

*grodzica, ścianka z grodzic, parking podziemny,
pożar, krzywa ogniowa pożaru naturalnego,
przegub plastyczny, redystrybucja momentów*

Paweł KWARCINIŃSKI

Arcelor Commercial Long Polska Sp. z o.o.

ZACHOWANIE SIĘ GRODZIC W TRAKCIE POŻARÓW NA PARKINGACH PODZIEMNYCH

W referacie omówiono problematykę związaną z wpływem ognia na konstrukcje stałe wykonane z grodzic. Przedstawiono wyniki przeprowadzonych przez Uniwersytet Liege w Belgii i Arcelor Commercial RPS badań nad zachowaniem się grodzic, poddanych działaniu wysokiej temperatury. Opisano hipotetyczny przebieg pożaru na parkingu podziemnym i wynikłą z takiego scenariusza krzywą ogniową pożaru naturalnego. Omówiono także wpływ rodzaju gruntu, jego wilgotności, wybranej krzywej ogniowej i grubości ścianek grodzic na temperaturę stali. W referacie opisano sposoby zwiększenia ognioodporności. Przedstawiono także uproszczoną metodę sprawdzania nośności grodzic poddanych obciążeniu ogniowemu. W metodzie tej wykorzystuje się możliwość powstania w grodzicach przegubów plastycznych i redystrybucji momentów.

1. WSTĘP

Zastosowanie grodzic jako stałych elementów konstrukcyjnych zyskuje coraz większą aprobatę wśród projektantów i wykonawców. Dotyczy to również ich wykorzystania jako elementów stałych parkingów podziemnych.

Prostota technologii, szybkość wykonywania, rozwój sprzętu do pograżania i bardzo mała pracochłonność powodują, przy ciągle rosnących kosztach robocizny, wzrost konkurencyjności obiektów wykonywanych przy użyciu grodzic.

Stropy kondygnacji parkingu podziemnego są zwykle podparte na stalowych dwuteownikach przyspawanych do grodzic, lub na wieńcach żelbetowych, których zbrojenie jest także spawane do grodzic. Strop najwyższej kondygnacji znajdujący się na poziomie korony grodzic, może być z nimi połączony przegubowo lub sztywno przy użyciu żelbetowego oczepu.

Najwięcej wątpliwości wśród projektantów i wykonawców, zastanawiających się nad wykorzystaniem grodzic do budowy parkingu podziemnego, wzbudzają trzy czynniki.

Pierwszy z nich, to często kwestionowana, zdolność grodzic do przekazywania obciążeń pionowych na grunt. Przeprowadzone doświadczenia [4] dowiodły, że grodzice przenoszą

na grunt obciążenia pionowe przy udziale swej pobocznicy i podstawy. Istnieją także zalecenia i metody obliczeniowe [1], umożliwiające weryfikację nośności ścianki z grodzic.

Drugim mitem dotyczącym grodzic jest ich korozja w gruncie. Tutaj, pewnym odniesieniem są wartości podane w Eurokodzie 3 część 5: „Palowanie i grodzice” [7]. W tabeli załącznika F tego Eurokodu zaproponowano na przykład, by ubytek korozyjny stali w gruntach naturalnych nienaruszonych, powyżej lub poniżej zwierciadła wody gruntowej, przyjmować jako równy 0.6 mm w ciągu 50 lat [7].

Trzeci czynnik, który może wzbudzać wątpliwości to zachowanie się grodzic pod wpływem działania wysokiej temperatury w trakcie pożaru. Dotychczas brakowało projektantom narzędzia pomocnego przy określaniu wpływu ognia na ściany np. parkingu podziemnego. Wycho- dząc naprzeciw takim potrzebom, Dział Techniczny firmy Arcelor Commercial RPS dokładnie przeanalizował wyniki uzyskane w trakcie eksperymentów przeprowadzonych na Uniwersytecie Liege, w Belgii.

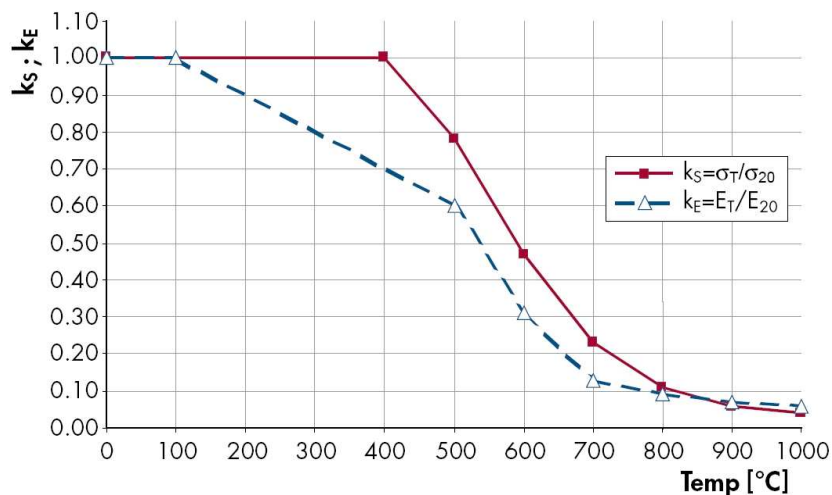
2. WPŁYW WYSOKIEJ TEMPERATURY NA ŚCIANĘ Z GRODZIC

Aby dobrze przedstawić zjawiska zachodzące na styku wysokiej temperatury, grodzicy i ośrodka gruntowego, należy rozwinąć następujące wątki:

- a) wpływ wysokiej temperatury na właściwości stali,
- b) krzywe ogniowe,
- c) właściwości termiczne różnych gruntów, o różnej wilgotności,
- d) praca ściany z grodzic w warunkach podwyższonej temperatury,
- e) sposoby ochrony stali przed działaniem wysokiej temperatury.

2.1. WPŁYW TEMPERATURY STALI NA JEJ WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE

Stal jest materiałem niepalnym o właściwościach mechanicznych uzależnionych od swej temperatury. Na Rys. 1. pokazano zależność pomiędzy temperaturą stali, a jej modułem sprężystości podłużnej i wytrzymałością. Moduł Young'a stali maleje już przy 100°C. Natomiast wytrzymałość zaczyna spadać po osiągnięciu przez stal temperatury 400°C.

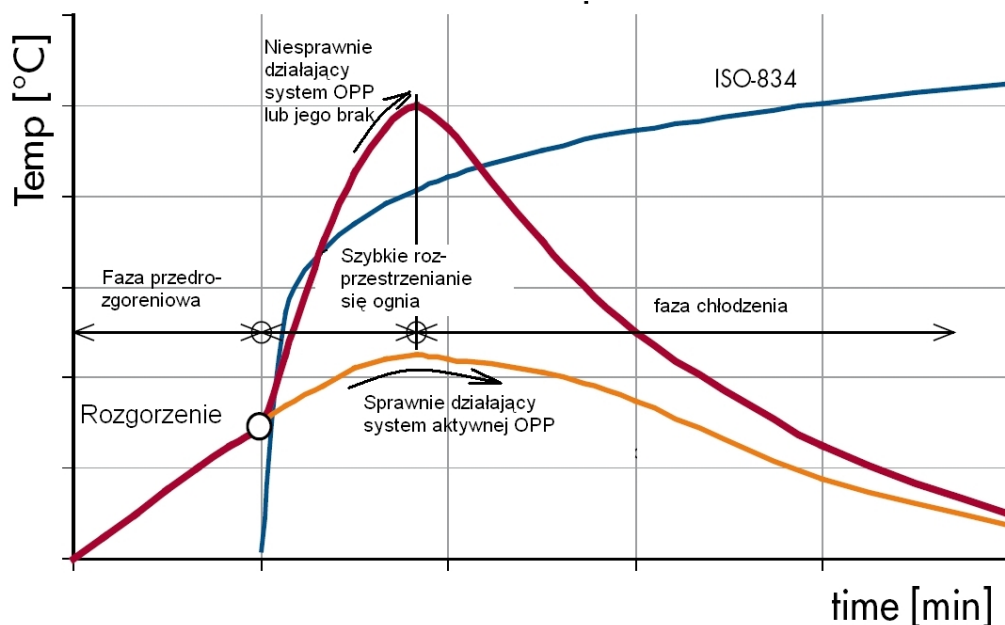


Rys.1. Charakterystyka termo-mechaniczna stali; k_s – współczynnik redukujący wytrzymałość stali, k_E – współczynnik redukujący moduł Younga [3]

2.2. RODZAJE OBCIĄŻEŃ OGNIOWYCH

Istnieje wiele modeli opisujących obciążenie ogniowe w trakcie trwania pożaru. W tym referacie przedstawiono tylko dwa. Pierwszy z nich to model, opisany tzw. krzywą pożarową ISO-834 [3] (Rys. 2.). W dalszej części artykułu będzie ona nazywana krzywą ISO-834.

Drugi model tzw. rzeczywisty [3, 5], jest opisywany przez krzywe pożaru naturalnego (Rys. 2.), które w dalszej części referatu będą nazywane krzywami NAT. Według tego modelu, pożar przebiega w trzech następujących fazach. W trakcie pierwszej fazy, noszącej nazwę przedrozgorzeniową (pre-flashover), temperatura rośnie powoli, a pożar jest ograniczony do miejsca jego rozpoczęcia. Następnie gdy temperatura w pomieszczeniu osiągnie wartość 300-500 °C, dochodzi do tzw. rozgorzenia (ang. flashover). Rozgorzenie rozpoczyna drugą fazę pożaru, tzw. fazę porozgorzeniową (ang. post-flashover). Faza ta charakteryzuje się szybkim wzrostem temperatury gazów. Temperatura ta osiąga w pewnym momencie maksymalną wartość, co rozpoczyna trzecią i ostatnią fazę pożaru rzeczywistego, w trakcie której dochodzi do wypalenia wszystkich palnych substancji i obniżania się temperatury w pomieszczeniu. Warto dodać, że w sytuacji gdy obiekt wyposażony jest w dobrze zaprojektowany i prawidłowo działający system zraszaczy, można przyjąć, że nie dochodzi do rozgorzenia (jaśniejsza linia na Rys. 2).



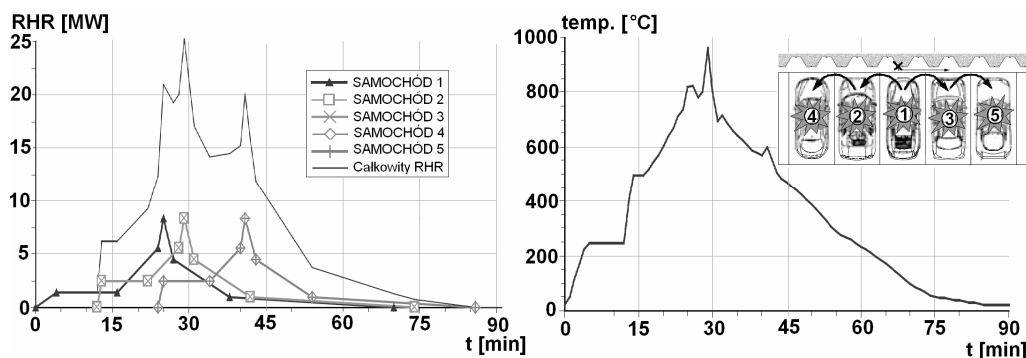
Rys. 2. Fazy rozwoju pożaru naturalnego NAT, dla porównania pokazano też, krzywą ISO-834 [3]

Oczywiście każdy rodzaj obiektu, w tym parking podziemny, posiada swoje charakterystyczne krzywe NAT, które są uzależnione od wentylacji obiektu, wielkości pomieszczenia, rozmieszczenia substancji palnych i ich ilości. Przy tworzeniu krzywej NAT dla parkingu podziemnego przyjęto następujący scenariusz wydarzeń, przedstawiony schematycznie w prawym górnym rogu Rys.3. Najpierw dochodzi do zapalenia się samochodu nr. 1. Następnie, po 12 minutach, na skutek podwyższenia temperatury w otoczeniu samochodu nr 1, dochodzi do rozgorzenia sąsiednich samochodów o numerach 2 i 3. Po kolejnych 12 minutach, dochodzi do rozgorzenia pojazdów o numerach 4 i 5. W tym momencie analizy przyjmuje się, że zapalenie kolejnych pojazdów nie będzie miało, ze względu na oddalanie się źródła ciepła, wpływu na wzrost temperatury w punkcie pomiarowym. W omówionym przebiegu zdarzeń przyjęto, że parking nie jest wyposażony w system zraszaczy.

Poniższe wykresy (Rys.3) ilustrują opisany powyżej przebieg pożaru. Wykres po lewej stronie Rys. 3., to wykres intensywności wydzielania ciepła RHR (ang. Rate of Heat Release) w MW. Linia ciągła na wykresie to całkowite RHR powstałe przez zsumowanie RHR pojedynczych pojazdów. Przy tworzeniu krzywej intensywności wydzielania ciepła dla pojedynczego samochodu wykorzystano wyniki eksperymentalnych pożarów, w trakcie których mierzono temperaturę i promieniowanie cieplne w funkcji czasu. W wyniku tych eksperymentów oraz na podstawie porównania mas samochodów przed i po pożarze stwierdzono, że obciążenie ogniowe z jednego samochodu wynosi około 5000-7000 MJ.

Wykres po prawej stronie Rys. 3, to krzywa temperatury gazów w punkcie położonym na ścianie z grodzic, przy samym stropie kondygnacji parkingu. Krzywa ta, powstała na podstawie wytycznych Aneksu C normy EN 1991-1-2 [6] i jest wynikiem przekształcenia krzywej

RHR, z uwzględnieniem między innymi takich czynników jak wysokość kondygnacji i usytuowanie samochodów względem ściany.



Rys. 3. Krzywa RHR i temperatury dla pożaru naturalnego w parkingu podziemnym (opis w tekście) [3]

Krzywe NAT dobierane do obliczeń mają oczywiście inny kształt. Po pierwsze dokonuje się uśrednienia ich przebiegu. Po drugie, krzywe te uwzględniają wielkość parkingu i wydajność systemu wentylacyjnego. Na przykład dla parkingu podziemnego ze słabą wentylacją, osiągnięte temperatury gazów będą mniejsze, ale czas trwania pożaru będzie dłuższy, niż w parkingu z lepszą wymianą powietrza.

2.3. WPŁYW OBCIĄŻENIA OGNIOWEGO NA TEMPERATURĘ GRODZIC ORAZ OTACZAJĄCEGO JE OŚRODKA GRUNTOWEGO

W trakcie ewentualnego pożaru, temperatura grodzic nie będzie równa temperaturze gazów. Do określenia temperatury stali konieczna jest znajomość procesów zachodzących na styku wysokiej temperatury, grodzic i gruntu. Dotychczas brakowało wyników takich analiz.

Dlatego w 1995 roku przeprowadzono w Instytucie Budowlanym Uniwersytetu Liege w Belgii badania, których celem było znalezienie zależności pomiędzy temperaturą stali grodzic w trakcie pożaru, a rodzajem i wilgotnością otaczającego je gruntu. Badania te prowadzili Prof. R. Baus i J.M. Franssen. Drugi z wymienionych jest równocześnie autorem programu komputerowego SAFIR, używanego przy projektowaniu konstrukcji stalowych poddanych obciążeniu ogniowemu. Dzięki uzyskanym wynikom określono przewodność cieplną gruntów oraz ich ciepła właściwe. Dane te wykorzystano do budowy modeli MES, co w dalszej części badań umożliwiło dokładniejsze przeanalizowanie procesów cieplnych na styku ogień-grodzica-grunt oraz stworzenie odpowiednich narzędzi i procedur obliczeniowych.



Rys. 4. Komora badawcza do symulowania warunków występujących w trakcie pożaru [3]

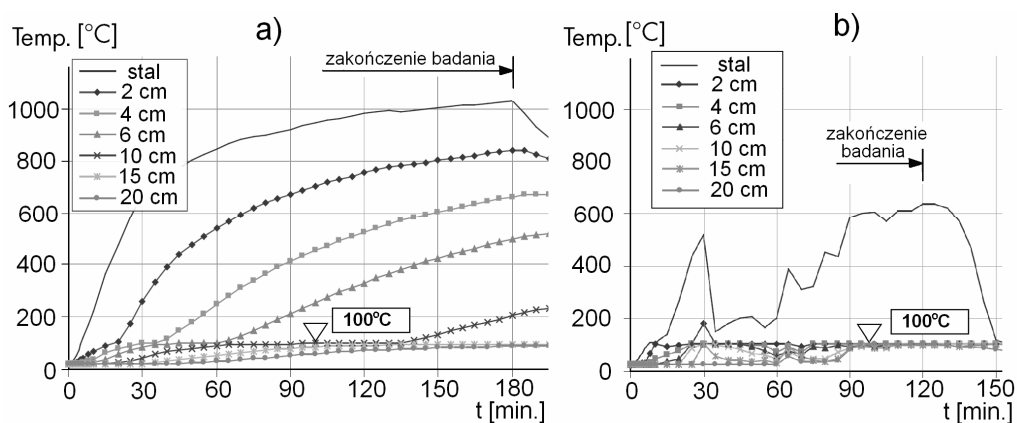
Eksperymenty przeprowadzono przy wykorzystaniu specjalnej komory (Rys. 4.), w której można było symulować temperatury występujące w trakcie pożaru. W jednej ze ścian komory znajdował się otwór, który na czas badania był zasłaniany przez ściankę z grodzic PU6 (Rys. 4.), zamocowaną w specjalnej, dopasowanej do otworu badawczego ramie. Rama ta tworzyła skrzynię z otworem na górze, służącym do wypełnienia jej gruntem przed badaniem. W gruncie umieszczano czujniki temperaturowe w pięciu miejscach na szerokości ścianki, w sześciu różnych od niej odległościach 2, 4, 6, 10, 15 i 20 centymetrów. Do grodzicy mocowano także 9 czujników, które mierzyły temperaturę stali.

Przeprowadzono w sumie 4 badania dla następujących gruntów: piasków nawodnionych (poniżej zwierciadła wody gruntowej), piasków suchych/wilgotnych (ang. dry/wet; myślowo można przyjąć, że jest to piasek powyżej zwierciadła wody gruntowej), ilów nasyconych wodą, ilów suchych/wilgotnych. Temperatura gazów w komorze badawczej w trakcie badania odpowiadała krzywej ISO-834 (Rys. 5.). Poniżej przedstawiono jedynie wyniki eksperymentów przeprowadzonych na piaskach.

Wykres na Rys. 5.a. przedstawia temperatury stali oraz w suchego/wilgotnego piasku, w różnych odległościach od grodzicy, w funkcji czasu. Można, zauważyć jak wraz ze wzrostem odległości od grodzicy maleje temperatura gruntu. Wyraźnie widać też, w różnych punktach pomiarowych w gruncie, że zmiana charakteru przebiegu funkcji temperatury w czasie, występuje w momencie przekroczenia temperatury 100°C. Jest to efektem zmiany stanu skupienia

wody występującej w wilgotnym gruncie, z ciekłego na lotny. Para wodna, zamiast przekazywać energię cieplną w głąb gruntu, magazynuje ją i wydatkuje na parowanie i skraplanie.

Zupełnie inaczej wygląda wynik pomiarów dla nawodnionego piasku (Rys. 5.b.). Charakteryzuje się on znaczną nieliniowością, która jest spowodowana zaburzeniami w cyrkulacji wody w otoczeniu rozgrzanej grodzicy. Przepływ wymuszony jest przez ciepło odbierane przez wodę. Rozgrzana woda, na skutek zmniejszenia swej gęstości unosi się do góry, a na jej miejsce napływa woda zimniejsza. Po pierwszych 30 minutach, w wyniku znacznego wzrostu temperatury w komorze w krótkim czasie, dochodzi do zaburzeń w tej cyrkulacji. Dokumentuje to krótki „pik”, w 30 minucie badania, na wykresach temperatury stali i temperatury gruntu znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie grodzicy. Po ustabilizowaniu się cyrkulacji wody, dochodzi do zmniejszenia się temperatury grodzicy i gruntu. Później dochodzi do powolnego, skokowego wzrostu temperatury stali. Natomiast temperatura w ośrodku gruntowym nie przekroczyła już 100°C.



Rys. 5. Temperatura grodzicy i gruntu w trakcie prowadzenia badań na piaskach:
a) suchych/wilgotnych; b) nawodnionych [3]

W trakcie badań mierzono też temperaturę w różnych miejscach na szerokości ścianki z grodzic. Największe temperatury stali i ośrodka gruntowego notowano przy płaskich powierzchniach grodzic, a najmniejszą, ze względu na wpływ pojemności cieplnej stali, przy zamkach grodzic.

Dalsza część prac badawczych polegała na dokonaniu wstecznej analizy obliczeniowej otrzymanych wyników, przy użyciu programów komputerowych typu MES. Na jej podstawie wyprowadzono wartości ciepła właściwego oraz przewodności cieplnej dla różnych gruntów. Aby uwzględnić wpływ cyrkulacji wody w otoczeniu rozgrzanej grodzicy na odbiór i redystrybucję energii cieplnej, stworzono parametr o nazwie równoważnikowa objętość wody (ang. Equivalent Water Content - EWC).

Po określeniu właściwości termicznych gruntów i parametru EWC, przystąpiono do szerszej analizy problemu. Za pomocą programu komputerowego SAFIR, stworzono krzywe temperatur stali w trakcie pożaru, uzależnione od: rodzaju gruntu, występowania wody w gruncie, grubości

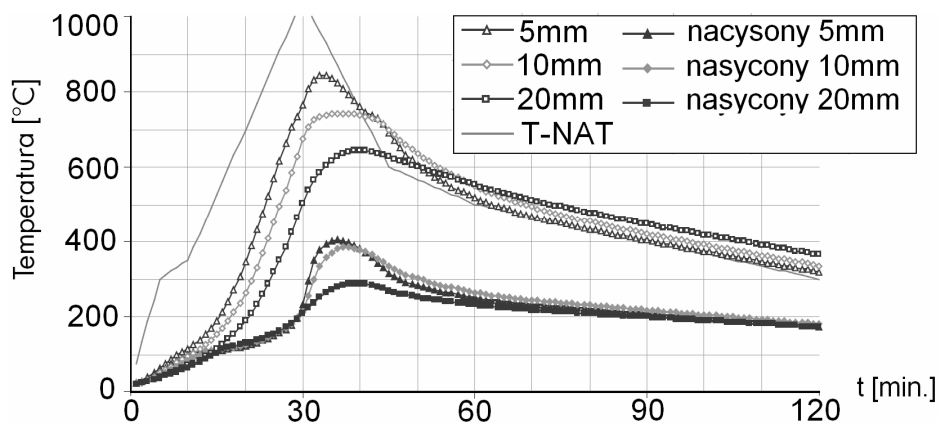
ścianek grodzic i typu krzywej ogniowej (Tabela 1.). Ilość kombinacji parametrów przedstawionych w Tablicy 1. jest równa 48-iu.

4 rodzaje gruntu	2 wilgotności gruntu	3 grubości stali grodzic	2 krzywe ogniowe
Żwir Piasek Pył II	suchy/wilgotny nawodniony	5 mm 10 mm 20 mm	ISO-834 NAT

Tabela 1. Matryca parametrów wpływających na temperaturę grodzic w trakcie pożaru [3]

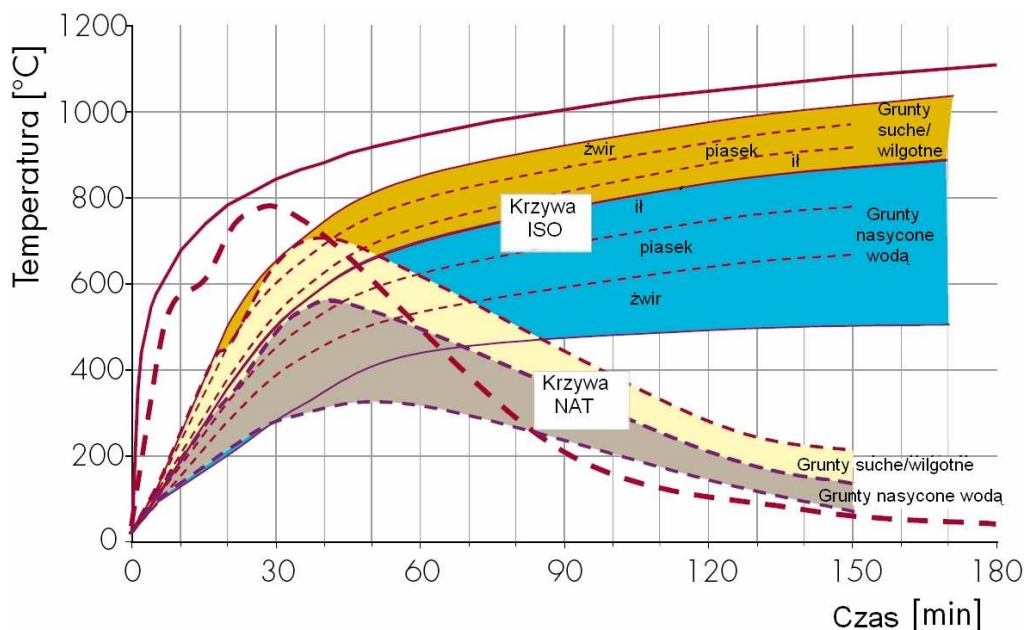
Poniżej na Rys. 6. przedstawiano jeden z zestawów wykresów temperatury stali (pozostałe wykresy można znaleźć w broszurze firmy Arcelor poświęconej tematyce pożarów na parkingach podziemnych [3]). Jest to wykres temperatury grodzicy w trakcie pożaru w sytuacji, gdy po drugiej stronie ścianki znajduje się żwir. Poza temperaturami stali, linią ciągłą zaznaczono krzywą NAT. Pozostałe krzywe to temperatury stali, przy różnych jej grubościach, w zależności od tego, czy żwir jest suchy lub nawodniony. Na Rys. 6. zauważalna jest różnica temperatur pomiędzy grodzicami ze stali o różnych grubościach. Różnica ta jest wynikiem wpływu pojemności cieplnej stali.

Temperatura stali w żwirach suchych osiąga najwyższą temperaturę, spośród wszystkich wymienionych w Tabeli 1. gruntów. Jest to spowodowane mniejszą przewodnością cieplną, będącą wynikiem między innymi, małej powierzchni styku pomiędzy ziarnami szkieletu gruntowego. Jednocześnie w żwirach nasyconych wodą, temperatura stali osiąga wartość najmniejszą spośród wszystkich analizowanych nasyconych gruntów. To z kolei jest wynikiem dobrej cyrkulacji wody (wysoki współczynnik filtracji k) i co za tym idzie dobrej wymiany ciepła w ośrodku gruntowym.



Rys. 6. Temperatura grodzic w trakcie pożaru, w żwirach suchych/wilgotnych lub nawodnionych [3]

Na Rys. 7 pokazano charakterystyczne uśrednione przebiegi krzywych temperatury stali z uwzględnieniem rodzaju gruntu, rodzaju krzywej ogniowej i nasycenia gruntu wodą. Temperatury stali są oczywiście znacznie mniejsze dla krzywej NAT.



Rys. 7. Uśrednione przebiegi krzywych temperatur grodzic w sytuacji pożaru [2]

2.4. ZACHOWANIE ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH PARKINGU PODZIEMNEGO Z GRODZIC W TRAKCIE POŻARU

Jednymi z największych zalet grodzic jest ich zdolność do pracy w zakresie sprężysto-plastycznym i możliwość powstawania w nich przegubów plastycznych. Grodzice, oczywiście te, które są wystarczająco krępe [7], nawet po znacznych odkształceniach, są w stanie zachować swoją ciągłość i wytrzymałość. Dzięki takim właściwościom, można w trakcie projektowania konstrukcji z grodzic, korzystać ze wskaźnika wytrzymałości przy zginaniu plastycznym W_{pl} . A w przypadku gdy konstrukcja jest statycznie niewyznaczalna można też zastosować metodę przegubów plastycznych oraz dokonać redystrybucji momentów.

Wykorzystanie, w trakcie sprawdzania nośności grodzic, wymienionych zalet, dopuszcza Eurokod 3 część 5: „Palowanie i grodzice” [7]. W normie tej podano zalecenia, co do oceny klasy przekroju grodzicy i zdolności jej przekroju do obrotu.

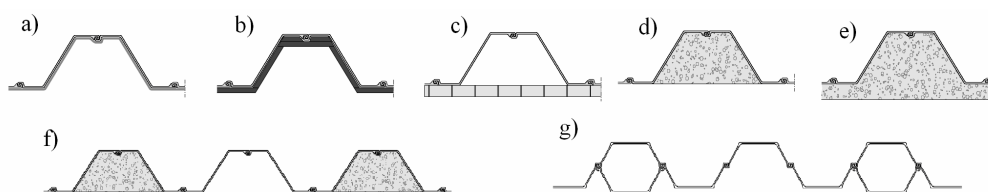
Wykonana z grodzic ściana zewnętrzna parkingu podziemnego, obliczana często jako belka ciąгла na podporach sprężystych, jest ustrojem hiperstatycznym. W sytuacji pożaru, obniża się współczynnik sprężystości podłużnej stali, co doprowadza do zwiększenia odkształceń ściany.

Następnie zaczyna obniżać się granica plastyczności, czego efektem jest szybsze powstanie przegubów plastycznych i redystrybucja momentów w ustroju.

2.5. METODY ZWIĘKSZANIA ODPORNOŚCI OGNIOWEJ GRODZIC

W sytuacjach, w których sprawdzona nośność ściany z grodzic w warunkach pożaru okazuje się niewystarczająca, można zabezpieczyć powierzchnie stali przed wpływem wysokiej temperatury. Sposoby takiej ochrony polegają na umieszczeniu pomiędzy grodzicą, a źródłem ciepła materiałów, których celem będzie pochłonięcie części promieniowania cieplnego i/lub izolacja termiczna ścianki. Do podstawowych zabiegów zwiększających odporność ogniową należą:

- malowanie farbami pęczniejącymi pod wpływem wysokiej temperatury (Rys 8.a.),
- montowanie na grodzicach płyt ognioochronnych (Rys 8.b.),
- obmurowanie (Rys 8.c.),
- wypełnienie wklęsłych fragmentów ścianki betonem (Rys 8.d.),
- całkowite zabetonowanie (Rys 8.e.),



Rys. 8. Sposoby ochrony grodzic przed wpływem wysokiej temperatury [3]

Ognioodporności Można też zwiększyć poprzez wykonanie palościanki (Rys 8.g.), lub poprzez zabetonowanie co drugiego zagłębienia w ścianie (Rys 8.f.).

Aby dokładnie sprawdzić w jakim stopniu wybrane rozwiązanie zmniejsza temperaturę stali grodzic należy dokonać analizy MES.

3. UPROSZCZONA METODA SPRAWDZANIA SGN ŚCIANY Z GRODZIC W WARUNKACH POŻARU

Grodzice wybierane jako elementy konstrukcyjne parkingów podziemnych są z reguły wystarczająco krępe, aby mogły się w nich wytworzyć przeguby plastyczne, posiadające pewną zdolność do obrotu. Klasy przekrojów grodzic są podane w katalogu producenta grodzic [2], a zdolność obrotu przekroju plastycznego należy wyznaczyć na podstawie Eurokodu [7]. Poniżej w sześciu podpunktach a) – f) przedstawiono uproszczoną procedurę sprawdzenia nośności grodzic w warunkach pożaru:

- a) krok I – określenie średniego parcia p_m gruntu i wody działającego na metr bieżący ściany z grodzic, na wysokości kondygnacji, na której doszło do wybuchu pożaru (Rys. 9), oraz wyznaczenie współczynnika β :

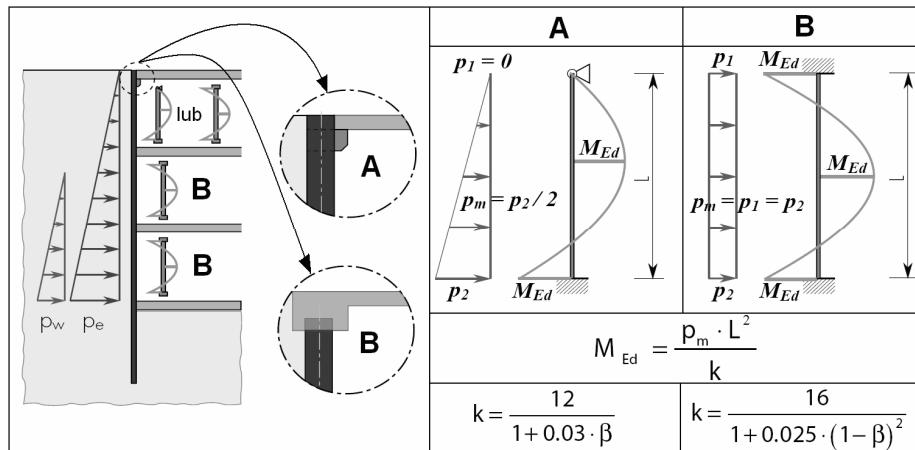
$$p_m = \frac{p_1 + p_2}{2} \quad \text{oraz} \quad \beta = \frac{p_1}{p_2}$$

gdzie:

p_1 – sumaryczne parcie gruntu i wody, na wysokości górnego stropu kondygnacji objętej pożarem [kPa/mb]

p_2 – sumaryczne parcie gruntu i wody, na wysokości dolnego stropu kondygnacji objętej pożarem [kPa/mb]

- b) krok II – wyznaczenie momentów zginających w grodzicach M_{Ed} , na podstawie danych z podpunktu a) oraz schematu przedstawionego na Rys. 9.,



Rys. 9. Procedura obliczenia M_{Ed} [3]

- c) krok III – sprawdzenie wykorzystania przekroju podczas ściskania osiowego n oraz wyznaczenie smukłości względnej $\bar{\lambda}$:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl}} \quad \text{oraz} \quad \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{cr}}}$$

we wzorach tych:

- N_{Ed} – obciążenie pionowe działające na ścianę z grodzic [kN/mb]

- N_{pl} – nośność pionowa ściany z grodzic [kN/mb] obliczona ze wzoru:

$$N_{pl} = A \cdot f_y$$

gdzie:

A – pole przekroju poprzecznego metra bieżącego ściany z grodzic [cm²/mb]

f_y – granica plastyczności stali [MPa]

- N_{cr} – siła krytyczna przy ściskaniu osiowym obliczona ze wzoru:

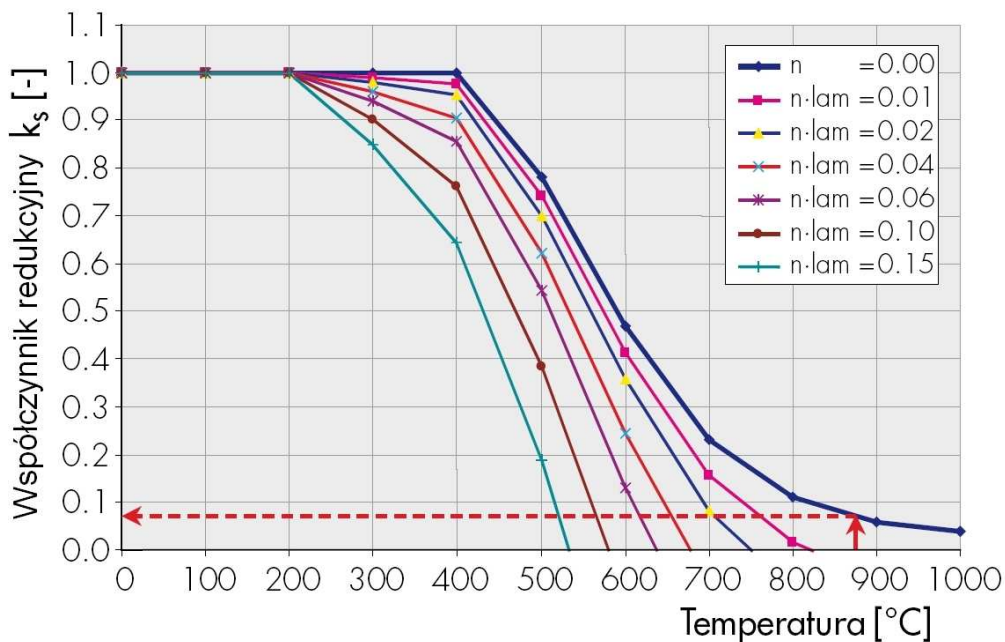
$$N_{cr} = \frac{EI \cdot \pi^2}{L_b^2}$$

gdzie:

EI – sztywność przekroju przy zginaniu [MN·m²/mb]

L_b – długość wyboczeniowa grodzic [m]

- d) krok IV – uwzględniając wymaganą odporność ogniową wyrażoną w minutach, rodzaj krzywej ogniowej, grubość ścianek grodzicy i warunki gruntowe, należy odczytać temperaturę stali w trakcie pożaru ze specjalnych wykresów, które można znaleźć w broszurze firmy Arcelor Commercial RPS [3] (jeden z takich wykresów jest przedstawiony na Rys. 6.):
- e) krok V – znając już temperaturę grodzic oraz iloczyn $n \cdot \bar{\lambda}$ należy odczytać z Rys. 10. wartość współczynnika redukcyjnego k_s ; w sytuacji gdy obliczony iloczyn $n \cdot \bar{\lambda}$ nie odpowiada żadnej krzywej podanej na Rys. 10., należy dokonać interpolacji,



Rys. 10. Zależność współczynnika redukcyjnego k_s od temperatury stali [3]

f) krok VI – sprawdzenie SGN grodzic w sytuacji pożaru

$$M_{Ed} \leq M_{Rd,Hot} = W_{pl} \cdot f_y \cdot k_s$$

gdzie:

$M_{Rd,Hot}$ – nośność obliczeniowa na zginanie rozgrzanego przekroju [kNm/mb],

W_{pl} – wskaźnik oporu plastycznego przy zginaniu [cm^3/mb]

4. WNIOSKI

Przedstawione w referacie wyniki badań i analiz, demonstrują jak skomplikowanym zagadnieniem jest praca grodzic w warunkach pożaru. Temperatura stali zależy między innymi od rodzaju i wilgotności gruntu występującego za grodzicą oraz od grubości stalowych ścianek w wybranych profilach.

Przeprowadzone analizy pokazują, że kluczowe znaczenie przy sprawdzaniu nośności grodzic w warunkach pożaru, ma wybór krzywej ogniowej. Wybieranie przez projektantów coraz popularniejszej krzywej NAT, zamiast krzywych ISO, owocuje projektowaniem bardziej ekonomicznym, ale wciąż bardzo bezpiecznym.

Decydując się na grodzicę jako materiał do budowy parkingu podziemnego, możemy w trakcie obliczeń wykorzystać ich zdolność do pracy w zakresie sprężysto-plastycznym. Ma to szczególne znaczenie właśnie w sytuacji pożaru, gdy wraz ze wzrostem temperatury stali zmniejsza się jej moduł Younga i granica plastyczności. Tak więc przy sprawdzaniu SGN grodzic poddanych działaniu wysokiej temperatury, możemy korzystać ze: wskaźnika wytrzymałości plastycznej przekroju przy zginaniu i z możliwości utworzenia się w ustroju przegubów plastycznych. Sprawdzona w ten sposób nośność może okazać się wystarczająca, nawet przy wyborze bardziej niekorzystnej krzywej ogniowej ISO.

Gdy natomiast ciągle będą istniały obawy co do odporności ogniowej grodzic, można wtedy w prosty sposób zabezpieczyć jej powierzchnie przed działaniem wysokiej temperatury na jeden z wielu sposobów.

LITERATURA

- [1] ARCELOR COMMERCIAL RPS: *Le nouveau "Fascicule 62 titre V"*; broszura ; http://www.arcelor.com/sheetpiling/Documentation/Files/ARPS_Fascicule_62.pdf
- [2] ARCELOR COMMERCIAL RPS: *Steel Sheet Piling, Sales Program*; broszura, wydanie 2006; http://www.arcelor.com/sheetpiling/Documentation/Files/ACRPS_SalesProgram_EN.pdf
- [3] ARCELOR COMMERCIAL RPS: *Underground car parks: Fire resistance*; broszura; http://www.arcelor.com/sheetpiling/Documentation/Files/ACRPS_Fire_Resistance.pdf
- [4] BUSTAMANTE M., GIANESELLI L.: *Predicting the bearing capacity of sheet piles under vertical load*; Proceedings of the 4th International Conference on Piling and Deep Foundations, Stresa (Italy), kwiecień 1991
- [5] CEC: *Natural Fire Safety Concept*; CEC final report, 2001
- [6] PN-EN1991-1-2:2006: *Eurokod1 - Oddziaływania na konstrukcje Część 1-2; Oddziaływania ogólne. Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru*, 2006
- [7] prEN 1993-5: *Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 5: Piling*; październik 1997

STEEL SHEET PILES BEHAVIOUR DURING FIRE IN UNDERGROUND CAR PARK

Aim of this paper is to discuss all topics related with steel sheet piles structures fire resistance. Paper presents results of scientific investigations carried out at Liege University in Belgium and the verification services provided by Arcelor Commercial RPS. The ISO-834 curve and natural fire curve for underground car park are presented. Also the influence of soil conditions and chosen fire curve on temperature of steel sheet pile wall during fire is described. The protection measures to improve fire resistance of the steel sheet piles are mentioned. The article also includes an easy-to-use verification procedure allowing a simplified assessment of the fire safety of the steel sheet pile structure at the pre-design stage.