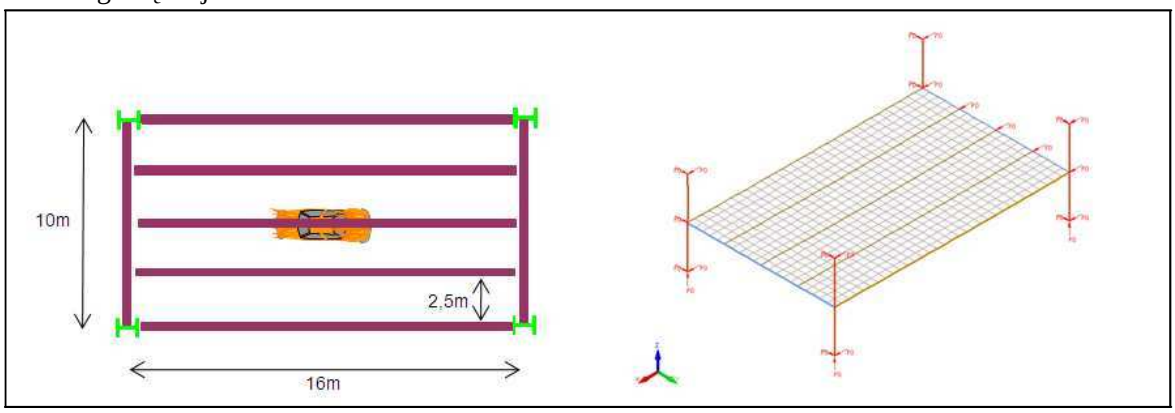
W podwyższonej temperaturze wytrzymałość i sztywność elementów stalowych ulega redukcji. Ma to bezpośredni wpływ na zachowanie stalowej konstrukcji szkieletowej poddanej działaniu ognia. W konstrukcjach takich, jak parkingi przedstawiane w niniejszym dokumencie, które są budowane z ram stalowych i systemu płyt zespolonych, w warunkach oddziaływania pożaru na konstrukcję można zaobserwować powstawanie oddziaływań membranowych.

Oddziaływania membranowe powstają się w płycie, gdy belki tracą swoją wytrzymałość i sztywność, czemu towarzyszy zwiększenie ugięć. Ugięcie może osiągnąć poziom 30 - 40 cm.

Oddziaływania membranowe w stropowych płytach betonowych są spowodowane powstaniem sił działających w płaszczyźnie wewnątrz płyty. Efekt membranowy charakteryzuje się równowagą pomiędzy ściskaniem betonu i rozciąganiem prętów zbrojeniowych umieszczonych w płycie.

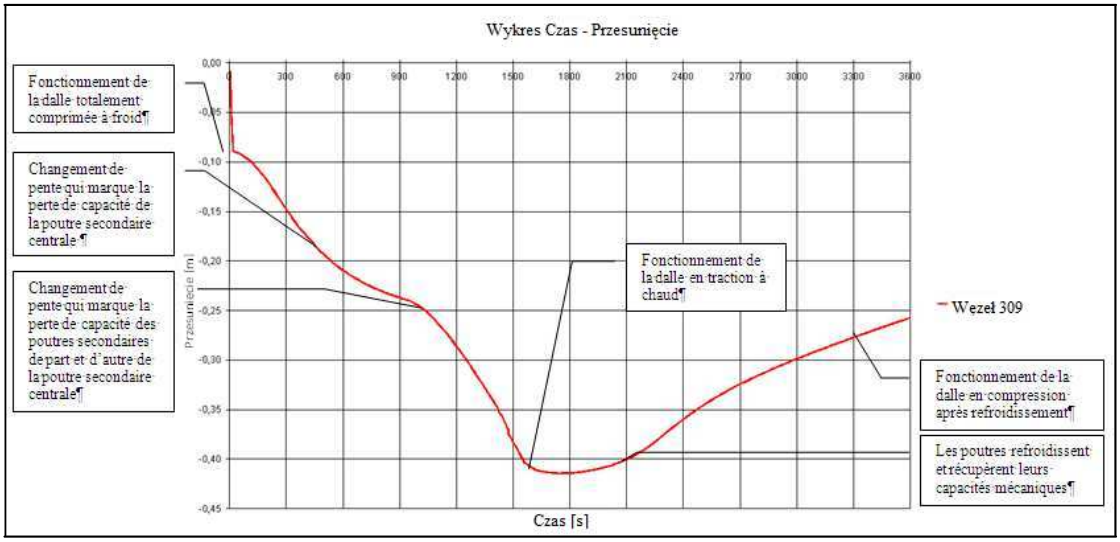
„W płytach betonowych, które są poziomo zamocowane wokół swojego obwodu i poddane znacznym przemieszczeniom pionowym, oddziaływanie membranowe rozwinie się przy pełnym wykorzystaniu nośności na rozciąganie zbrojenia i przejęciu przez nie obciążeń na zasadzie siatki. Ten typ zachowania zazwyczaj nazywany jest rozciągającym oddziaływaniem membranowym. Dla płyt, które nie mają poziomych zamocowań wokół obwodu, oddziaływanie membranowe może w dalszym ciągu się rozwinąć, pod warunkiem, że płyta jest rozpięta w dwóch kierunkach. Płyta przejmuje obciążenie poprzez rozciągające oddziaływania membranowe występujące na środku płyty i ściskające oddziaływanie membranowe formujące wsporczy 'pierścień' wokół obwodu płyty” [BAI, 02].

Zjawisko to zostało przedstawione za pomocą prostego przykładu. W tym celu stosuje się pojedynczą ramę o średnicy 16 x 10 m, gdzie odległość pomiędzy belkami drugorzędnymi o długości 16 m wynosi 2,5 m. W celu dokładnej obserwacji rozwoju membrany, działaniu ognia poddawany jest tylko jeden samochód klasy 3. Jak pokazano na Rys. 9-1, samochód umieszczony jest w środku przęsła centralnej belki drugorzędnej.



Rys. 9-1 Schemat konstrukcji i lokalizacja pożaru

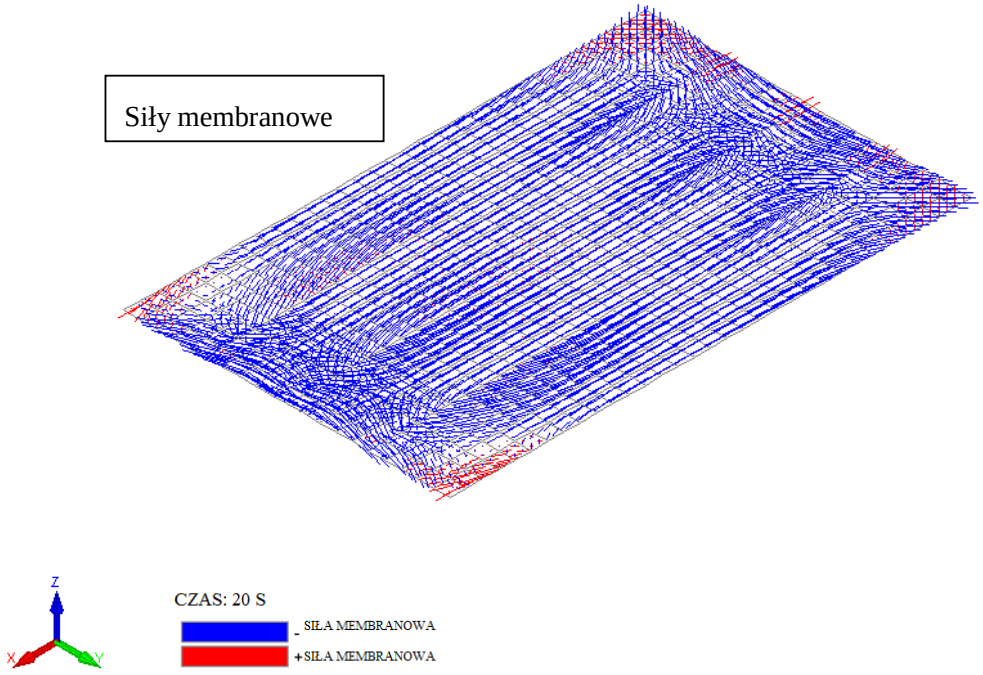
W celu obserwacji zachowania konstrukcji na różnych etapach rozwoju pożaru, w środku centralnej belki drugorzędnej mierzono zmiany deformacji w czasie. Wyniki przedstawiono na Rys. 9-2.

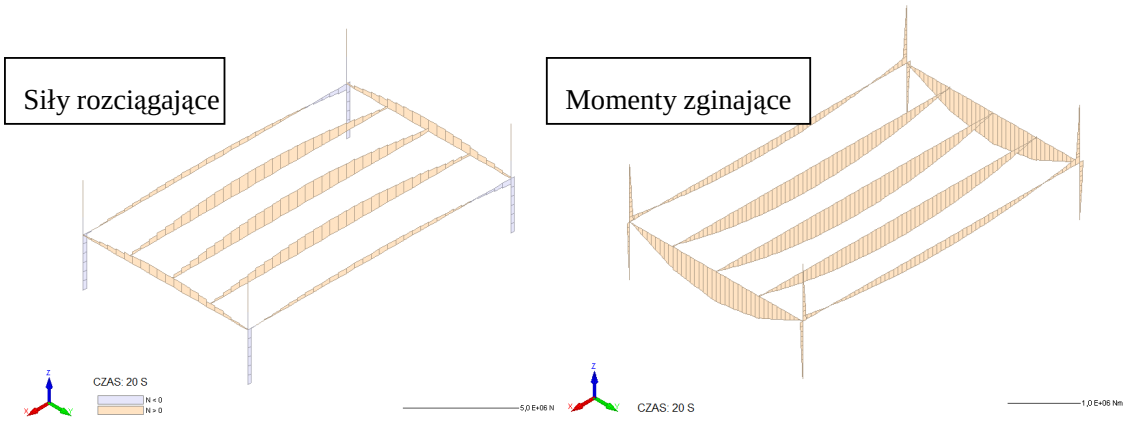


Rys. 9-2 Wykres przemieszczenia w czasie dla środka centralnej belki drugorzędnej

Konstrukcję i scenariusz pożarowy zamodelowano za pomocą oprogramowania SAFIR.

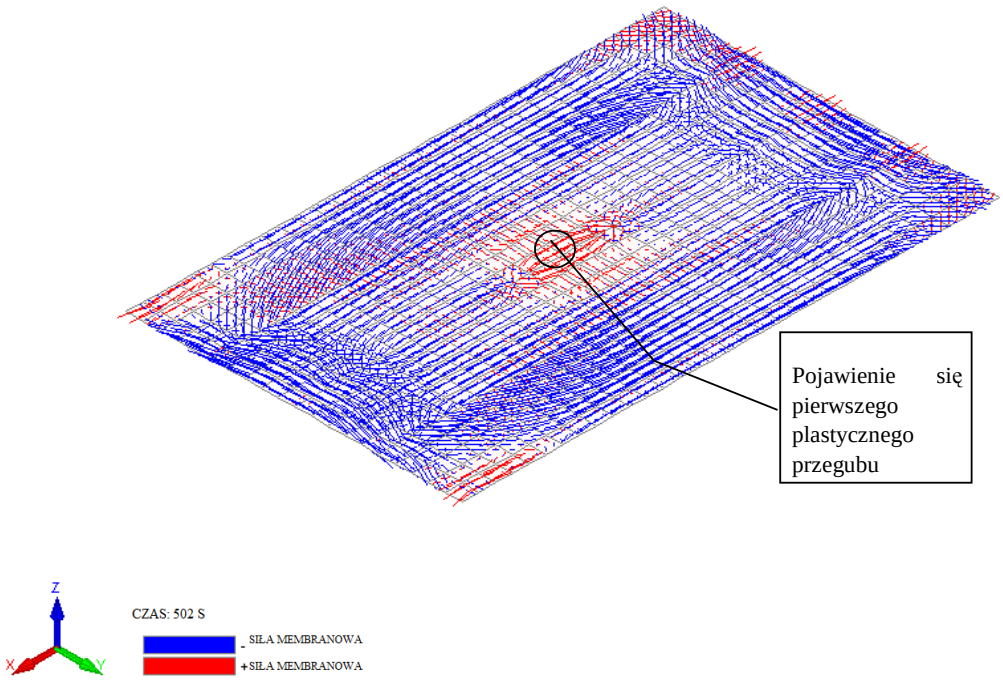
W celu uniknięcia dynamicznego efektu równoczesnego przyłożenia całego obciążenia konstrukcji, obciążenie statyczne przykładano narastająco w ciągu pierwszych 20 sekund, podczas gdy konstrukcja pozostawała w temperaturze otoczenia. Wpływ obciążenia statycznego na rozkład sił przedstawiono na Rys. 9-3. Można zauważyć, że płyta pracuje głównie jako ściskana, podczas gdy belki drugorzędne poddawane są rozciąganiu i zginaniu.





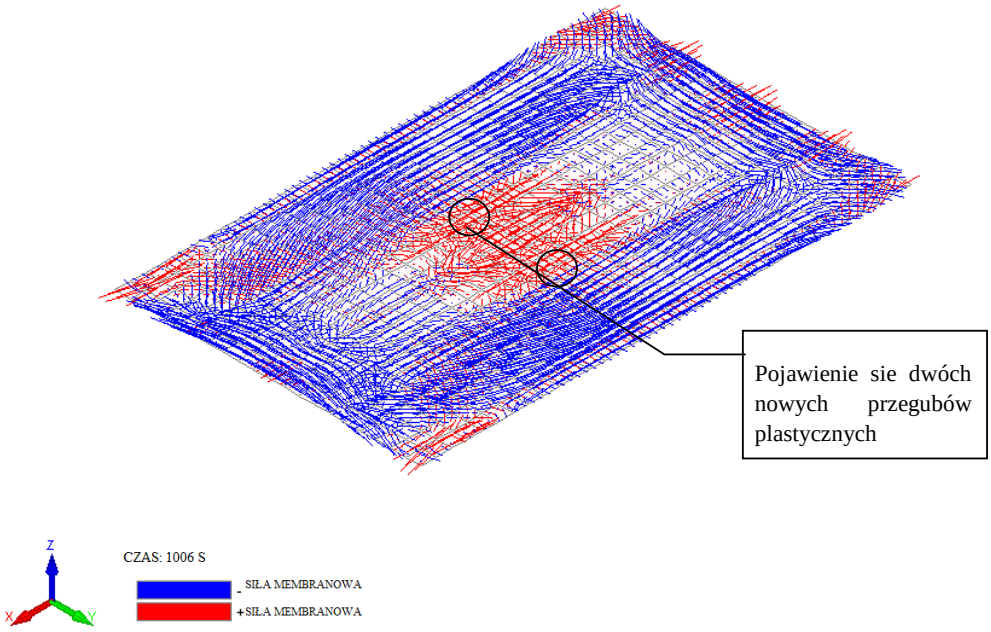
Rys. 9-3 Rozkład sił pochodzących od obciążenia statycznego w temperaturze otoczenia

Po czasie 500 sekund pożar jest rozwinięty. Można zauważyć, iż nad źródłem pożaru płyta zaczyna ulegać rozciąganiu. Odpowiada to pojawieniu się pierwszego plastycznego przegubu w belce drugorzędnej bezpośrednio nad palącym się samochodem.



Rys. 9-4 Utworzenie pierwszego przegubu plastycznego w belce i rozciąganie w płycie

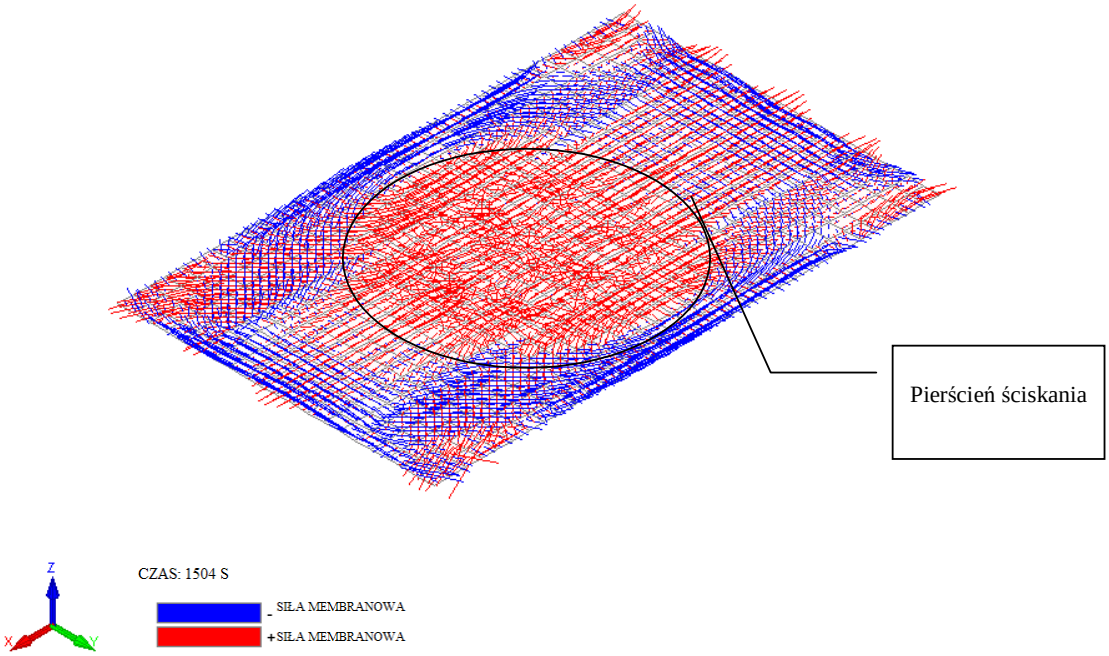
Po 1000 sekundach rozciąganie w płycie zaczyna się rozprzestrzeniać, a dodatkowo w dwóch belkach drugorzędnych formują się plastyczne przeguby w środku przęsła.

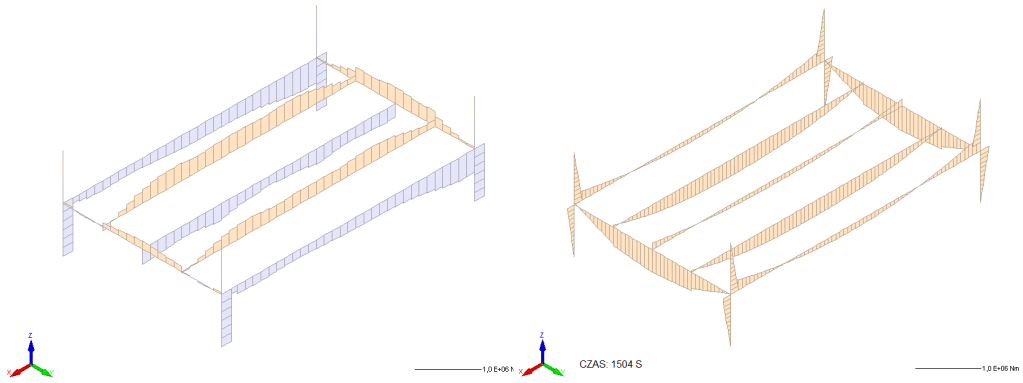


Rys. 9-5 Dalszy rozwój rozciągania w płycie (1000 s w ogniu)

Po 1500 sekundach w konstrukcji pojawiają się maksymalne ugięcia i maksymalna temperatura. Dużym ugięciom towarzyszą znaczne siły membranowe w płycie.

Strefa rozciągana w płycie powiększa się wykorzystując nośność prętów zbrojeniowych na rozciąganie, do czasu, gdy w płycie betonowej wokół strefy rozciągania powstanie pierścień ściskany. Drugorzędna belka bezpośrednio nad samochodem pracuje jako ściskana, podczas gdy obie belki drugorzędne po obu stronach samochodu pozostają rozciągane.

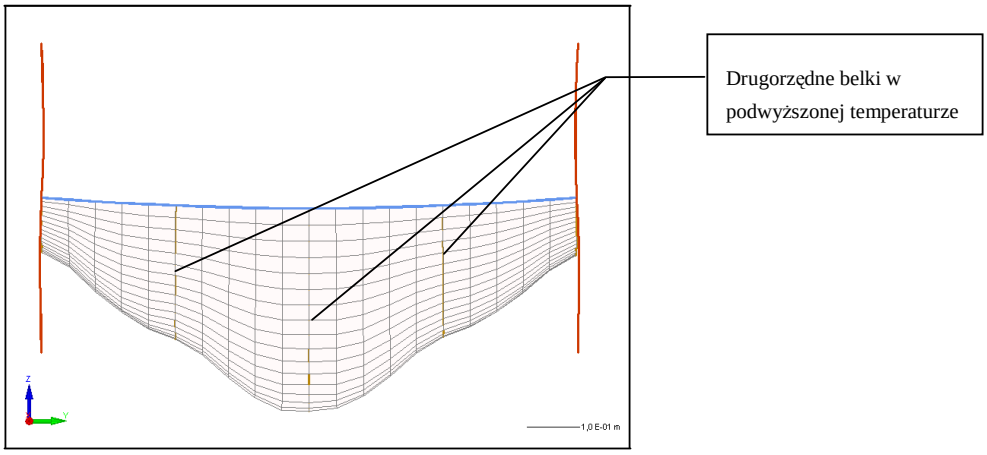




Rys 9-6 Maksymalne powstałe siły (1500 s w ogniu)

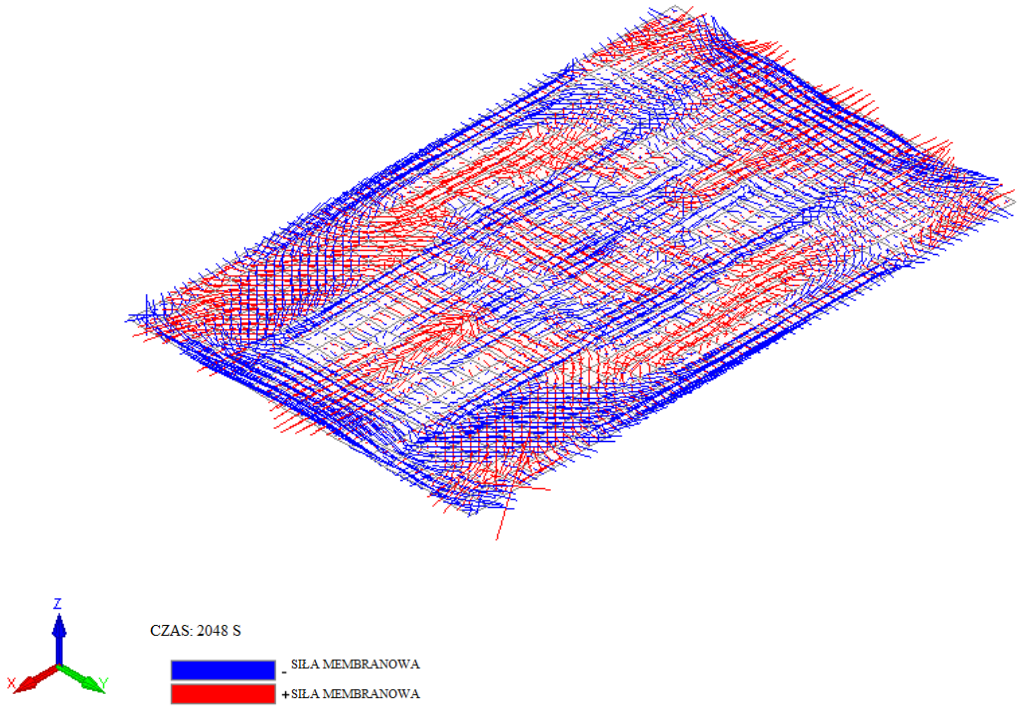
Belki nie zachowują znaczącej wytrzymałości lub sztywności z powodu wysokiej temperatury stali. Dlatego całe obciążenie jest przenoszone przez membranę.

Rysunek 9-7 pokazuje w skali maksymalne ugięcia płyt i belek.



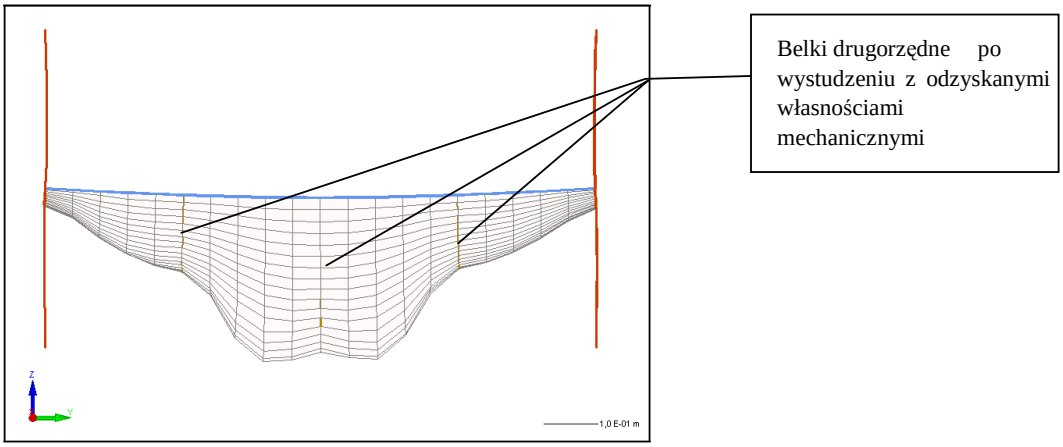
Rys. 9-7 Maksymalne ugięcia. Widok z przodu konstrukcji

Po osiągnięciu szczytowej wartości temperatury, w wyniku zakończenia pożaru, wszystkie elementy są poddawane studzeniu. W rezultacie belki odzyskują swoje właściwości mechaniczne, wytrzymałość i sztywność. Po czasie 2000 sekund można zaobserwować zniknięcie ściskającego pierścienia. Części pierścienia mogą być nadal widoczne na krańcach płyty, podczas gdy w środkowej części rozciąganie powoli zastępowane jest przez ściskanie. Belka drugorzędna nad samochodem również zmienia charakter pracy od ściskania do rozciągania.



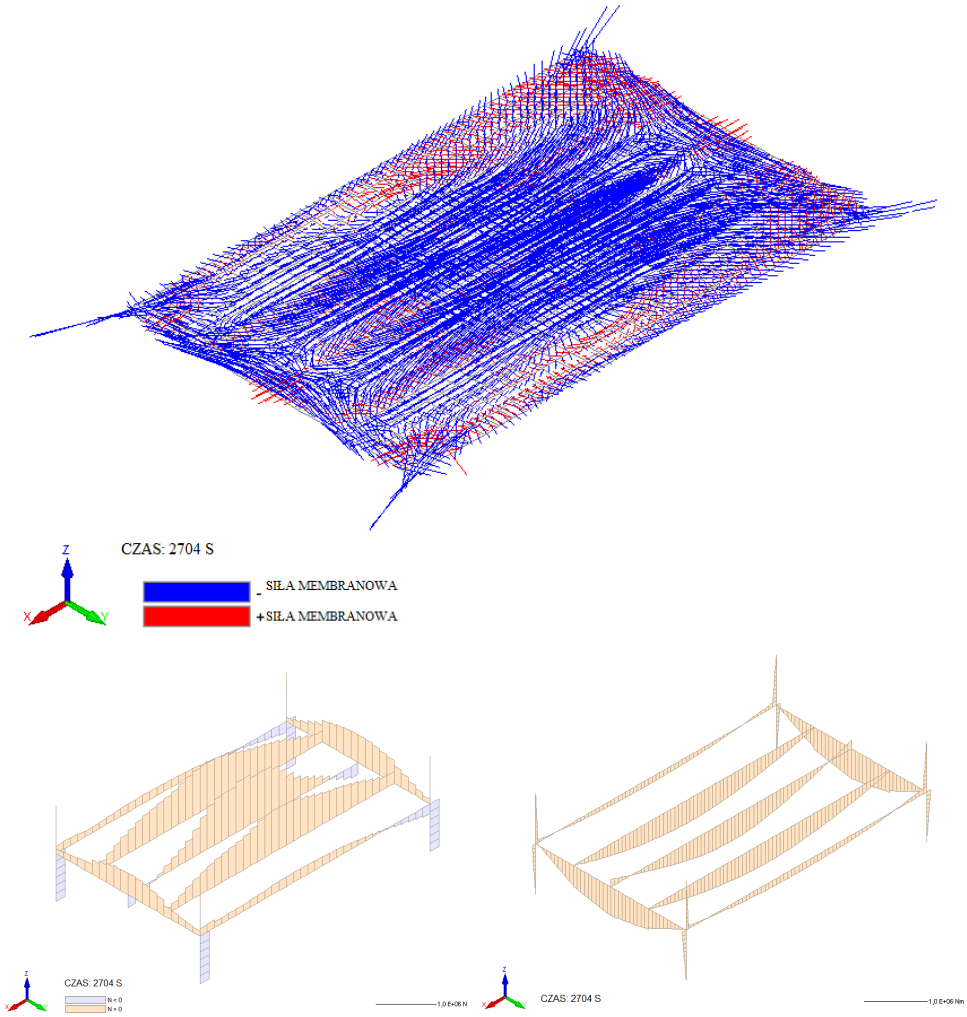
Rys. 9-8 Siły membranowe w płycie w fazie studzenia

Odzyskanie własności mechanicznych belek drugorzędnych przebiega szybciej, niż zmniejszenie ugięć tych belek w fazie studzenia.



Rys. 9-9 Zmniejszenie ugięć belki podczas studzenia

Konstrukcja powraca do temperatury otoczenia po 2700 sekundach. Cała płyta jest ponownie poddawana ściskaniu. To ściskanie jest bardziej istotne po pożarze, niż przed nim, szczególnie w centralnej części płyty. Wynika to z rozszerzania, któremu płyta została poddana w czasie pożaru. Wszystkie belki są z powrotem rozciągane, tak jak przed pożarem. Jednakże naprężenia są większe we wszystkich elementach z powodu pozostałych odkształceń plastycznych.



Rys. 9-10 Siły membranowe w płycie i naprężenia w belkach w temperaturze otoczenia po pożarze

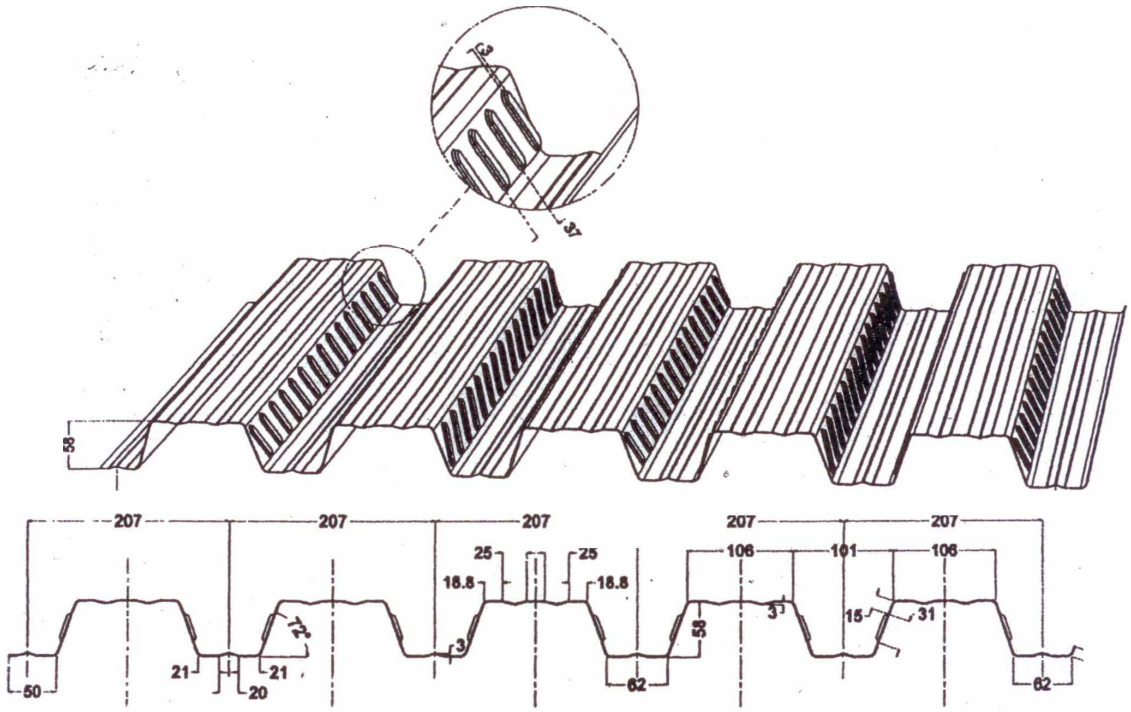
10 Załącznik 2: Cofraplus60

10.1 Opis techniczny wyrobu

Profilowana blacha stalowa COFRAPLUS 60 produkowana przez ArcelorMittal Construction, została zaprojektowana dla zespolonych płyt stropowych. Po stwardnieniu betonu blacha współpracuje z betonem jako zbrojenie rozciągane płyty stropowej.

Profilowana blacha wykonana jest z obustronnie galwanizowanej stali gatunku S350GD. Grubości blachy i wysokości profili podano na rysunku poniżej.

Stropy zespolone na blachach profilowanych ArcelorMittal Construction wykonane są z betonu klasy co najmniej B25. Oddziaływanie zespolone blachy i betonu zapewnia sama przyczepność stali i betonu bez sworzni.



Rys. 10-1 Profilowane blachy COFRAPLUS 60

Nazwa	Grubość (mm)	Wysokość profilu (mm)
COFRAPLUS 60	0,75	58
	0,88	
	1,00	
	1,25	

Tabela 10.1 Charakterystyka geometryczna blachy

Maksymalna długość przęsła: 15,0 m

Szerokość arkusza: 1,5 m

10.2 Analiza dostępnej dokumentacji dotyczącej określania odporności ogniowej stropu

Eurokod PN-EN 1994-1-2 stanowi podstawowy dokument, służący do określania odporności ogniowej stropów wykonanych z blachy ArcelorMittal Construction. Wykorzystując postanowienia normy, jak również dane techniczne ArcelorMittal Construction, ustalono zasady określania odporności ogniowej.

10.3 Zasady określania odporności ogniowej stropu z blachy profilowanej COFRAPLUS 60

Odporność ogniową stropów zespolonych stalowo-betonowych wykonanych przy użyciu blach profilowanych COFRAPLUS 60 z betonem klasy co najmniej B25, należy określać zgodnie z PN-EN 1994-1-2:2005. Ocena odporności ogniowej dotyczy jedynie warunków pożaru standardowego.

Zasady oceny odporności ogniowej dla COFRAPLUS 60

A/ Szczelność ogniowa dla stropów (kryterium E) jest zachowywana do momentu, gdy stropy utracą swoją nośność ogniową.

B/ Izolacyjność ogniowa stropów (kryterium I) jest zachowywana przez czas pożaru t, pod warunkiem, że zachowana jest minimalna całkowita grubość stropu h. Została ona podana w Tabeli 10.2.

t [min]	h [mm] COFRAPLUS 60
30	110
60	120
90	140
120	160
180	190

Tabela 10.2 Minimalna całkowita grubość stropu h niezbędna do spełnienia kryteriów izolacyjności ogniowej*

*całkowita grubość stropu *h* = wysokość użebrowania + grubość płyty betonowej

C/ Odporność ogniowa dla stropów (kryterium R) z blachą profilowaną, z prętami lub bez prętów zbrojeniowych, wynosi co najmniej 30 minut.

W celu ustalenia wymagań w zakresie odporności ogniowej stropów w klasach R60, R90 i R120 należy przeprowadzić analizę obliczeniową zgodnie z zasadami przedstawionymi w punkcie D/. Zasady te obowiązują jedynie w warunkach oddziaływania pożaru standardowego pod stropem. Odporność ogniowa w warunkach pożarowych ustalana jest dla przekrojów żelbetowych bez uwzględnienia profilowanej blachy stalowej zgodnie z zasadami podanymi w normie PN-EN 1994-1-2.

D/ Zasady obliczania odporności ogniowej stropu (kryterium R)

Obliczenia powinny wykazać, że po ustalonym czasie t standardowego pożaru pod stropem (t = 60, 90, 120 min), spełniony jest warunek stanu granicznego nośności:

$M_{fi,Sd,t} \leq M_{fi,Rd,t}$

gdzie:

$M_{fi,Sd,t}$ jest wartością obliczeniową efektu oddziaływań w warunkach pożaru (moment zginający) po określonym czasie *t*,

$M_{fi,Rd,t}$ jest wartością obliczeniową nośności stropu w warunkach pożaru.

Warunek ten powinien być sprawdzany w przekrojach poprzecznych, w których występują maksymalne momenty przęsłowe (dodatnie) lub momenty podporowe (ujemne).

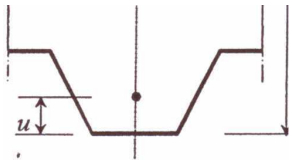
Oddziaływanie Mfi,Sd,t należy ustalać dla wartości obciążeń i kombinacji obciążeń określonych zgodnie z zasadami podanymi w normach PN-EN 1991-1-2 i PN-EN 1994-1-2.

Zasady wyznaczania granicznego obciążenia przy zginaniu w warunkach pożaru Mfi,Rd,t podano poniżej.

10.3.1 Nośność przy dodatnim momencie zginającym Mfi,Rd+

W przypadku momentów dodatnich bierze się pod uwagę pręty zbrojeniowe umieszczane w żebrach, podczas gdy udział blachy po stronie rozciąganej jest zaniedbywany. Zbrojenie, którego przekrój poprzeczny i odległość od dolnej powierzchni stropu określana jest indywidualnie w zależności od wymaganej odporności ogniowej stropu, umieszczone jest na osi żebra (pojedynczy pręt w każdym żebrze lub w części żeber).

Temperatura zbrojenia w osi żebra, w odległości u [mm] od spodu żebra, jest określona za pomocą następującej zależności:



$T = T_o (1 - u/u_o)$

gdzie wartości T_o i u_o podano w Tabeli 10.3 dla wszystkich 4 typów badanych stropów.

t	COFRAPLUS 60	
[min]	To	uo
60	750	97

90	923	119
120	1014	138

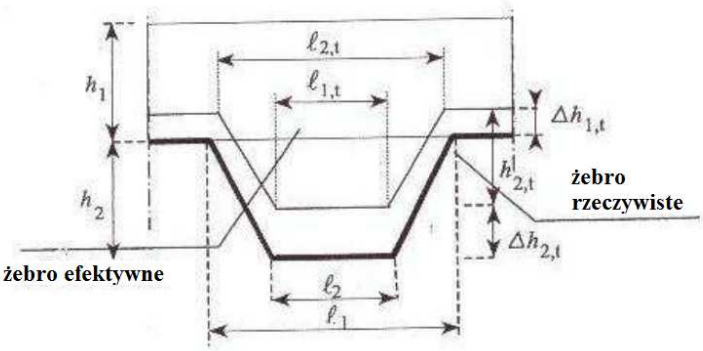
Tabela 10.3 Parametry służące do ustalania temperatury zbrojenia

Nośność dla dodatniego momentu zginającego Mfi,Rd+ należy określić biorąc pod uwagę zależną od temperatury wytrzymałość stali zbrojonej.

Charakterystyki te podano w normie.

10.3.2 Nośność przy ujemnym momencie zginającym Mfi,Rd-

Obliczając nośność w przypadku ujemnego momentu zginającego, pod uwagę brane są zredukowane wymiary obliczeniowe efektywnych żeber betonowych. Zjawisko to następuje w warunkach oddziaływania ognia, zgodnie z poniższym schematem:



	COFRAPLUS 60
l_1	101
l_2	62
h_2	58

Tabela 10.4 Wymiany żeber rzeczywistych [mm]

	COFRAPLUS 60		
Czas	t=60	t=90	t=120
Wym.			
l_1,t	48	41	36
l_2,t	90	87	85
H_2,t	56	55	53
Δh_1,t	8	11	14
Δh_2,t	10	14	18

Tabela 10.5 Wymiary efektywnych żeber [mm] w funkcji czasu oddziaływania ognia t [mm].

	COFRAPLUS 60		
u	t=60	t=90	t=120
95	1000	1000	1000
85	1000	1000	1000
75	1000	1000	1000
65	434	404	381
55	397	363	337
45	360	323	293
35	323	282	249
25	286	242	205
15	249	201	0
5	0	0	0

Tabela 10.6 Szerokość efektywnych żeber dla odległości u [mm] od spodu żeber na 1 m szerokości blachy[mm/m]

W celu wyznaczenia nośności przy ujemnym momencie zginającym M_{fi,Rd^-}, obliczenia dla efektywnego przekroju poprzecznego stropu należy przeprowadzać biorąc pod uwagę własności wytrzymałościowe betonu i stali w temperaturze pokojowej.

10.4 Zalety Cofraplus

Żebrowany profil stalowy zamocowany do szkieletu konstrukcji budynku służy jako poziome stężenie wiatrowe, pomost roboczy, szalunek i zbrojenie płyty przy zginaniu. Może zatem bezpośrednio wpływać na stężenie wiatrowe i stateczność budynku dzięki działaniu tarczowemu.

Profile stalowe są przymocowane do podpór i służą jako pomost roboczy, tym samym umożliwiając poruszanie się w dobrych i bezpiecznych warunkach roboczych przed wylaniem betonu. Po zamontowaniu profili spodnia część stropu jest wodoszczelna i czysta, z wykończoną powierzchnią. Możliwe jest wstępne malowanie.

Kształt żeber pewnie łączy profil stalowy z betonem. Sama blacha Cofraplus 60 często zapobiega konieczności zbrojenia przęseł. Wystarczy jedynie wykończyć płytę siatką spawaną i w razie potrzeby - prętami górnymi. Bez dodatkowego zbrojenia dolnego, zespolone stropy stanowią półgodzinną przegrodę ogniową.

Zastosowanie systemów stropów zespolonych pozwala zaoszczędzić:

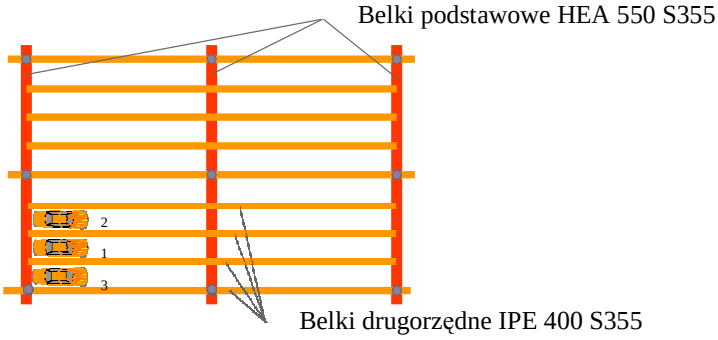
- czas trwania budowy i korzystanie z urządzeń podnośnikowych,
- wagę betonu, z powodu kształtu profilu żebrowanego, około 100 daN/m2.

Zmniejszenie masy płyty wpływa na wymiary pozostałej konstrukcji; belki i słupy są lżejsze i zmniejszają obciążenie fundamentów. Blachy stalowe można przenosić ręcznie i po umieszczeniu na dźwigarach, można szybko przemieszczać, co jest wielkim atutem podczas prac remontowych. Istnieją też inne zalety w zakresie korzystania z systemu stropów zespolonych w porównaniu z prefabrykowanymi płytami betonowymi, takie jak możliwość uzyskania nieregularnych kształtów, krzywizn lub specjalnych otworów w stropach.

Właściwości techniczne i wymagania, jak również zalecenia w zakresie projektowania na warunki pożarowe blach COFRAPLUS 60 znaleźć można w **APROBACIE TECHNICZNEJ ITB AT-15-6138/2009**

11 Załącznik 3: Szczegóły wstępnie zaprojektowanych konstrukcji – obliczenia na warunki pożarowe

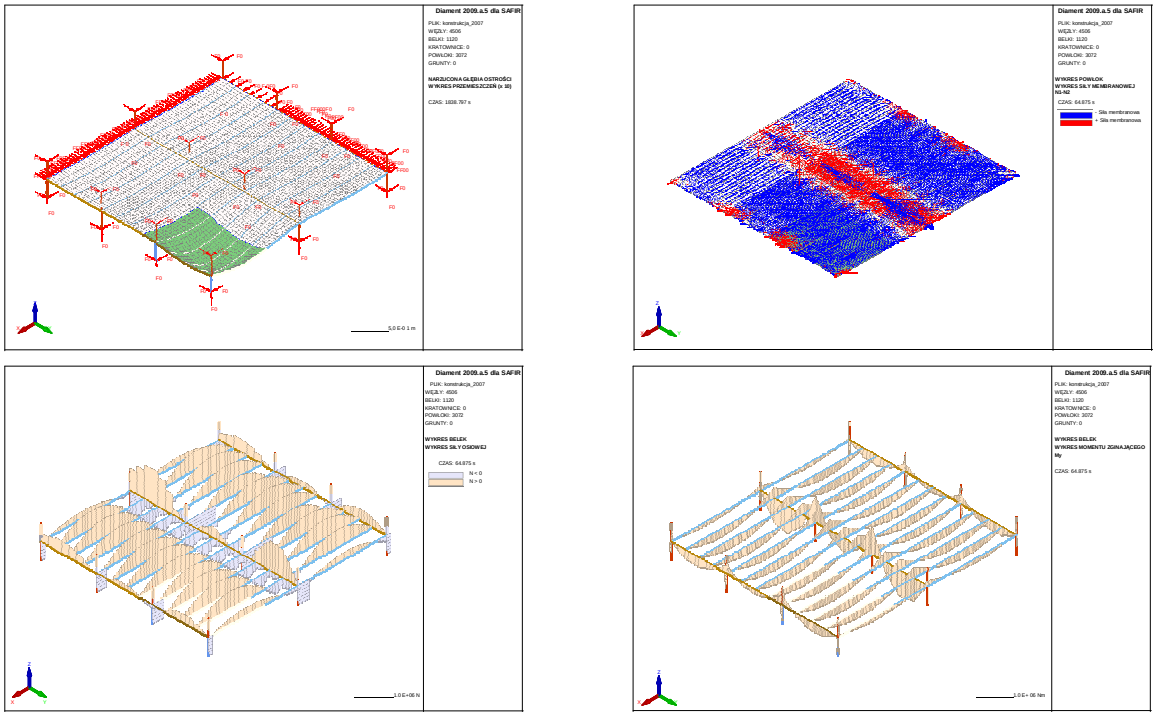
W celu przedstawienia szczegółowych wyników uzyskanych programem SAFIR, wykorzystano konstrukcję otwartego parkingu stalowego przedstawioną na Rys 11-1, poddaną oddziaływaniu naturalnego pożaru lokalnego. Obliczenia prowadzono symulując odpowiedź konstrukcji przez czas 2,5 godzin od rozpoczęcia pożaru.



Rys. 11-1 Schemat analizowanej konstrukcji

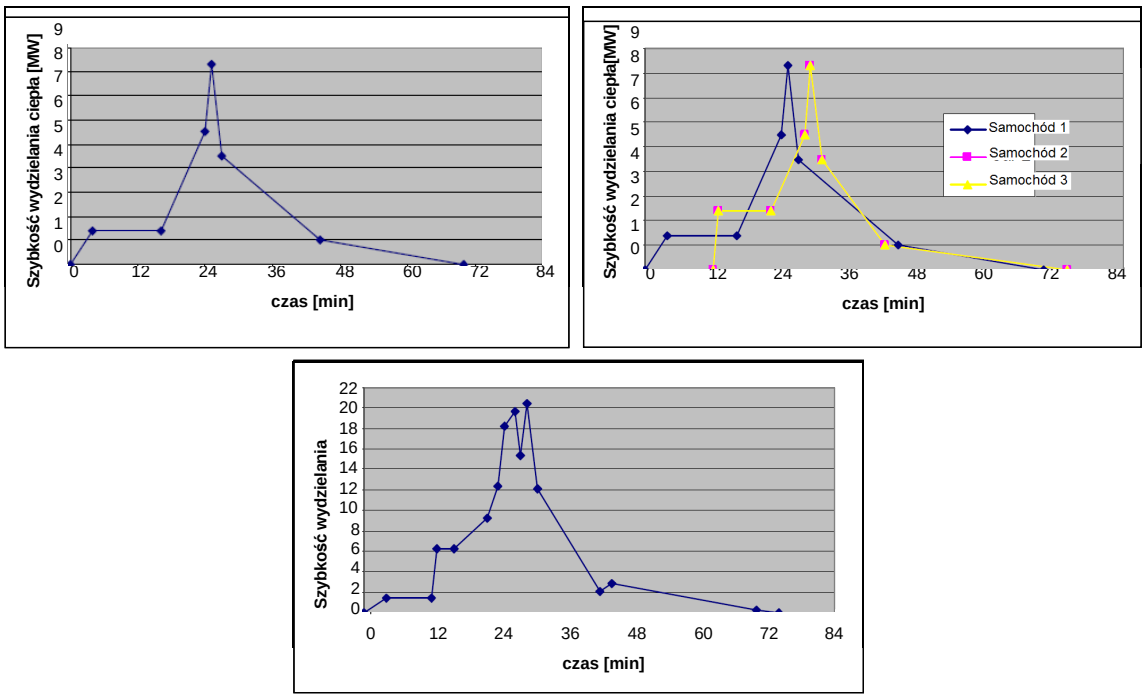
Na początku obliczeń, gdy konstrukcja pracuje w warunkach normalnych, maksymalne ugięcia w płycie i belkach wynoszą poniżej 5 mm. Należy jednak pamiętać, że przyłożone obciążenie wynika z kombinacji obciążeń w warunkach pożaru.

Początkowy rozkład naprężeń i ugięć przedstawiono na Rys. 11-2. Można zauważyć na prawej górnej ilustracji, że cała płyta jest ściskana, poza obszarami wokół słupów.



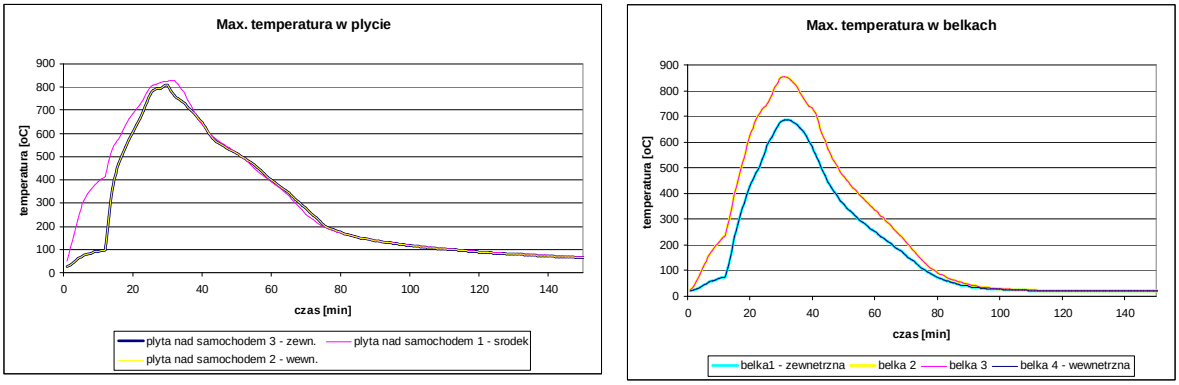
Rys. 11-2 Zachowanie konstrukcji w warunkach normalnych. Cała płyta jest ściskana.

Trzy palące się samochody używane do symulacji są samochodami klasy 3. Dla tej klasy samochodów szybkość wydzielania ciepła została ustalona doświadczalnie i skalibrowana. Wartości przedstawione zostały na Rys. 3-4 dla poszczególnych samochodów oraz dla grupy trzech analizowanych tu samochodów.



Rys. 11-3 RHR dla klasy samochodu 3 (górny lewy wykres), RHR dla każdego z trzech samochodów przy rozprzestrzeniającym się pożarze (górny prawy wykres)i skumulowana RHR dla trzech palących się samochodów (wykres dolny)

Wydzielanie ciepła generowanego przez palące się samochody mierzone jest w konstrukcji w formie temperatury. Maksymalne temperatury uzyskane w belkach otaczających samochody i płytach tuż nad samochodami przedstawiono w funkcji czasu na Rys. 11-4. Maksymalna temperatura na spodzie dolnej półki wynosi 855°C. Maksymalna temperatura na spodzie płyty wynosi 828°C.

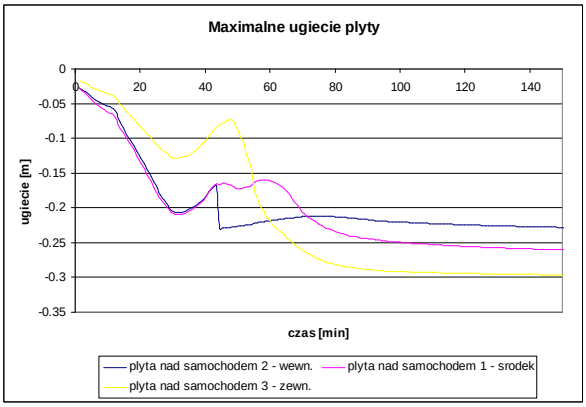


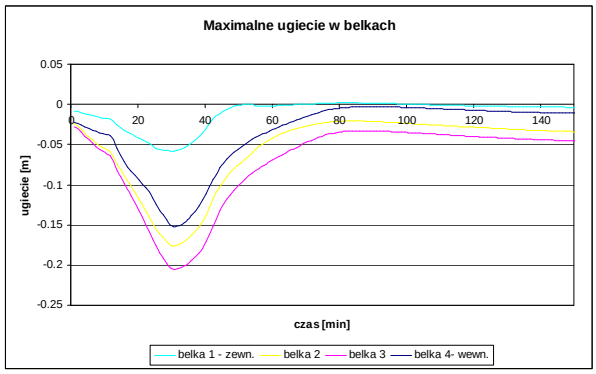
Rys. 11-4 Ocena maksymalnej temperatury w belkach i płytach otaczających palące się samochody

Zależne od czasu wykresy ugięć przedstawiono na Rys. 11-5. Ugięcia mierzone są w strefie, gdzie znajdują się palące się samochody. Maksymalne ugięcie w drugorzędnych belkach wynosi 0,304 m, to jest L/52.

Takie samo maksymalne ugięcie obserwuje się w płycie. Jednak plastyczne deformacje w płycie są dużo większe, ponieważ belki stalowe odzyskują swą wytrzymałość podczas studzenia. Maksymalna

plastyczna deformacja w belkach po pożarze wynosi 8 cm, tj. L/200. W tym samym czasie maksymalne ugięcie w płycie pozostaje na poziomie około 26 cm.

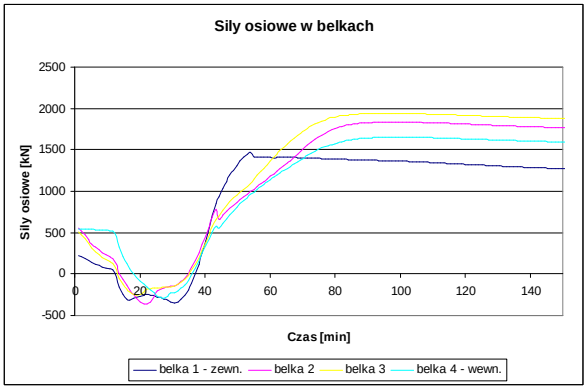


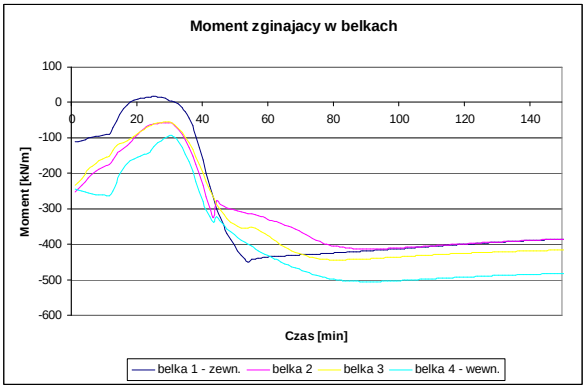


Rys. 11-5 Zmiany maksymalnych ugięć w belkach i płytach otaczających palące się samochody

Rys. 11-6 przedstawia siły powstałe w belkach podczas pożaru i w fazie studzenia. Pomiar przeprowadzono w tym samym punkcie, gdzie ugięcie osiąga wartość maksymalną.

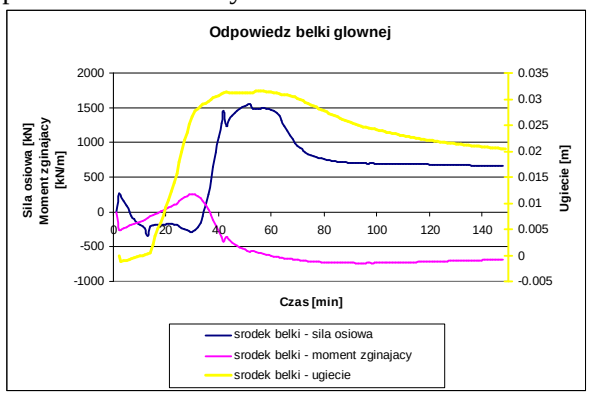
Można zauważyć, że belki przechodzą podczas pożaru od ściskania do rozciągania, aby powrócić do znacznie większego ściskania w fazie studzenia.





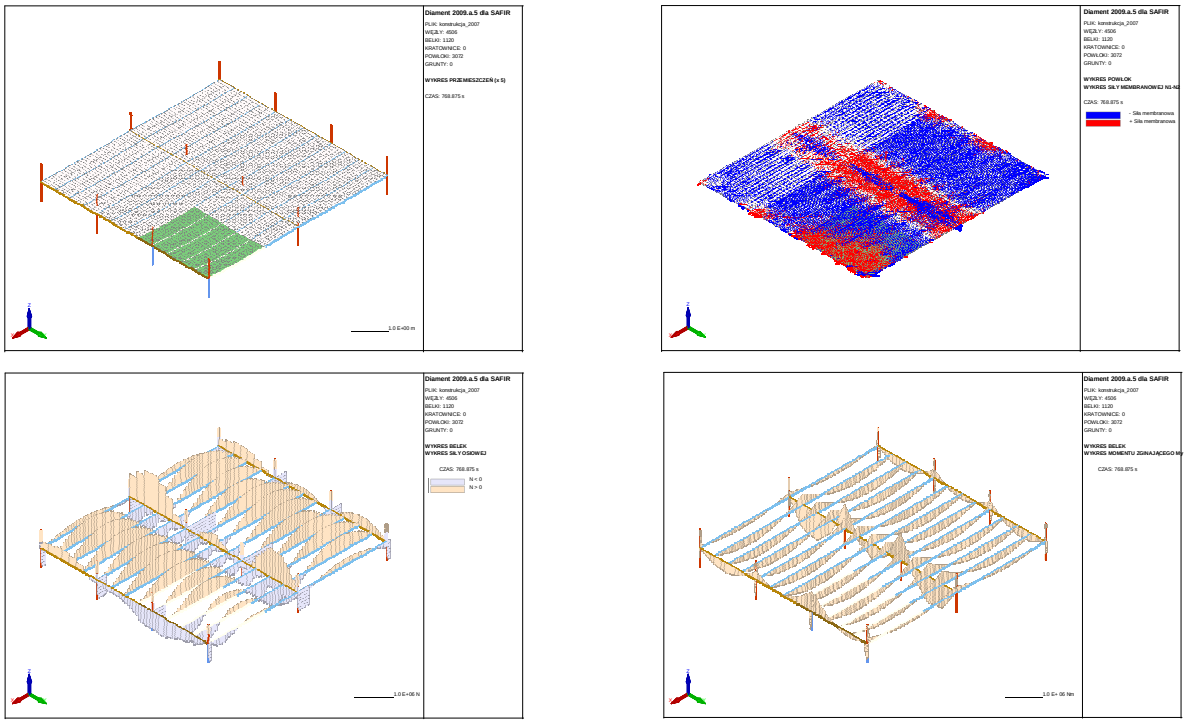
Rys. 11-6 Zmiana sił osiowych i momentów zginających w punktach maksymalnych ugięć i temperatury

Podobne zachowanie jak dla belek drugorzędnych można zaobserwować dla belki głównej, jak przedstawiono na Rys. 11-7.

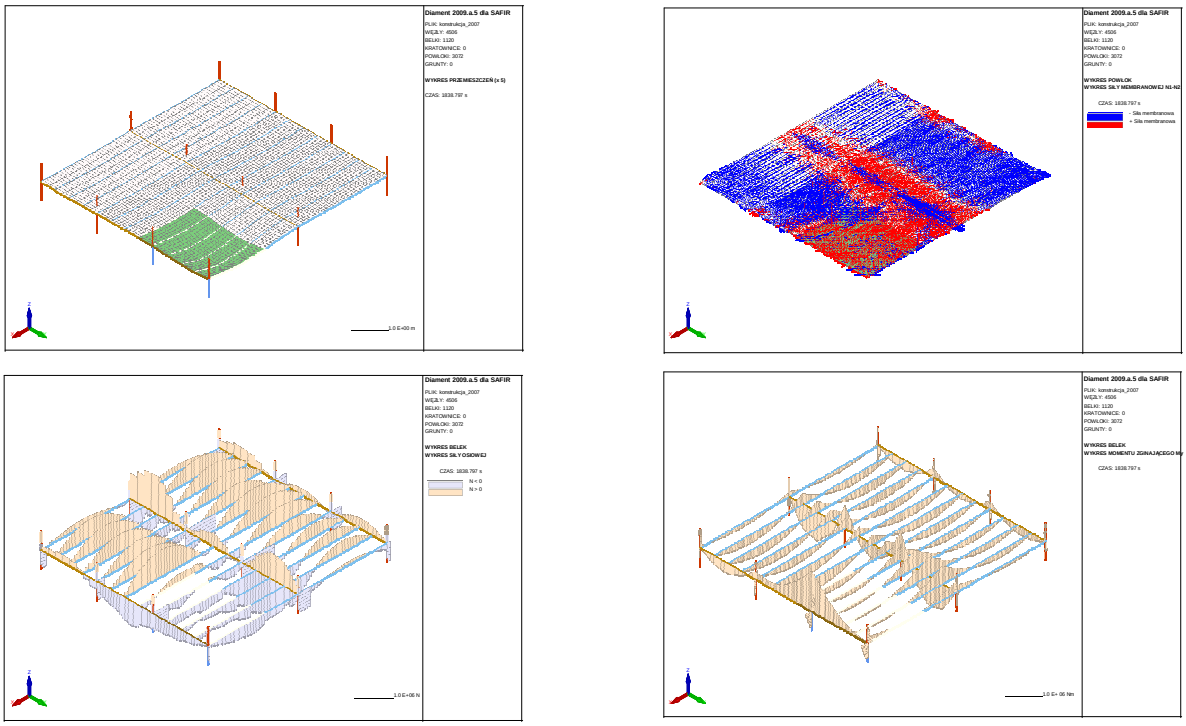


Rys. 11-7 Odpowiedź belki głównej na środku długości

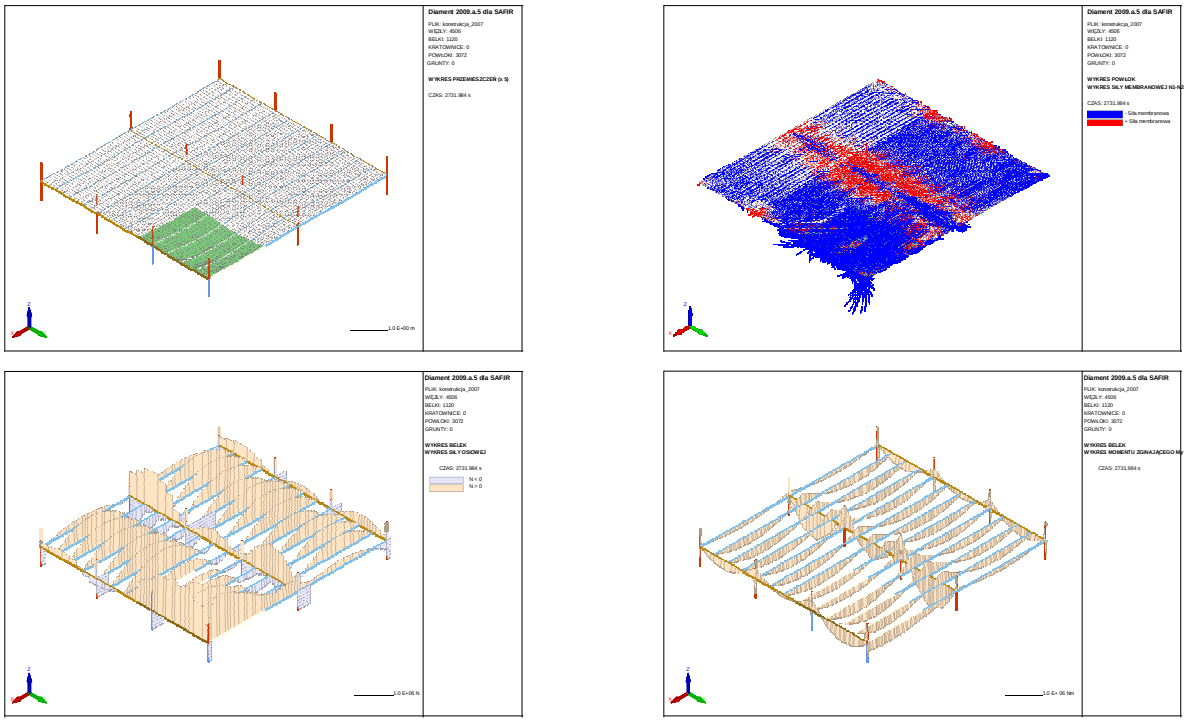
Przebieg zmienności sił w belkach drugorzędnych i w płycie przedstawiono na Rys. 11-8 - Rys. 11-11. Cała konstrukcja zaczyna się stabilizować po około 45-50 minutach od początku pożaru, a siły i ugięcia już się bardziej nie rozwijają.



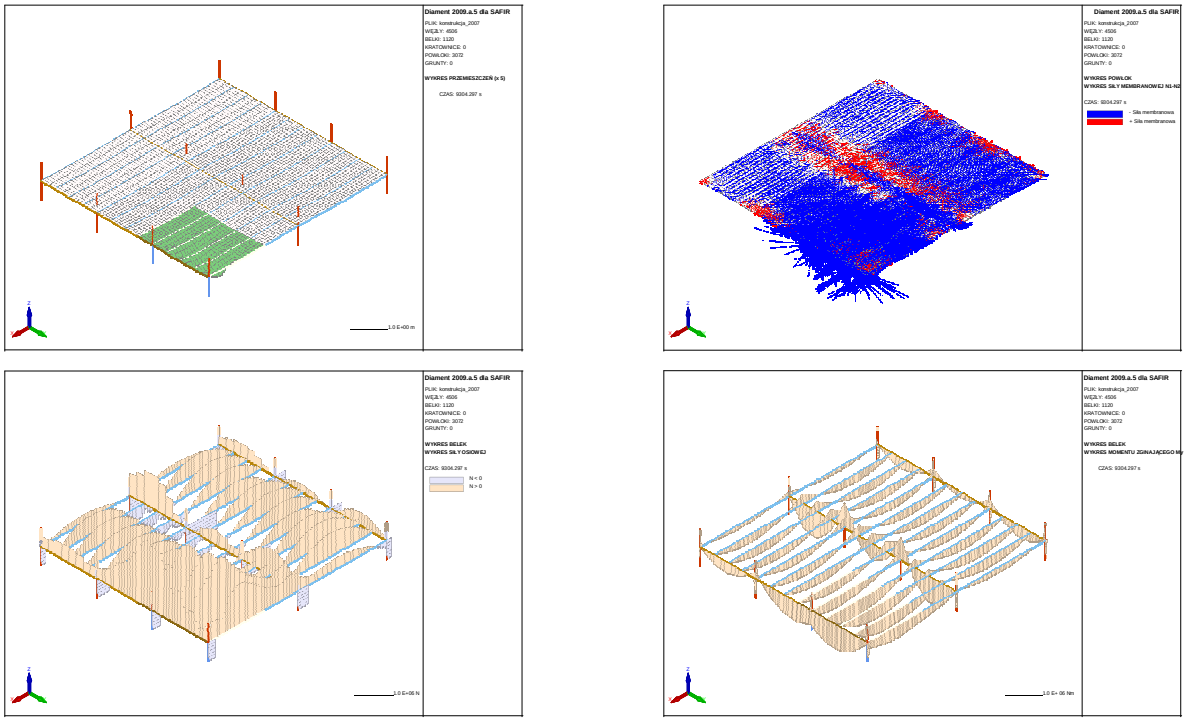
Rys. 11-8 Po 750 sekundach = 12,5 minuty



Rys. 11-9 Po 1800 sekundach = 30 minutach



Rys. 11-10 Po 2700 sekundach = 45 minutach



Rys. 11-11 Po 2,5 godzinach

Charakterystyka			Odpowiedź konstrukcji			
Rama [m] Słup 2,9m	Rozpiętość płyty [m]	Gatunek stali	Belka drugorzędna	Belka główna	Płyta zespolona z betonem C30/37	Szalunek stalowe z siatką S500
16x10	2,5m	S235	IPE 450	HEA 650	Cofraplus60 120mm	Ø 8 150x150
		S355	IPE 400	HEA 550		Ø 6 150x150
	3,3m	S235	IPE 550	HEA 700	Cofraplus60 120mm	Ø 7 150x150
		S355	IPE 500	HEA 600		Ø 7 150x150
	5m	S355	IPE 600	HEA 600	Cofraplus60 150mm	Ø 8 100x100
16x5	2,5m	S235	IPE 450	HEA 450	Cofraplus60 120mm	Ø 6 150x150
		S355	IPE 400	IPE 400		Ø 7 150x150
	5m	S355	IPE 600	IPE 160	Cofraplus60 150mm	Ø 8 100x100

12 Bibliografia

[Sch1, 99]	J-B. Schleich and others – *"Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in closed car parks "*, ECSC project, 1999
[Sch2, 99]	J-B. Schleich and others – *"Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in large compartments "*, ECSC project, 1999
[Bai, 02]	Colin Bailey, *"Structural Fire Design Of Unprotected Steel Beams Supporting Composite Floor Slabs"*, This paper was presented at the "II International Conference on Steel Construction – II CICOM" – November, 2002 – São Paulo, SP, Brazil.
[Joy,01]	D. JOYEUX, J. KRUPPA, L-G CAJOT, J-B. SCHLEICH, P. VAN DE LEUR, L. TWILT – "Demonstration of real fire tests in car parks and high buildings" – June 2001 – 121 pages
[Caj,05]	L.G. CAJOT, M. HALLER, M. PIERRE – Project DIFISEK – Part 1: Thermal and mechanical actions, 2005
[EC0, 02]	Eurocode 0, *Basis of Structural Design*, April 2002
[EC1,02]	Eurocode 1: *Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire*, November 2002
[EC2,04]	Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: *General rules – Structural fire design*, December 2004
[EC3, 05]	Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: *General rules - Structural fire design*, April 2005
[EC4, 05]	Eurocode 4 - Design of composite steel and concrete structures - Part 1-2: *General rules - Structural fire design*, August 2005
[Sch2,01]	J.B. SCHLEICH, J. KRUPPA, G. NEWMANN, L. TWILT for the ECCS - *"Model code on fire engineering - first edition"* - n°111 - May 2001 - 165 pages stron
[Fran,07]	J-M. FRANSSEN, V-K-R. HODUR, J. MASON - *"Elements of theory for SAFIR 2002 a computer program for analysis of structures subjected to fire"* - July 2007 -34 pages
[Frau,04]	C. FRAUD, Z. BIN - *"Guide pour la vérification au feu des parcs de stationnement largement ventilés en superstructure métallique"* - Janvier 2004 – 74
[Sav,09]	J.C. SAVOUREUX - Techniques de l'ingénieur: "Parcs de stationnements couverts - conception" - consulté en Décembre 2009 - 16 pages
[Vul,10]	C. VULCU, TH. GERNAY, R. ZAHARIA, J.M. FRANSSEN – *"Structures in Fire – Numerical modeling of Membrane Action of Composite Slabs in Fire Situation"* - 2010 - page 474 to 483
[Sim,10]	L. SIMOES DA SILVA, R. SIMOES, H. GERVASIO - *"Design of steel structures: Eurocode 3: Design of steel structures part 1-1: General rules and rules for building"* - 2010 - pages 154 à 166
[Caj,03]	L-G. CAJOT, J. MATHIEU, L.THOMAS - *"Les structure métalliques pour les* Open Steel Car Parks Design in Poland 58

[Fran,07]	J-M. FRANSSEN - "Users manual for SAFIR 2007 a computer program for analysis of structures subjected to fire" - April 2007 - 78 pages
[Roz, 02]	ROZPORZĄDZENIE MINISTRA INFRASTRUKTURY z dnia 12 kwietnia 2002 r. *w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*. (Dz. U. z dnia 15 czerwca 2002 r.)