

The HILTI logo is displayed in white, bold, uppercase letters within a red rectangular border.

PRZYGOTUJ SWOJE POŁĄCZENIE TYPU BETON-BETON NA WYPADEK POŻARU

Wykonywanie narażonych na działanie ognia wklejanych zakotwień prętów zbrojeniowych zgodnie z EN 1992-1-2 [1] z wykorzystaniem cementowego systemu iniekcyjnego Hilti HIT-FP 700-R

07/2022



ZAWARTOŚĆ

Abstrakt	3
-----------------	-------------------

Informacje ogólne	3
--------------------------	-------------------

Projektowanie na warunki pożarowe	5
--	-------------------

Nowy rozdział w projektowaniu z uwagi na warunki pożarowe

- Cementowa zaprawa iniekcyjna Hilti HIT-FP 700-R	6
- Zweryfikowane znakomite zachowanie ogniowe wklejanych połączeń prętów zbrojeniowych i zaprawy Hilti HIT-FP 700-R	8
- Tylko zaprawa Hilti HIT-FP 700-R pasuje do danych tabelarycznych podanych w EN 1992-1-2 [1]	11
- Tylko zaprawa Hilti HIT-FP 700-R jest w pełni zgodna z uproszczoną metodą obliczeń wskazaną w EN 1992-1-2 [1]]	12

Siła zespołu HILTI dla Twojego kolejnego projektu budowlanego

- Systemy iniekcyjne Hilti do wklejanych połączeń prętów zbrojeniowych oraz oprogramowanie projektowe firmy Hilti	15
---	--------------------

Podsumowanie	18
---------------------	--------------------

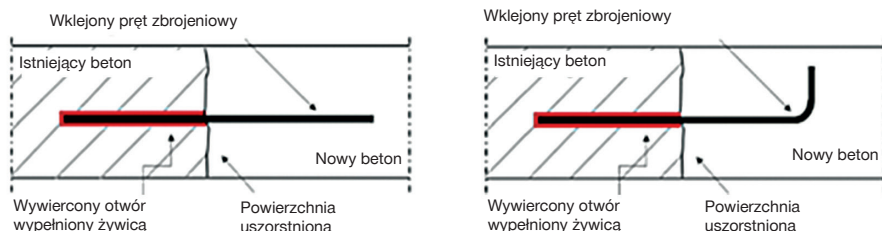
Literatura	19
-------------------	--------------------

ABSTRAKT

Narażenie konstrukcji betonowych na działanie ognia prowadzi do znaczącego pogorszenia właściwości mechanicznych i fizycznych betonu, klejanych prętów zbrojeniowych oraz charakterystyki ich połączenia za pomocą zaprawy. Obniżenie przyczepności klejanych prętów zbrojeniowych w warunkach pożarowych może znacząco wpłynąć na nośność połączenia betonu, w którym zastosowano te pręty. W związku z tym przyczepność klejanych prętów zbrojeniowych musi być uwzględniona w inżynierii pożarowej elementów konstrukcyjnych przy projektowaniu połączeń beton do betonu. Jak dotąd, żaden z istniejących systemów iniekcyjnych przeznaczonych do montażu klejanych prętów zbrojeniowych (organicznych systemów żywicznych) nie pozwala na w pełni zgodne z normą EN 1992-1-2 [1] zaprojektowanie konstrukcji betonowych na wypadek pożarów. Jest to spowodowane degradacją materiału organicznych zapraw iniekcyjnych, która w wysokich temperaturach jest dużo większa w porównaniu z degradacją materiału podłoża, którym jest beton, oraz spadku przyczepności stalowych prętów zbrojeniowych zalewanych betonem. Sytuacja ta ulegnie znaczącej zmianie wraz z zastosowaniem do połączeń beton do betonu, wykorzystujących klejane pręty zbrojeniowe, zaprawy iniekcyjnej Hilti HIT-FP 700-R (nieorganicznego systemu cementowego), cechującej się najwyższą odpornością w zakresie zmiany charakterystyki przyczepności w warunkach pożarowych **...czytaj dalej, aby dowiedzieć się, jak zaprawa iniekcyjna Hilti HIT-FP 700-R przyczyni się do dalszej rewolucji, jaką jest klejenie prętów zbrojeniowych.**

INFORMACJE OGÓLNE

Połączenia beton do betonu oparte na klejanych prętach zbrojeniowych są powszechnie stosowane w codziennej praktyce budowlanej od wielu dekad. Połączenia te są wykorzystywane w nowych projektach budowlanych oraz w obiektach poddawanych renowacji lub podczas zmiany sposobu użytkowania obiektów. Montaż klejanych prętów zbrojeniowych polega na instalacji żebrowanych prętów zbrojeniowych w otworach wywierconych w betonie i wypełnionych zaprawą iniekcyjną. Jak pokazano na rys. 1, pręty zbrojeniowe są zanurzone w zaprawie klejowej, wypełniającej otwór wywiercony w istniejącym elemencie betonowym, i są po drugiej stronie zalane nowym betonem. Odcinek pręta zbrojeniowego zainstalowany w istniejącym betonie jest prosty, podczas gdy odcinek znajdujący się w nowym betonie może być prosty lub zagięty.

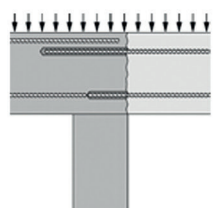


Rys. 1 Prosty lub zagięty wklejane pręty zbrojeniowe

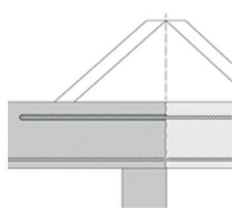
Mówiąc ogólnie, oprócz opcji projektowych wskazywanych przez producentów, dla połączeń beton do betonu opartych na klejanych prętach zbrojeniowych, dostępne są obecnie dwie oficjalne opcje projektowe. Po pierwsze, są to połączenia wykorzystujące klejane pręty zbrojeniowe, w których zgodnie z normą EN 1992-1-1 [2] dopuszczalne jest zastosowanie prostych żebrowanych prętów zbrojeniowych zale-

wanych betonem oraz w których można wykorzystać systemy iniekcyjne z aprobatą wydaną w oparciu o EAD 330087-01-0601 [3] (projektowanie na warunki normalne i pożarowe). Zastosowania objęte EAD 330087-01-0601 [3] ograniczają się do połączeń na zakład, zakotwień końcowych swobodnie podpartych elementów betonowych, zakotwień końcowych poddanych obciążeniu ściskającym oraz zakotwień zbrojenia dla pokrycia linii oddziaływania siły rozciągającej w zginanych elementach betonowych (**zob. rys. 2**). Połączenie, na które działa moment, należy zaprojektować jako styk doczołowy. Ponieważ nie jest to możliwe w pewnych przypadkach, np. w projektach związanych z renowacją obiektów [4], wprowadzenie raportu technicznego EOTA TR 069 [5] zapoczątkowało rewolucję dotyczącą zbrojenia. Raport ten reguluje kwestie projektowania i wykonania połączeń zbrojenia w sztywnych połączeniach beton do betonu na poziomie europejskim, pozwalając na wykonanie połączenia w inny sposób niż na zakład, ale tylko w przypadku projektowania na „warunki normalne”. Jak wspomniano, zastosowania przedstawione na **rys. 2** i zrealizowane z użyciem wklejanych prętów zbrojeniowych mogą być teoretycznie zaprojektowane zgodnie z normą EN 1992-1-2 [1] dla warunków pożarowych. Projekt taki opiera się na zrozumieniu zarówno zachowania materiału stali zbrojeniowej i zaprawy iniekcyjnej, jak i zachowania konstrukcyjnego betonu w warunkach pożarowych. Mimo iż na rynku dostępnych jest wiele systemów wklejania prętów zbrojeniowych różnych producentów, to systemy te nie mogą być, mówiąc wprost, używane w warunkach narażenia na ogień, ponieważ materiał żywiczny (systemy organiczne), którego właściwości zmieniają się znacząco w wąskim zakresie temperatur, może spowodować problemy związane z bezpieczeństwem [6]. Sytuacja ta ulegnie zmianie, ponieważ rewolucja w zakresie zbrojenia, zapoczątkowana przez Hilti, będzie kontynuowana dzięki użyciu odpornej na działanie ognia zaprawy iniekcyjnej do wklejania prętów zbrojeniowych w zastosowaniach zaprojektowanych zgodnie z normą EN 1992-1-2 [1], przedstawionych na **rys. 2**.

Uwaga: zastosowania wskazane w EOTA TR 069 [5] nie obejmują oddziaływania ognia i w związku z tym nie mogą być wykorzystywane w warunkach pożarowych. Poniższe rozważania nie obejmują EOTA TR 069 [5].



Połączenie na zakład dla połączeń zbrojenia płyt i belek



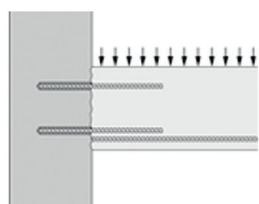
Kotwienie zbrojenia dla pokrycia linii oddziaływania siły rozciągającej



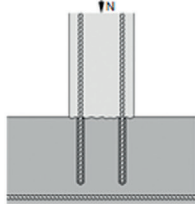
Kotwienie końcowe schodów do ściany



Przedłużenie słupów wykonane jako połączenia doczołowe na styk



Kotwienie końcowe płyt lub belek (swobodnie podpartych)



Elementy obciążane głównie w sposób ściskający



Przedłużenie ściany wykonane jako połączenia doczołowe na styk



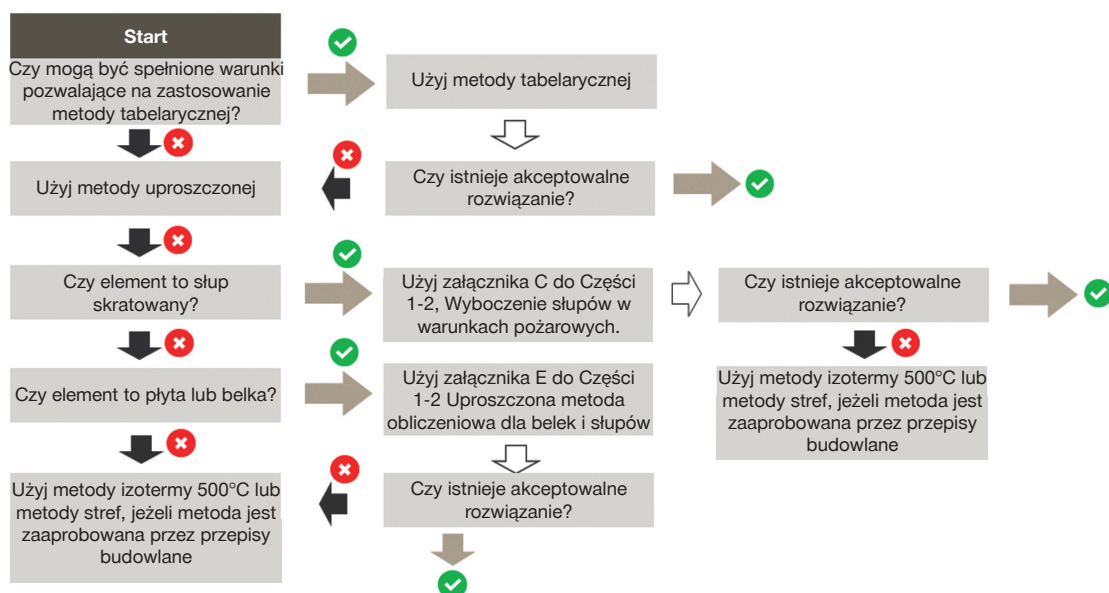
Połączenie płyty ze ścianą, wykonane jako połączenie doczołowe na styk lub zakotwienie końcowe

Rys. 2 Przykłady połączeń wykorzystujących wklejane pręty zbrojeniowe, w których zgodnie z normą EN 1992-1-1 [2] i EN 1992-1-2 [1] dopuszczalne jest zastosowanie prostych żebrowanych prętów zbrojeniowych zalewanych betonem

PROJEKTOWANIE NA WARUNKI POŻAROWE

Eurokod przewiduje kilka procedur projektowania betonowych elementów konstrukcyjnych dla warunków pożarowych, zarówno o charakterze preskryptywnym, jak i opartych na wskazaniu parametrów. Generalnie metody te można podzielić na trzy kategorie, które zostaną omówione bardziej szczegółowo później ! przy okazji systemów wklejania prętów zbrojeniowych:

- dane tabelaryczne dla dobrze znanych rozwiązań projektowych,
- uproszczone metody inżynierskie (np. metoda izotermi 500°C lub metoda strefowa) dla wskazanych rodzajów elementów konstrukcyjnych,
- zaawansowane termomechaniczne lub termohydromechaniczne modele materiałowe stali i betonu dla numerycznego modelowania części konstrukcji lub całej konstrukcji. Ponieważ metody te ! jako zaawansowane metody obliczeń ! oparte są na „globalnej” analizie strukturalnej (analizie całej konstrukcji) sytuacji pożarowej i zwykle nie są używane do analizy elementów, metoda ta nie będzie dalej omawiana w niniejszym artykule.



Rys. 3 Schemat pokazujący metodę projektowania odporności ogniowej, dane tabelaryczne i uproszczoną metodę obliczeń

W praktyce projektowej, do weryfikacji konstrukcyjnych elementów betonowych używane są zazwyczaj dane tabelaryczne lub uproszczone metody obliczeń (zob. rys. 3). Generalnie, wykorzystanie danych tabelarycznych stanowi pierwszy krok, ponieważ podejście to można ocenić jako proste. Korzystanie z danych tabelarycznych oznacza uwzględnienie niezbędnych warunków granicznych, takich jak rodzaj elementu (słup, belka, płyta), krzywa standardowa ISO 834, wymiary geometryczne (rozstaw prętów zbrojeniowych, otulina betonowa po stronie, po której występuje ogień) oraz ograniczenia projektowe, ponieważ analiza elementów zgodnie z Eurokodem pomija efekty, takie jak nierównomierna rozszerzalność cieplna, które mogą powodować duże naprężenia cieplne. Należy jednakże zauważyć, że dane tabelaryczne lub uproszczona metoda projektowania nie mogą być wykorzystywane bez ograniczeń do systemów wklejania prętów zbrojeniowych, ponieważ przy projektowaniu konieczne jest zrozumienie i ocena przyczepności wklejanego pręta zbrojeniowego w porównaniu z prętem zbrojeniowym zalewanym betonem w warunkach pożarowych. Ocenę taką przeprowadzimy w następnych rozdziałach dla organicznych systemów żywicznych wklejania prętów zbrojeniowych oraz nieorganicznych systemów cementowych (zaprawy iniekcyjnej Hilti HIT-FP 700-R). Wcześniej przedstawimy charakterystykę techniczną Hilti HIT-FP 700-R i proces jej użycia.

NOWY ROZDZIAŁ W PROJEKTOWANIU Z UWAGI NA WARUNKI POŻAROWE

Cementowa zaprawa iniekcyjna Hilti HIT-FP 700-R

Pierwsza iniekcyjna zaprawa cementowa



Fig. 4: Hilti HIT-FP 700-R injection system - foil pack

Hilti HIT-FP 700-R (rys.4) jest iniekcyjną, nieorganiczną zaprawą cementową, zapewniającą wklejonym połączeniom prętów zbrojeniowych najwyższą odporność ogniową, o wiele wyższą niż tę, którą charakteryzują się inne dostępne obecnie na rynku iniekcyjne systemy wklejania prętów zbrojeniowych. Z uwagi na jej nieorganiczny, cementowy charakter, zmiana przemieszczenia i parametrów w wysokich temperaturach jest w jej przypadku niewielka, porównywalna do zachowania betonu w warunkach pożarowych.

Zaprawa HIT-FP 700-R jest wprowadzana do wywierconego otworu za pomocą dozownika akumulatorowego. Zwykle w większości przypadków cementowe zaprawy do zakotwień są dostarczane luzem i mieszane na budowie z określoną ilością wody. To z kolei zazwyczaj ogranicza możliwość ich użycia do montażu w określonym kierunku, tj. pionowo w dół. Dodatkowo, z montażem związany jest brak pewności co do właściwego zmieszania składników na budowie, mającego kluczowe znaczenie dla osiągnięcia właściwych parametrów, istotnych podczas eksploatacji. W konsekwencji związku z tym produkty te nie są obecnie objęte dokumentem EAD i nie mogą być stosowane w połączeniu z normą EN 1992-1-2 [1] lub EN 1992-1-1 [2].

W odróżnieniu od nich, zaprawa Hilti HIT-FP 700-R jest bezpieczna, elastyczna i łatwa w użyciu. Automatyczne użycie składników w określonych wcześniej proporcjach podczas dozowania wyklucza ryzyko błędnego lub niekonsekwentnego mieszania składników oraz eliminuje ograniczenia dotyczące kierunku montażu. Co więcej, zaprawa Hilti HIT-FP 700-R jest oferowana w ramach technologii SAFEset, w której pył jest automatycznie usuwany z otworu podczas wiercenia, a sam otwór jest dodatkowo czyszczony zgodnie z ETA, co pomaga realizować naszą strategię „wykonania zgodnie z projektem”.

Zmiana nawyków związanych z projektowaniem z uwagi na warunki pożarowe

Jak wiele produktów cementowych i beton, zaprawa Hilti HIT-FP 700-R cechuje się znacząco dłuższym czasem utwardzania (liczonym w dniach) w porównaniu z czasem utwardzania standardowych systemów wklejania prętów zbrojeniowych (organicznych systemów żywicznych, liczonego w minutach) (**zob. rys. 5**). Dłuższy czas utwardzania należy uwzględnić przy określaniu czasu realizacji prac na budowie i dlatego pomocne może być zamieszczenie dodatkowych uwag na rysunkach technicznych przeznaczonych dla wykonawcy. Dodatkowo, w materiale, który wypłynie z otworu, mogą być widoczne niewielkie rysy i ubytki. Obecność tych niewielkich rys i ubytków nie ma istotnego znaczenia i nie jest uwzględniana w ocenie końcowej w dokumencie ETA i wynika ze zjawiska skurczu. Aby usprawnić proces realizacji prac i skrócić czas oczekiwania, określono dwa dodatkowe czasy utwardzania pomiędzy czasem obróbki a czasem pełnego utwardzenia. Pozwala to na częściowe obciążanie wklejonego pręta zbrojeniowego przed przyłożeniem pełnego obciążenia projektowego, podobnie jak

w przypadku elementów betonowych, gdy deskowanie usuwane jest przed pełnym utwardzeniem betonu. Różne czasy utwardzania można zdefiniować jak niżej, podano je także w stosownym dokumencie ETA (**zob. rys. 5**):

		Rebar			
ϑ [°C]	ϑ [°F]	t_{work}	$t_{assembly}$	$t_{pre-loading}$ 75%	t_{cure} 100%
≥ 5 ... 10	≥ 41 ... 50	50 min	36 h	14 days	50 days
> 10 ... 15	> 50 ... 59	40 min	30 h	7 days	28 days
> 15 ... 20	> 59 ... 68	35 min	24 h	6 days	18 days
> 20 ... 30	> 68 ... 85	20 min	12 h	5 days	10 days
> 30 ... 40	> 85 ... 104	15 min	6 h	3 days	7 days
40	104	12 min	3 h	2 days	4 days

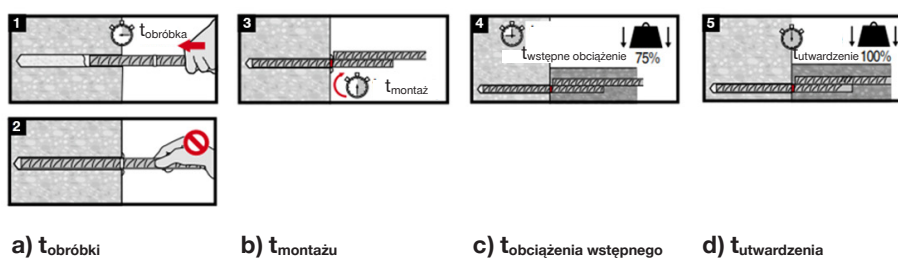
Fig. 5: Czas obróbki $t_{obróbki}$, czas montażu $t_{montażu}$, czas obciążenia wstępnego $t_{obciążenia}$ wstępnego i wreszcie czas utwardzenia / stwardnienia $t_{utwardzenia}$ zaprawy Hilti HIT-FP 700-R jako funkcja temperatury materiału podłoża

$t_{obróbki}$ opisuje czas obróbki, tj. okres, w którym użytkownik może wprowadzić pręt zbrojeniowy. Czas obróbki wynosi od maksymalnie 50 minut w temperaturze 5°C do minimalnie 12 minut w temperaturze 40°C.

Długi czas obróbki pozwala na łatwe osadzenie pręta w głębokim otworze. Po wprowadzeniu pręta do otworu nie należy nim poruszać (**zob. rys. 6a**). Po odczekaniu minimalnego czasu oczekiwania $t_{montażu}$ dopuszczalne jest wiązanie nowych prętów zbrojeniowych do prętów już zamontowanych/osadzonych (**zob. rys 6b**).

Po odczekaniu czasu $t_{obciążenia}$ wstępnego, wklejony pręt zbrojeniowy można obciążyć obciążeniem wynoszącym 75% wytrzymałości ostatecznej. Decyzję o możliwości obciążenia podejmuje inżynier ds. dokumentacji technicznej (**zob. rys. 6d**). Po upływie pełnego czasu utwardzenia $t_{utwardzenia}$ wklejony pręt zbrojeniowy można obciążyć pełnym obciążeniem projektowym (**zob. rys. 6d**).

Nowa technologia zapraw Hilti, dzięki której powstała zaprawa Hilti HIT-FP 700-R, otwiera nowy rozdział w kwalifikowaniu iniekcyjnych zapraw chemicznych, dla którego z uwagi na cementowy, nieorganiczny materiał zaprawy konieczne było uaktualnienie dokumentu EAD 330087-01-0601 [3].

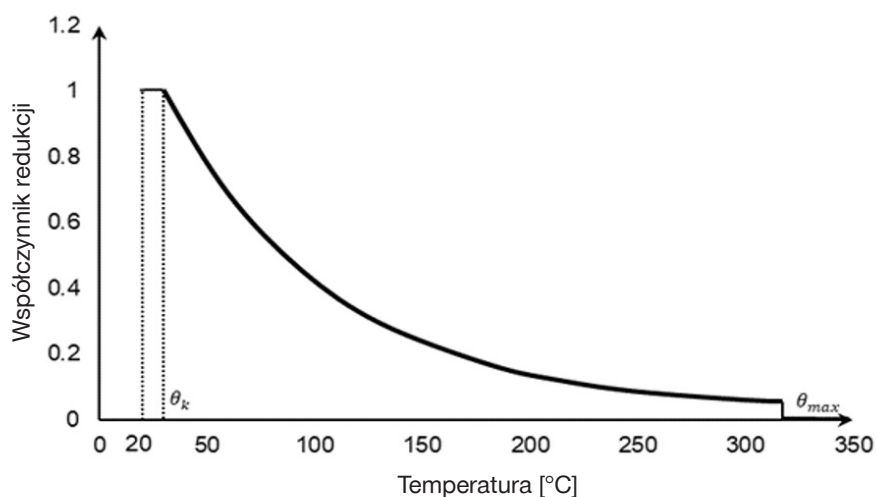


a) $t_{obróbki}$ **b) $t_{montażu}$** **c) $t_{obciążenia}$ wstępnego** **d) $t_{utwardzenia}$**

Rys. 6. Część procesu montażu (niekompletnego), pokazująca kroki 5 do 9 dla żywicy Hilti HIT-FP 700-R

NOWY ROZDZIAŁ W PROJEKTOWANIU Z UWAGI NA WARUNKI POŻAROWE

Zweryfikowane znakomite zachowanie ogniowe wklejanych połączeń prętów zbrojeniowych i zaprawy Hilti HIT-FP 700-R



Rys.7 Przykład: Współczynnik redukcji $k_{fi}(\theta)$ dla betonu klasy C20/25 jako funkcja temperatury dla wrażliwego na działanie ognia organicznego systemu wklejania prętów zbrojeniowych opartego na żywicy

Kwalifikowanie systemów wklejania prętów zbrojeniowych w warunkach pożarowych objęte jest Europejskim Dokumentem Oceny EAD 330087-00-0601 [3], wydanym przez EOTA, i pozwala na projektowanie zgodnie z EN 1992-1-2. [1]. Ocena koncentruje się na zachowaniu zaprawy związanym z wytrzymałością wiązania w relacji do temperatury. Wynik oceny odzwierciedlony w Europejskim Dokumencie Oceny przedstawiono w postaci temperaturowego współczynnika redukcyjnego $k_{fi}(\theta)$ i służy do obliczania projektowej resztkowej wytrzymałości wiązania w warunkach pożarowych $f_{bd,fi}$, (zob. rys. 7).

Rys.7.

$$f_{bd,PIR,fi}(\theta) = f_{bd,PIR} \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_{M,fi}} \cdot k_{fi}(\theta)$$

gdzie:

- $f_{bd,PIR,fi}(\theta)$ = Wartość projektowa wytrzymałości wiązania w warunkach pożarowych w N/mm², dla określonej temperatury (θ) w warstwie zaprawy
- $f_{bd,PIR}$ = Wartość projektowa wytrzymałości wiązania w warunkach normalnych w N/mm² podana w dokumencie ETA dotyczącym klas betonu
- γ_c = Częściowy współczynnik bezpieczeństwa zgodnie z EN 1992-1-1 [2]
- $\gamma_{M,fi}$ = Częściowy współczynnik bezpieczeństwa zgodnie z EN 1992-1-2 [1]
- $k_{fi}(\theta)$ = Współczynnik redukcyjny dla wytrzymałości wiązania w warunkach pożarowych dla określonej temperatury (θ) w warstwie zaprawy

Współczynnik redukcyjny $k_{fi}(\theta)$ dla wytrzymałości wiązania dla systemów zapraw iniekcyjnych został ustalony w oparciu o próby w symulowanych warunkach pożaru. Do pręta zbrojeniowego umieszczonego w ograniczonej przestrzeni przykładane jest stałe obciążenie. Następnie zwiększa się temperaturę do momentu wyrwania pręta poddanego próbie (zob. rys. 8). Przyłożone obciążenie w funkcji temperatury przekłada

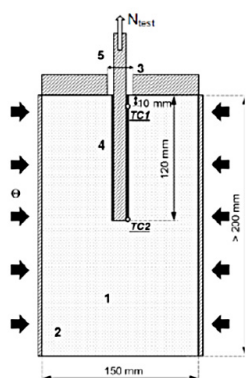
się następnie na współczynnik redukcyjny $k_{ri}(\theta)$ poprzez obliczenie stosunku wartości wytrzymałości wiązania do wartości referencyjnej dla pręta zbrojeniowego zalewanego betonem dla odpowiedniej klasy betonu. Zmniejszenie wytrzymałości charakterystycznej dla wybranych systemów iniekcyjnych dostępnych na rynku, przedstawione w funkcji temperatury zostało zobrazowane na **rys. 9**, w oparciu o opublikowane dokumenty ETA.

W przedstawionych niżej rozważaniach zmniejszenie wytrzymałości wiązania przy wyższej temperaturze w warstwie zaprawy spowodowane działaniem ognia („projektowanie z uwagi na warunki pożarowe”) odnosi się do wytrzymałości wiązania wklejanego pręta zbrojeniowego w temperaturze pokojowej („projektowanie uwzględniające warunki normalne”) po pełnym utwardzeniu zaprawy przed zwiększeniem temperatury betonu w sposób podany w opisanej konfiguracji testowej przedstawionej na **rys. 8**.

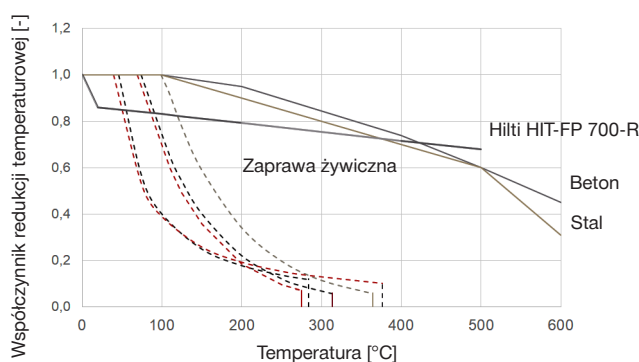
Wytrzymałość wiązania wszystkich systemów wklejania prętów zbrojeniowych, a dokładniej współczynnik redukcyjny, zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury betonu (**zob. rys. 8**).

Relacja pomiędzy temperaturą betonu i resztkową wytrzymałością wiązania w dużym stopniu zależy od rodzaju zaprawy. Wytrzymałość wiązania wszystkich systemów organicznych opartych na żywicach (linia kropkowana) w temperaturze 200°C wynosi jedynie 20 do 40% wartości zarejestrowanych w próbach w temperaturze 20°C. W temperaturze 400°C żadna z żywiczych zapraw organicznych nie zapewnia jakiegokolwiek resztkowej wytrzymałości wiązania. Podczas gdy wartość wytrzymałości wiązania wszystkich systemów organicznych (linia kropkowana) drastycznie spada wraz ze wzrostem temperatury w przypadku pożaru, nieorganiczna zaprawa cementowa Hilti HIT-FP 700-R (linia ciągła) zapewnia wartości resztkowej wytrzymałości wiązania w 200°C wynoszące około 80%, zaś w 500°C powyżej 60% wytrzymałości wiązania w temperaturze pokojowej. Przy projektowaniu z uwagi na warunki pożarowe takie zachowanie ogniowe zapewnia kilka zalet w porównaniu z systemami organicznymi opartymi na żywicach.

Mimo iż jako zalety zapraw organicznych w porównaniu z zaprawami nieorganicznymi można wymienić „szybki czas utwardzania” i „lepsze parametry” w temperaturze pokojowej, zalety te przestają mieć znaczenie, gdy pod uwagę brane jest zachowanie zapraw podczas pożaru.



Rys. 8 Wklejony pręt zbrojeniowy poddany boczemu obciążeniu cieplnemu i stałemu obciążeniu w próbie symulowanego pożaru



Rys. 9 Zmniejszenie charakterystycznej wytrzymałości wiązania dla wybranych, dostępnych na rynku systemów iniekcyjnych jako funkcja temperatury, jak w stosownych dokumentach ETA

Zweryfikowane, długookresowe zachowanie przy zastosowaniu zaprawy Hilti HIT-FP 700-R

Po wprowadzeniu nowej technologii Hilti, pozwalającej na zastosowanie w pełni cementowych zapraw iniekcyjnych do wykonywania klejonych połączeń prętów zbrojeniowych, zbadano szereg aspektów dotyczących zachowania tych połączeń. Badania te stanowiły część procesu oceny zgodnie z nowym dokumentem EAD 330087-02 (w przygotowaniu, 2022). Aspekty te dotyczą w szczególności klasyfikacji systemu, stopnia porowatości, efektów długookresowych oraz tendencji do skurczu.

Klasyfikacja: nowa wersja dokumentu EAD, będąca obecnie w przygotowaniu, określa metodę podziału typów zapraw na żywiczne i cementowe. Rozróżnienie to nie było jasno opisane w poprzednich wersjach, pomimo kilku wymagań dotyczących produktów cementowych. Metoda ta polega na analizie składu produktu poddawanego ocenie, opartej o utratę masy wraz ze wzrostem temperatury.

Skurcz i długookresowa stabilność: produkty sklasyfikowane jako zaprawy cementowe objęte zostały dwoma nowymi protokołami prób. Pierwszym ocenianym aspektem jest wrażliwość systemu klejenia prętów zbrojeniowych w przypadku montażu w betonie o niskiej wilgotności względnej. Celem próby jest ocena wpływu suchego otoczenia na zewnątrz i wewnątrz pomieszczeń oraz maksymalizacja skurczu na skutek potencjalnego zasysania wody przez otaczający zaprawę beton, wpływającego na hydratację cementu poprzez zmianę stosunku wody do cementu w zaprawie i, w rezultacie, na wytrzymałość wiązania.

Drugim z ocenianych aspektów jest długookresowa stabilność mikrostruktury zaprawy. Ta cecha zachowania jest weryfikowana w warunkach przyspieszonych, przy dużym narażeniu na wysoką temperaturę i wilgotność, a dokładnie w tak zwanych warunkach przyspieszonego starzenia. Próba ta jest konieczna dla oceny wrażliwości produktu cementowego na zmiany porowatości, przemiany fazowe i ciśnienie rozkładające.

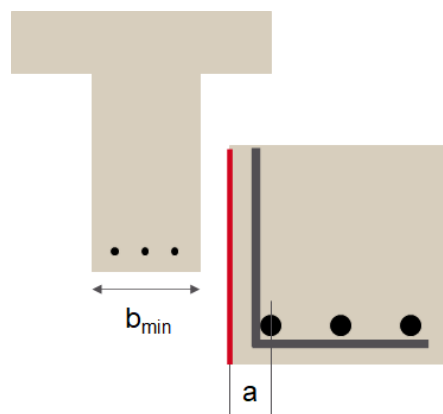
Należy zauważyć, że efekty te znalazły już odzwierciedlenie w końcowych wartościach wytrzymałości wiązania, opublikowanych w stosownym dokumencie ETA. Nowe wymagania określone w EAD zapewniają, że opublikowane parametry użytkowe przedstawione w ETA, w szczególności wartości wytrzymałości wiązania, cechują się taką samą rzetelnością wyników oceny, jak rzetelność wymagana dla zapraw żywicznych.

Należy zauważyć, że zaprawa Hilti HIT-FP 700-R przeszła cały program testów, podczas którego zweryfikowane zostały jej parametry. Z uwagi na unikatowe zachowanie zaprawy Hilti HIT-FP 700-R pod wpływem wysokiej temperatury, zaprawa ta zapewnia szereg korzyści podczas projektowania klejonych połączeń prętów zbrojeniowych, umożliwiając korzystanie z danych tabelarycznych i uproszczonych metod projektowania zgodnie z Eurokodem EN 1992-1-2 [1]. Kwestie te zostaną omówione w następnym rozdziale.

NOWY ROZDZIAŁ W PROJEKTOWANIU Z UWAGI NA WARUNKI POŻAROWE

Tylko zaprawa Hilti HIT-FP 700-R pasuje do danych

tabelarycznych podanych w EN 1992-1-2 [1]



Standardowa odporność ogniowa [min.]	Odległość osiowa	Wymiar minimalny [mm]				
		Możliwe kombinacje (średniej odległości osiowej) i b_{min} (szerokości belki)				Grubość siatki
R 30	b_{min}	80	120	160	200	80
	a	25	15	10	20	
R 60	b_{min}	120	160	200	300	100
	a	40	35	30	25	
R 90	b_{min}	150	200	250	400	100

Rys. 10 Zmodyfikowany wyciąg z danych tabelarycznych z Eurokodu EN 1992-1-2 [1] jako przykład

Eurokod EN 1992-1-2, sekcja 5 [1] dla elementów w warunkach pożarowych podaje rozwiązania projektowe w postaci danych tabelarycznych, które można wykorzystać w określonych granicznych warunkach zastosowania. Metodę tę stosuje się do weryfikacji oddzielnych elementów w przypadku standardowych warunków pożarowych zgodnie z ISO 835 do 240 minut, wyprodukowanych z betonu o normalnym ciężarze na kruszywie krzemianowym i zbrojonych prętami zbrojeniowymi zalewanymi betonem. Pośrednie działanie ognia nie jest brane pod uwagę, z wyjątkiem działania będącego skutkiem gradientów termicznych. W zależności od wymaganego czasu odporności ogniowej i, jeżeli jest to konieczne, sposobu zastosowania elementu, w zależności od elementu podane są minimalne wartości wymiarów elementu oraz odległości osiowe zbrojenia (przykład belki przedstawiono na rys. 10).

W tabelach minimalna otulina betonu jest wyrażana jako odległość „a” od osi głównego zbrojenia zalewanego betonem do najbliższej powierzchni betonu. Wskazane odległości osiowe to wartości nominalne. Nie jest konieczne uwzględnianie dodatku ze względu na tolerancje. W części 1-1 Eurokodu 2 [2], dla projektowania na normalne warunki temperaturowe, otulina betonu „c” jest zdefiniowana jako odległość od krawędzi pręta zbrojeniowego do najbliższej powierzchni betonu. Stąd, dla wzdłużnego pręta zbrojeniowego (zbrojenia głównego), o średnicy $\bar{A}E$, relacja pomiędzy „a” i „c” jest zazwyczaj zapisywana w postaci $a = c + \bar{\varnothing}_{stirrup} + \bar{\varnothing}/2$.

W przypadku korzystania z danych tabelarycznych dalsza kontrola dotycząca wytrzymałości na ścinanie i skręcanie oraz łuszczenie nie jest konieczna, jednakże dla każdego typu elementu konstrukcyjnego wskazano dodatkowe, szczegółowe zasady. Zaletą korzystania z wartości tabelarycznych jest to, że projektant może szybko zweryfikować, czy wymiary wynikające z projektowania na normalne warunki temperaturowe są akceptowalne w przypadku warunków pożarowych. **W przypadku elementów konstrukcyjnych najczęściej spotykanych w budownictwie, wartości tabelaryczne reprezentują konserwatywne założenia dotyczące prętów zbrojeniowych zalewanych betonem, ale NIEKONIECZNIE dotyczące połączeń beton do betonu, realizowanych z użyciem wklejanych prętów zbrojeniowych. Powodem jest to, że podana w danych tabelarycznych minimalna odległość osiowa zbrojenia w strefach naprężeń belek i płyt swobodnie podpartych jest obliczana w oparciu**

o temperaturę krytyczną stali $\theta_{krit} = 500^{\circ}\text{C}$. Temperatura krytyczna to temperatura, w której stal zaczyna płynąć pod obciążeniem $\sigma_{s,fi}$ występującym w sytuacji pożarowej, obliczonym dla oddziaływań $E_{d,fi}$ ($\eta_{fi} = E_{d,fi} / E_d = 0,7$ dla danych tabelarycznych). **W rezultacie, to proste podejście może być zastosowane wyłącznie dla systemów wklejania prętów zbrojeniowych, jeżeli resztkowa wytrzymałość wiązania w warunkach pożarowych wynoszących 500°C odniesiona do resztkowej wytrzymałości betonu jest znana i porównywalna**

Redukcję wytrzymałości charakterystycznej stali zbrojeniowej i sprężającej jako funkcję temperatury θ , wykorzystywaną z wartościami tabelarycznymi, wskazano w Eurokodzie EN 1992-1-2, sekcja 5 [1]. Krzywe te, w połączeniu z danymi tabelarycznymi, odnoszą się do krzywych dla stali zbrojeniowej (walcowana lub obrabiana na zimno: EN 10080 [7]); wartości dotyczą betonu zwykłego (2000 do 2600 kg/m³, zob. EN 206-1 [8]) na kruszywie krzemianowym. W temperaturze 500°C resztkowa wytrzymałość charakterystyczna zarówno dla betonu, jak i dla stali wynosi $\sim 0,7$ wytrzymałości charakterystycznej w temperaturze pokojowej.

Taką logiką należy posługiwać się przy korzystaniu z danych tabelarycznych. W przeciwieństwie do tego, jak pokazano na rys. 9, wszystkie organiczne systemy żywiczne mają zerową wytrzymałość resztkową przy temperaturze zaprawy wynoszącej 500°C . W rezultacie, nie można bez zastrzeżeń zastosować filozofii danych tabelarycznych dla przedstawionych iniekcyjnych organicznych systemów żywicznych. Odpowiednio, redukcja wytrzymałości wiązania dla nieorganicznego systemu iniekcyjnego Hilti HIT-FP 700-R, jak pokazano na rys. 9, daje wartość wytrzymałości resztkowej porównywalną z wartościami dla betonu i stali.

Tylko zaprawa Hilti HIT-FP 700-R zapewnia projektantowi możliwość korzystania z wartości tabelarycznych bez ograniczeń, dzięki czemu może on szybko zweryfikować, czy wymiary wynikające z projektowania z uwagi na warunki normalne są akceptowalne także w warunkach pożarowych.

NOWY ROZDZIAŁ W PROJEKTOWANIU Z UWAGI NA WARUNKI POŻAROWE

Tylko zaprawa Hilti HIT-FP 700-R jest w pełni zgodna z uproszczoną metodą obliczeń wskazaną w EN 1992-1-2 [1]

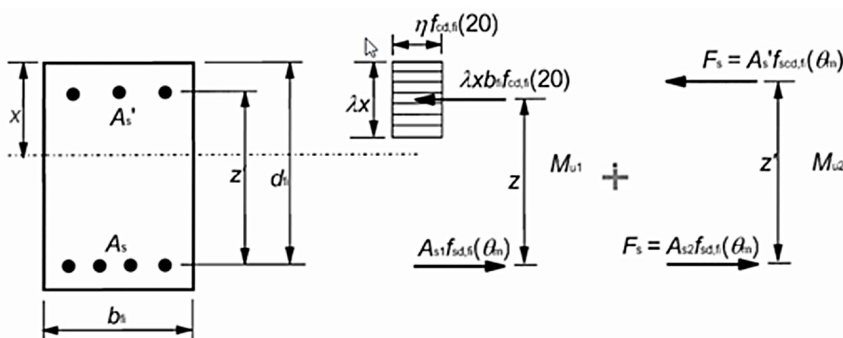
Uproszczone metody obliczeń są wykorzystywane do określania nośności granicznej poddanego oddziaływaniu ciepła przekroju elementów betonowych, w których zastosowano zbrojenie zalewane betonem, przy stosownej kombinacji oddziaływań. W sytuacji pożarowej konieczne jest zweryfikowanie, czy obliczeniowa wartość efektu oddziaływań $E_{fi,d,t}$ w sytuacji pożarowej po czasie t jest mniejsza lub równa odpowiedniej obliczeniowej wartości nośności $R_{d,t,fi}$ elementu po czasie t . Niezbędne profile temperaturowe w przekrojach elementów betonowych poddanych działaniu ognia w warunkach pożaru standardowego można obliczyć korzystając z oprogramowania oraz właściwości cieplnych betonu. W normie EN 1992-1-2 [1] i stosownych załącznikach opisano trzy uproszczone metody obliczeń, przy czym ! zgodnie z załącznikiem krajowym ! metoda izotermi 500°C nie jest zatwierdzona do stosowania w Niemczech:

- (a) Metodę izotermi 500°C można stosować w przypadku oddziaływania pożaru standardowego oraz wszystkich innych oddziaływań cieplnych wywołujących podobne pola temperatury w elemencie poddawany oddziaływaniu pożaru. Przyjmuje się, że beton o temperaturze $> 500^{\circ}\text{C}$ nie wpływa na nośność elementu,

podczas gdy pozostały przekrój poprzeczny betonu zachowuje swoje początkowe wartości wytrzymałości i modułu sprężystości Younga. W rezultacie utworzony zostaje nowy kształt przekroju elementu, dla którego linią ograniczającą jest izoterma 500°C, przy czym właściwości betonu w nowym przekroju są takie same, jak w temperaturze normalnej. Jednocześnie, wytrzymałość zbrojenia zalewanego betonem zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury zbrojenia. Po określeniu wymiarów zmniejszonego przekroju poprzecznego oraz obniżonego poziomu granicy plastyczności pręta zbrojeniowego zalanego betonem można obliczyć nośność w sytuacji pożarowej dla elementu R_{fi} po czasie t opierając się na powszechnie akceptowanych metodach analizy zbrojonych elementów betonowych w warunkach temperatury normalnej (zob. rys. 11). Jak wspomniano **obniżenie granicy plastyczności stali zbrojeniowej w przypadku prętów zbrojeniowych zalewanych betonem następuje w funkcji temperatury w środku każdego pręta, niezależnie od położenia prętów w stosunku do izotermy 500°C. Jednakże nawet jeżeli niektóre spośród prętów zbrojeniowych mogą znaleźć się poza obszarem zredukowanego przekroju poprzecznego, to można je uwzględnić w obliczeniach nośności granicznej przekroju poprzecznego narażonego na działanie ognia. Wynika to z faktu, że do temperatury 500°C nie zakłada się znaczącego obniżenia przyczepności w przypadku prętów zbrojeniowych zalewanych betonem.** Jak pokazano na rys. 10, podejścia tego nie można zastosować do organicznych systemów żywicznych, ponieważ utrata przyczepności następuje w ich przypadku przy niższej temperaturze. W rezultacie, stwierdzenie dotyczące izotermy 500°C dotyczące systemów prętów zbrojeniowych zalewanych betonem musiałyby zostać zmienione następująco dla organicznych systemów żywicznych wklejania prętów zbrojeniowych:

“Właściwości betonu w nowym przekroju są takie same, jak w normalnej temperaturze. Obniżenie granicy plastyczności oraz zmniejszenie wytrzymałości wiązania zbrojenia wklejanego zależy od temperatury w środku każdego z wklejonych prętów zbrojeniowych. Dodatkowo, jeżeli temperatura wklejonego pręta zbrojeniowego przekroczy wartość, w której temperaturowy współczynnik redukcji dla systemu wklejania prętów zbrojeniowych wyniesie $k_{fi}(\theta) = 0.7$, przekrój poprzeczny stali wklejonego pręta zbrojeniowego nie może być uwzględniony przy obliczaniu nośności. Zgodnie z rys. 10, poziom temperatury, przy której nośność pręta zbrojeniowego wklejonego z użyciem organicznych systemów żywicznych powinna zostać pominięta, zaczyna się w zakresie od 75°C do 150°C dla systemów pokazanych na rysunku”.

W przeciwieństwie do organicznych systemów żywicznych, Hilti HIT-FP 700-P zapewnia właściwe parametry, dzięki czemu projektanci nie muszą brać pod uwagę powyższego akapitu i mogą posłużyć się relatywnie prostą metodą, jeżeli dopuszczają ją lokalne przepisy budowlane



Rys. 11 Obliczanie nośności przekroju poprzecznego ze zbrojeniem rozciągającym i ściskającym zgodnie z [1]

(b) Metoda strefowa zapewnia dokładniejsze wyniki w porównaniu z metodą przedstawioną wcześniej. W metodzie tej przekrój poprzeczny dzieli się na kilka równoległych stref ($n > 3$) o równej grubości, w których oceniana jest temperatura średnia, odpowiadająca jej średnia wytrzymałość na ściskanie i moduł sprężystości dla każdej strefy. Zniszczony w pożarze przekrój poprzeczny przedstawiany jest w postaci przekroju zredukowanego, po odrzuceniu zniszczonej strefy o grubości aż wzdłuż boków poddawanych oddziaływaniu ognia, określonych za pomocą równania lub rysunków przedstawionych w EN 1992-1-2 [1]. Po ustaleniu zredukowanego przekroju poprzecznego i określeniu wytrzymałości oraz modułów sprężystości E dla sytuacji pożarowej, projektowanie z uwagi na warunki pożarowe przeprowadza się zgodnie z procedurą projektowania dla temperatury normalnej (**zob. rys. 10**).

Wytrzymałość betonu i prętów zbrojeniowych zalewanych betonem oblicza się jak funkcję temperatury, wykorzystując współczynniki redukcyjne $k_c(\theta_m)$ (w obliczeniach przyjmuje się temperaturę w środku strefy) lub $k_s(\theta)$. Ponadto, w przypadku tej metody podejście polegające na bezpośrednim podstawieniu połączenia wykonanego z zastosowaniem prętów zbrojeniowych wklejanych z użyciem organicznych zapraw żywicznych (**rys. 6**) NIE jest możliwe, ponieważ konieczne jest obliczenie wytrzymałości betonu, wytrzymałości stali oraz resztkowej wytrzymałości wiązania systemu wklejania prętów zbrojeniowych jako funkcji temperatury. Dodatkowo, maksymalna temperatura w warstwie zaprawy powinna być ograniczona do zakresu od 150 do 350°C – w zależności od produktu i kierunku prętów zbrojeniowych względem ognia – ponieważ organiczne systemy żywiczne nie mają żadnej resztkowej wytrzymałości wiązania.

W przeciwieństwie do organicznych systemów żywicznych, Hilti HIT-FP 700-P zapewnia właściwe parametry, dzięki czemu nie jest konieczne modyfikowanie metody strefowej do temperatury stali wynoszącej 500°C.

Uwaga: w Niemczech metoda ta może być wykorzystywana dla elementów poddawanych zginaniu, niezależnie od występowania siły normalnej. Opis metody strefowej w EN 1992-1-2 [1] jest niekompletny, szczególnie w przypadku słupów betonowych. Stąd, wykorzystanie metody strefowej w Niemczech jest dopuszczalne przez przepisy budowlane wyłącznie po uwzględnieniu komentarzy i interpretacji z publikacji Zilcha i inni [9] lub Cylloka i Achenbacha [10].

(c) Metoda, oparta na oszacowaniu krzywizny, dotyczy słupów, których zachowanie się w konstrukcji w warunkach pożaru w znacznym stopniu zależy od efektów drugiego rzędu. Służy do oceny przekroju żelbetowego poddawanego działaniu momentu zginającego i obciążenia osiowego. Metoda ta oparta jest na oszacowaniu krzywizny (EN 1992-1-1, sekcja 5 [2]). Metoda ta nie będzie tu omawiana bardziej szczegółowo, ponieważ może, co prawda, być zakwalifikowana jako ogólna uproszczona metoda obliczeń, jednak jej wykorzystanie wymaga znacznego nakładu pracy. W przypadku stosowania tej metody konieczne jest uwzględnienie naprężeń cieplnych (nawet jeżeli nie zostało to wprost wspomniane w EN 1992-1-2 [1]).

SIŁA ZESPOŁU HILTI DLA TWOJEGO KOLEJNEGO PROJEKTU BUDOWLANEGO

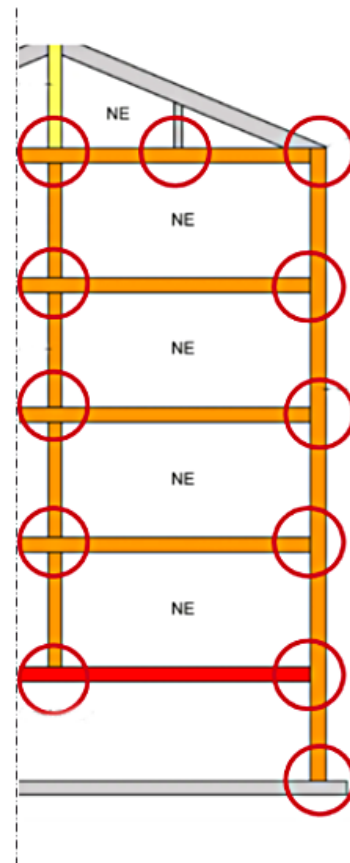
Systemy iniekcyjne Hilti do wklejanych połączeń prętów zbrojeniowych oraz oprogramowanie projektowe firmy Hilti

To, jak ważna jest odporność ogniowa, zależy od wielkości budynku, obciążenia budynku związanego z ilością jego użytkowników, rodzaju aktywności oraz celów związanych z bezpieczeństwem pożarowym. Aby zapewnić ochronę życia w przypadku pożaru, odporność pożarowa jest szczególnie istotna w przypadku budynków, w których pożar może się znacznie rozprzestrzenić zanim wszyscy użytkownicy budynku będą w stanie go opuścić. Należy zauważyć, że nawet jeżeli ogólny kontekst i ogólne pojęcia związane z bezpieczeństwem pożarowym są takie same w całej Europie, to wymogi dotyczące ochrony przeciwpożarowej nie są jednolite. Generalnie, wszystkie istotne konstrukcyjne / stężące ściany, słupy i płyty, które można wykonać z użyciem wklejanych prętów zbrojeniowych (**zob. rys. 12**), muszą zapewniać integralność konstrukcji przez określony czas. Jednak nie wszystkie połączenia wykonane z użyciem wklejanych prętów zbrojeniowych mają krytyczne znaczenie w sytuacji pożarowej, w związku z czym można je wykonać w sposób bardziej ekonomiczny, wykorzystując zaprawę żywiczną zamiast zaprawy cementowej. Aby określić poziom wpływu rozkładu temperatur na połączenia wykonane z użyciem wklejanych prętów zbrojeniowych, konieczne jest rozróżnienie trzech typów połączeń, w których istotnymi parametrami są orientacja wklejanego pręta zbrojeniowego względem powierzchni narażonej na działanie ognia oraz liczba powierzchni narażonych na działanie ognia (**zob. rys. 13**).

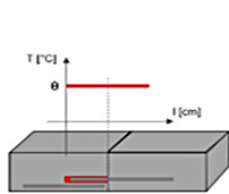
W przypadku pierwszego rodzaju połączeń, ogień wpływa na wytrzymałość wiązania na całej długości pręta zbrojeniowego w taki sam sposób na skutek stałego rozkładu temperatur, ponieważ odległość od konstrukcyjnych wklejanych prętów zbrojeniowych do powierzchni narażonej na działanie ognia jest stała. W rezultacie, w przypadku takich połączeń nie ma możliwości przeniesienia przyłożonego obciążenia na obszary chłodniejsze. Współczynnik redukcji należy zastosować dla całej głębokości zakotwienia / długości styku doczołowego. Warunki takie występują zazwyczaj tam, gdzie wklejane pręty zbrojeniowe są wykorzystywane do przedłużania płyt lub ścian z zastosowaniem połączeń wykonywanych w postaci styku doczołowego.

W przypadku połączeń drugiego rodzaju, wytrzymałość wiązania NIE musi ulec zmianie wzdłuż całej długości zakotwienia z uwagi na fakt, że rozkład temperatur NIE jest stały, ponieważ odległość od konstrukcyjnych wklejanych prętów zbrojeniowych do powierzchni poddawanej działaniu ognia NIE jest stała. Obciążenie może być przeniesione do chłodniejszego obszaru w obrębie połączenia, dzięki czemu wartości wytrzymałości wiązania mogą być wyższe. Warunki takie występują zazwyczaj w przypadku zakotwień końcowych płyt w połączeniach płyt ze ścianami. W zastosowaniach takich również zaprawy żywiczne mogą stanowić rozwiązanie akceptowalne pod względem odporności ogniowej.

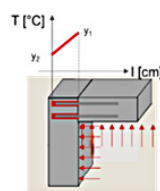
Jeżeli weźmiemy to zastosowanie, ale zmienimy w nim połączenie płyty ze ścianą na połączenie belki ze słupem, otrzymamy połączenie typu 3, pokazane na **rys. 13**. W tym przypadku wklejony pręt zbrojeniowy również nie jest ustawiony równolegle do powierzchni poddawanej działaniu ognia, ale z uwagi na liczbę powierzchni poddawanych działaniu ognia, już przy krótkich czasach odporności ogniowej temperaturę w warstwie zaprawy można oszacować jako stosunkowo wysoką. Można to zobaczyć na **rys. 13**, gdzie podano obliczoną długość styku doczołowego i długość zakotwienia dla systemu żywicznego (Hilti Hit RE 500 V4) i systemu cementowego (Hilti HIT-FP 700-R) dla czasu oddziaływania ognia R30.



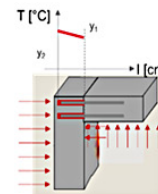
Rys. 12 Możliwe miejsca występowania połączeń wykonanych z użyciem wklejanych prętów zbrojeniowych



PŁYTA DO PŁYTY,
powierzchnia poddawana działaniu ognia: od dołu¹⁾



SLAB TO WALL
flamed surface from the bottom and one side¹⁾



BEAM TO COLOUMN
flamed from bottom and 4 sides²⁾

R30

Warunki normalne: $f_{bd,pi} = 2,3 \text{ N/mm}^2$, $l_{0,pi} = 1135 \text{ mm}$

Zaprawa żywiczna: warunki pożarowe:
 $f_{bd,pi,R30} = 0,85 \text{ N/mm}^2$, $l_{0,pi,R30} = 2150 \text{ mm}$

Hilti HIT-FP 700-R, warunki pożarowe:
 $f_{bd,pi,R30} = 2,83 \text{ N/mm}^2$, $l_{0,pi,R30} = 650 \text{ mm}$

Warunki normalne: $f_{bd,pi} = 2,3 \text{ N/mm}^2$, $l_{0,pi} = 567 \text{ mm}$

Zaprawa żywiczna: warunki pożarowe:
 $l_{0,pi,R30} = 290 \text{ mm}$

Hilti HIT-FP 700-R, warunki pożarowe:
 $l_{0,pi,R30} = 320 \text{ mm}$

Warunki normalne: $f_{bd,pi} = 2,3 \text{ N/mm}^2$, $l_{0,pi} = 567 \text{ mm}$

Zaprawa żywiczna: warunki pożarowe:
 $l_{0,pi,R30} = 1380 \text{ mm}$

Hilti HIT-FP 700-R, warunki pożarowe:
 $l_{0,pi,R30} = 330 \text{ mm}$

¹⁾ Warunki zastosowania: C20/25; $\emptyset 12/200 \text{ mm}$, $c = 40 \text{ mm}$, $\alpha_2 = 1$, $\alpha_6 = 2$, $\sigma_{sd} = 435 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{sd,fi} = 0,7 \cdot 435 \text{ N/mm}^2 = 305 \text{ N/mm}^2$

²⁾ Warunki zastosowania: C20/25; $\emptyset 12/100 \text{ mm}$, $c = 40 \text{ mm}$, $\alpha_2 = 1$, $\alpha_6 = 2$, $\sigma_{sd} = 435 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{sd,fi} = 0,7 \cdot 435 \text{ N/mm}^2 = 305 \text{ N/mm}^2$

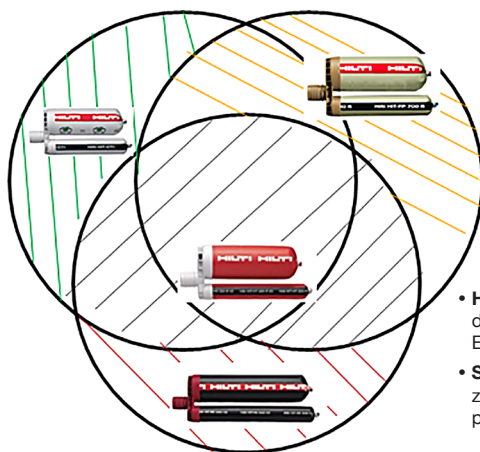
Rys. 13 Krytyczne z uwagi na temperaturę i mniej krytyczne z uwagi na temperaturę połączenia z wykorzystaniem klejanych prętów zbrojeniowych oraz związane z nimi długości styku doczołowego i zakotwienia dla dwóch różnych systemów iniekcyjnych

W warunkach normalnych wszystkie wartości wytrzymałości wiązania są takie same, jak podane w ETA produkcie dla betonu klasy C20/25. W najlepszym przypadku górna wartość graniczna odpowiada wytrzymałości wiązania pręta zbrojeniowego zalewanego betonem w tym samym warunkach granicznych. W warunkach pożarowych obserwujemy znaczącą różnicę pomiędzy zaprawą żywiczną i zaprawą cementową Hilti HIT-FP 700-R dla czasu odporności ogniowej R30. W przypadku połączeń typu 1 i 3 właściwym rozwiązaniem jest Hilti HIT-FP 700-R, podczas gdy zastosowanie 2 może być zrealizowane także z użyciem zaprawy HIT-RE 500-V4.

Pożar to jednakże nie jedyny warunek projektowy wymagający spełnienia. W związku z tym Hilti oferuje zespół systemów iniekcyjnych do klejanych zakotwień prętów zbrojeniowych, ponieważ jak dotąd nie istnieje jedna uniwersalna zaprawa do wszystkiego (**zob. rys. 12**). Najłatwiejszym sposobem doboru właściwego systemu jest wprowadzenie wszystkich warunków zastosowania do oprogramowania Hilti PROFIS i przygotowanie projektu. Dzięki oprogramowaniu Hilti PROFIS można zaprojektować i opracować wszystkie możliwe rodzaje zastosowań, wymienione w EAD330087 [3] dla warunków normalnych i pożarowych, oraz wszystkie możliwe zastosowania wymienione w warunkach i EAD 332402-01-0601 [11] (tylko projektowanie z uwagi na warunki normalne), co pomaga inżynierom w szybkim opracowaniu najlepszego rozwiązania. Jeżeli konieczne jest zaprojektowanie połączenia mającego znaczenie w sytuacji pożarowej, PROFIS Engineering pozwala na wprowadzenie stałego rozkładu temperatur, jeżeli jest on znany, lub, alternatywnie, przedstawia wyniki rozkładów temperatur dla całej długości zakotwienia dla wybranych zastosowań, w zależności od wymaganego czasu odporności ogniowej oraz położenia pręta zbrojeniowego w stosunku do powierzchni poddawanej działaniu ognia.

Projekt jest podsumowywany w przejrzystym i zrozumiałym raporcie projektowym i informacji o projektowaniu z uwagi na warunki normalne lub z uwagi na warunki pożarowe, który można włączyć do dokumentacji projektowej

- **Hilti HIT-CT 1:** krótki czas utwardzania; do zastosowań standardowych lub zastosowań, w których konieczne jest wykonanie połączeń nieszkodliwych dla środowiska; tylko projekty wg Eurokodu 2.



- **Hilti HIT-FP 700-R:** opracowana dla zastosowań, w których kluczowe znaczenie ma temperatura, takich jak warunki pożarowe, długi czas utwardzania w porównaniu z systemami żywicznymi; tylko projekty wg Eurokodu 2.



- **Hilti HIT-HY 200-R V3:** krótki czas utwardzania; do zastosowań standardowych Projekty wg Eurokodu 2 i EOTA TR 069
- **System można stosować w przypadku 80%** zastosowań związanych z użyciem wklejanych prętów zbrojeniowych

80/20

- **Hilti HIT-RE 500 V4, rozwiązanie uniwersalne:** długi czas utwardzania; do zastosowań standardowych i zastosowań, w których wymagane są pręty zbrojeniowe o bardzo dużych średnicach i głębokie otwory lub duża liczba otworów (dozowanie dozownikiem pneumatycznym). Projekty wg Eurokodu 2 i EOTA TR 069



Rys. 14 Siła zespołu Hilti dla wklejanych zakotwień prętów zbrojeniowych wynikająca z cech poszczególnych zapraw

Jeżeli jednak chcesz wybrać wcześniej system zaprawy, możemy przedstawić podstawową zasadę doboru, ponieważ wszystkie systemy uwzględniają ogólne charakterystyki zastosowań i ich warunki, w tym obciążenia statyczne w połączeniu z normalnymi średnicami prętów zbrojeniowych:

- **Hilti HIT-FP 700-R:** opracowana dla zastosowań, w których kluczowe znaczenie ma temperatura, takich jak omówione powyżej; dłuższy czas utwardzania w porównaniu z systemami żywicznymi.
- **Hilti HIT-RE 500 V4:** długi czas utwardzania; do zastosowań standardowych i zastosowań, w których wymagane są pręty zbrojeniowe o bardzo dużych średnicach i głębokie otwory lub duża liczba otworów.
- **Hilti HIT-HY 200-R V3:** krótki czas utwardzania; do zastosowań standardowych! zwykle system ten można stosować w przypadku 80% zastosowań związanych z wklejanymi prętami zbrojeniowymi, o ile brak jest specjalnych warunków projektowych.
- **Hilti HIT-CT 1:** krótki czas utwardzania; do zastosowań standardowych lub zastosowań, w których konieczne jest wykonanie połączeń przyjaznych dla środowiska (brak symboli zagrożenia)

PODSUMOWANIE

Analizę połączeń beton do betonu, wykonywanych z użyciem zbrojenia zalewanego betonem, narażonych na działanie ognia, można przeprowadzić przy użyciu kilku metod o różnym poziomie złożoności i dokładności. Na najprostszym, praktycznym poziomie można zastosować metody opisowe w postaci danych tabelarycznych, uwzględniając szczególne warunki, których dotyczą podane wartości.

Z uwagi na prostotę podejścia jest to pierwsza metoda stosowana w praktyce projektowania elementów betonowych. Drugim krokiem lub drugą opcją może być uproszczona metoda obliczeń, stosowana w przypadku, gdy uszkodzony przez ogień przekrój poprzeczny jest reprezentowany przez zmniejszony przekrój poprzeczny, przy zignorowaniu grubości uszkodzonej strefy po stronach elementu narażonych na działanie ognia. Zarówno metoda wykorzystująca dane tabelaryczne, jak i uproszczone metody obliczeń zakładają, że do temperatury 500°C zmniejszenie wytrzymałości betonu na ściskanie (przyczepność pręta zbrojeniowego zalanego betonem) względem oddziaływań obliczeniowych nie jest znaczące. W przeciwieństwie do tego założenia, przyczepność systemu wklejania prętów zbrojeniowych w dużym stopniu zależy od zaprawy, a przy temperaturze 500°C żaden ze zbadanych systemów żywicznych nie zapewnił jakiegokolwiek resztkowej wytrzymałości wiązania. W rezultacie zastosowanie logiki danych tabelarycznych i uproszczonej metody obliczeń w połączeniu z tymi systemami może prowadzić do problemów z bezpieczeństwem, dotyczących zachowania w warunkach pożarowych.

Aby rozwiązać ten problem, Hilti oferuje obecnie cementową zaprawę iniekcyjną, cechującą się zmniejszeniem wytrzymałości wiązania, która jest o wiele niższa w porównaniu z zaprawami żywicznymi, a nawet z betonem, w temperaturze 500°C. W rezultacie, połączenia wykonywane z użyciem wklejanych prętów zbrojeniowych w warunkach pożarowych zaprojektowane z użyciem danych tabelarycznych i uproszczonych metod obliczania zgodnie z EN 1992-1-2 [1] mogą być teraz wykonywane za pomocą zaprawy Hilti HIT-FP 700-R. Sądzymy, że w połączeniu z innymi systemami iniekcyjnymi Hilti zaspokajamy prawie wszystkie związane z projektowaniem potrzeby, występujące w projektach budowlanych, podczas gdy oprogramowanie Hilti PROFIS Engineering pomaga w prostym doborze właściwego produktu.

LITERATURA

- [1] Eurocode 2: Projektowanie konstrukcji z betonu - Część 1-2: Reguły ogólne -- Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe; wersja niemiecka EN 1992-1-2:2004 + AC:2008
-
- [2] Eurocode 2: Projektowanie konstrukcji z betonu - Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków; wersja niemiecka EN 1992-1-1:2004 + AC:2010.
-
- [3] EOTA Europejski Dokument Oceny EAD 330087-01-0601 (2018) Systemy wklejanych zakotwień prętów zbrojeniowych z zaprawą, grudzień 2020.
-
- [4] Wörle, P., Appl, J., Genesis G.: Bewehrungsanschlüsse für momententragfähige Verbindungen nach EOTA TR 069, Beton- und Stahlbetonbau Volume 115, Wydanie 11, S. 887-896, Ernst & Sohn 2020.
-
- [5] EOTA Raport Techniczny TR 069 (2019) Design method for anchorage of post-installed reinforcing bars (rebars) with improved bond-splitting behavior as compared to EN 1992-1-1. Październik 2019
-
- [6] Jan Hofmann¹, Hitesh Lakhani¹, Jatin Aggarwal²: POST INSTALLED REBARS – PULL-OUT CAPACITY DURING FIRE, Otto-Graf-Journal Vol. 18, 2019, w języku niemieckim, S.141-152
-
- [7] Stal do zbrojenia betonu - Spajalna stal zbrojeniowa – Postanowienia ogólne; wersja niemiecka EN 10080:2005 [8] Beton - Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność; wersja niemiecka EN 206-1:2000.
-
- [8] Concrete - Part 1: Specification, performance, production, and conformity; German version EN 206-1:2000.
-
- [9] Zilch, K., Müller, A. and Reitmayer, C. (2010), "Erweiterte Zonenmethode zur brand-schutztechnischen Bemessung von Stahlbetonstützen", Der Bauingenieur, tom 6, nr 85, str. 282-287.
-
- [10] Cyllok, M. and Achenbach, M. (2009), "Anwendung der Zonenmethode für brandbeanspruchte Stahlbetonstützen", Beton- und Stahlbetonbau, tom 12 nr 104, str. 813-822.
-
- [11] EOTA Europejski Dokument Oceny EAD 332402-00-0601 (oczekuje na ogłoszenie w Dz.U. UE) Post-installed reinforcing bar (rebar) connections with improved bond-splitting.
-



Hilti (Poland) Sp. z o.o.
Puławska 491
02-844 Warszawa
T (22) 320 56 00

www.hilti.pl