

# HILTI

## Wklejanie prętów zbrojeniowych za pomocą żywicy Hilti

Podręcznik techniki  
kotwienia B 2.1 1



2006



## Słowo wstępne

Niniejszy podręcznik profesjonalnego wklejania prętów zbrojeniowych przy zastosowaniu systemu iniekcji Hilti HIT opiera się na koncepcji bezpieczeństwa Eurokodu 2 (ENV 1992-1-1:1992).

W przypadku mniejszych głębokości wklejania, uzupełniając podano zasady obliczania wzięte z literatury i z wyników testów przeprowadzonych w dziale badawczym koncernu Hilti, opierając się przy tym na technice kotwienia Hilti.

Dla interpretacji tych wyników testów przeprowadzono dalsze badania naukowe. Oznaczenia i metody obliczeń przejęto z Eurokodu 2, by w ten sposób stworzyć jednolitą i ogólnie uznaną bazę.

Użytkownik powinien mieć świadomość, że w technice kotwienia zasadniczo dąży się do możliwie małych głębokości osadzenia. Przy określaniu nośności kotew bierze się pod uwagę tylko siłę rozciągającą w betonie bez uwzględnienia lokalnego zbrojenia. Wskutek tego obciążalność grup kotew z reguły jest ograniczona względnie niewielką wytrzymałością betonu na rozciąganie i ma względnie małą wartość w stosunku do wytrzymałości elementu budowlanego.

W przeciwieństwie do tego modele konstrukcji żelbetowych dążą do pełnego wykorzystania granicy plastyczności stali. Beton nie służy do przenoszenia sił rozciągających. Pękaniu betonu pod wpływem przyłożonej siły przy niewielkiej odległości od krawędzi i małym rozstawie prętów zapobiega się przez redukcję naprężeń ścinających spoiny, to znaczy przez zastosowanie wię-

szych długości zakotwienia i dodatkowego zbrojenia poprzecznego.

Innowacyjny system Hilti HIT-Rebar ze swymi akcesoriami narzędziami montażowymi umożliwia łatwe i niezawodne późniejsze wykonywanie zbrojonych połączeń betonu z betonem nawet przy względnie małych długościach zakotwienia.

Właściwości żywicy iniekcyjnej Hilti HIT-HY 150 i Hilti HIT-RE 500 zostały dokładnie zbadane w dziale naukowo-badawczym Hilti w Kaufering (Niemcy) oraz przez niezależne instytucje. Uzyskano aprobaty dla systemu w Stanach Zjednoczonych i we Francji. W Niemczech żywica Hilti HIT-HY 150 dla tego zastosowania uzyskała aprobatę Niemieckiego Instytutu Techniki Budowlanej (Z-21.8-1648).

Przemieszczenie prętów wklejonych przy użyciu żywicy Hilti-HIT odpowiada zabetonowanej stali zbrojeniowej. Sztywność spoiny klejowej jest nieco mniejsza od zabetonowanych prętów, ale jej wytrzymałość w normalnych warunkach – znacznie większa. Jeżeli przestrzega się reguł budownictwa żelbetowego, można się spodziewać korzystnego rozkładu pęknięć, ograniczenia szerokości pęknięć w warunkach praktycznych oraz ciągłości przy obciążeniu niszczącym.

Szczególną uwagę należy zwrócić na przenoszenie sił przez zakotwienie w istniejącym elemencie budowlanym zgodnie z regułami budownictwa żelbetowego. Ostatecznie to projektant konstrukcji nośnej odpowiada za ogólny rozkład sił i globalną równowagę w elemencie budowlanym.

Wskazówka: Niniejszy podręcznik opiera się na ogólnym „Podręczniku techniki kotwienia Hilti”, który został dostosowany do państwowych norm. W dalszym opisie jest on w skrócie nazywany FTM (Fastening Technology Manual).

# Spis treści

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Zastosowania systemu iniekcyjnego Hilti HIT do wklejania prętów zbrojeniowych</b>              | <b>6</b>  |
| 1.1.      | Zalety systemu iniekcyjnego do wklejania prętów zbrojeniowych                                     | 6         |
| 1.2.      | Przykłady zastosowań  | 6         |
| <b>2.</b> | <b>Informacja o systemach iniekcji Hilti HIT-Rebar</b>  | <b>8</b>  |
| 2.1.      | Kompletny system iniekcyjny dla różnych warunków stosowania                                       | 8         |
| 2.2.      | Dwuskładnikowe żywice iniekcyjne  | 9         |
| 2.2.1.    | Hilti HIT-HY 150: żywica szybkowiążąca  | 9         |
| 2.2.2.    | Hilti HIT-RE 500: żywica wolnowiążąca   | 9         |
| 2.3.      | Instrukcja osadzania  | 10        |
| 2.3.1.    | Przy płytkich głębokościach wklejania (do ok. 30 cm)  | 10        |
| 2.3.2.    | Standartowe wklejanie prętów zbrojeniowych (głębokość pow. 30 cm)                                 | 12        |
| <b>3</b>  | <b>Projektowanie zakotwień prętów zbrojeniowych przy użyciu żywicy iniekcyjnej Hilti HIT</b>      | <b>13</b> |
| 3.1.      | Ogólne założenia  | 13        |
| 3.1.1.    | Ogólne zasady projektowania   | 13        |
| 3.1.2.    | Przenoszenie sił poprzecznych (zalecenie szorstkiej powierzchni styku starego i nowego betonu)    | 13        |
| 3.1.3.    | Rozważane rodzaje zniszczeń   | 13        |
| 3.2.      | Podstawowe wartości dla betonu zbrojonego   | 14        |
| 3.2.1.    | Wartości obliczeniowe dla żywicy i stali  | 14        |
| 3.2.2.    | Uwzględnienie rzeczywistej siły działającej w pręcie  | 15        |
| 3.3.      | Standardowe sytuacje projektowe   | 15        |
| 3.3.1.    | Zakotwienie „w strefie, w której pręt nie jest już wymagany do przenoszenia siły”                 | 15        |
| 3.3.2.    | Pręt kotwiony wklejany na zakład z prętem zabetonowanym   | 15        |
| 3.3.3.    | Typowe tabele odnoszące się do rozłupania i odwarstwienia betonu                                  | 16        |
| 3.4.      | Przypadki specjalne   | 18        |
| 3.4.1.    | Węzeł ramy poddany działaniu momentu zginającego  | 19        |
| 3.4.2.    | Narożnik ramy poddany działaniu siły poprzecznej i dodatniego (otwierającego) momentu zginającego | 20        |
| 3.4.3.    | Narożnik ramy poddany działaniu siły poprzecznej i ujemnego (zamykającego) momentu zginającego    | 20        |
| 3.4.4.    | Wsporniki   | 21        |
| 3.4.5.    | Połączenia rozciągane   | 21        |
| 3.5.      | Uproszczona metoda na zasadzie weryfikacji ścinania (wyłamanie stożka betonu)                     | 25        |
| 3.5.1.    | Uwagi ogólne  | 22        |
| 3.5.2.    | Zasady obliczania na podstawie tabel 3.5.a i 3.5b   | 22        |
| <b>4</b>  | <b>Przykłady obliczeń</b>   | <b>25</b> |
| 4.1.      | Połączenie płyty podpartej przegubowo   | 25        |
| 4.2.      | Połączenie zakładkowe   | 26        |
| 4.3.      | Połączenie ze ścianą (węzeł ramy)   | 27        |
| 4.3.1.    | Moment dodatni (napór wody)   | 27        |
| 4.3.2.    | Moment ujemny (zamykający):   | 28        |
| <b>5</b>  | <b>Aprobaty/literatura</b>  | <b>29</b> |
| 5.1.      | Lista aprobat żywicy Hilti HIT-HY 150   | 29        |
| 5.2.      | Lista aprobat żywicy Hilti HIT-RE 500   | 29        |
| 5.3.      | Załączniki (dostępne w Dziale Technicznym Hilti)  | 30        |
| 5.4.      | Pomoce obliczeniowe (dostępne w Dziale Technicznym Hilti)   | 30        |

## Załączniki

|     |  |    |
|-----|--|----|
| A01 | Oznaczenia na rysunkach  | 34 |
| A02 | Objętość wypełnienia żywicą i głębokość iniekcji                                     | 35 |
| A03 | Podstawy wymiarowania zakotwień i połączeń zakładkowych stali zbrojeniowej           | 37 |
| A04 | Zasady zbrojenia według Eurokodu 2 (ENV 1992-1-1 : 1992)                             | 39 |
| A05 | Analiza przyczepności między stalą żebrowaną i betonem                               | 40 |
| A06 | Analiza zjawisk zachodzących na połączeniach zakładkowych                            | 42 |
| A07 | Metoda obliczania Hilti HIT-Rebar i ACI 318-02                                       | 46 |
| A08 | Stan graniczny użytkowania – ograniczenia  | 50 |
| A09 | Odporność korozyjna wklejonych prętów  | 51 |
| A10 | Projektowanie ochrony przeciwpożarowej   | 52 |
| A11 | Zmęczenie później wykonywanych zbrojonych połączeń betonu z betonem                  | 55 |
| A12 | Wytyczne warunków technicznych/specyfikacji dla zbrojenia wklejanego na żywice Hilti | 56 |

## Ferrosan PS 200

**63**

## Pomoce obliczeniowe

### *Hilti EXBAR Rebar Design EC2, wersja 1.11:*

Arkusz kalkulacyjny Excel do obliczania później wykonywanych zbrojonych połączeń betonu z betonem

### *Hilti EXBAR Węzeł ramy EC2, wersja 1.11:*

Arkusz kalkulacyjny Excel do obliczania później wykonywanych zbrojonych połączeń betonu z betonem w węzłach ramy

Informacje techniczne zawarte w niniejszym podręczniku mają charakter informacyjny. Przy projektowaniu należy uwzględnić aktualne przepisy, normy i aprobaty techniczne.

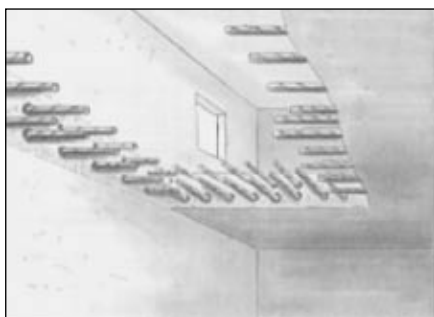
# 1 Zastosowania systemu iniekcyjnego do wklejania prętów zbrojeniowych

## 1.1 Zalety systemu do wklejania prętów zbrojeniowych

Zastosowanie systemów iniekcji Hilti-HIT umożliwia łączenie nowego i istniejącego betonu.

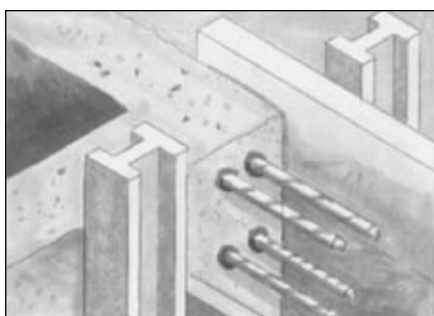
- Elastyczne projektowanie
- Tak niezawodne jak zabetonowane monolityczne połączenie
- Montaż poziomy i pionowy
- Prostsze deskowanie
- Zdefiniowane obciążenia
- Łatwy i niezawodny montaż

## 1.2 Przykłady zastosowań



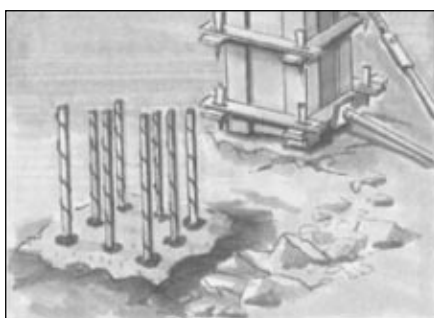
### Łączenie płyt stropowych

- Montaż stropów pośrednich
- Zmiany konstrukcyjne, renowacje
- Zamykanie tymczasowych otworów
  - Prostsze deskowanie
  - Możliwość wykonania otworów w dowolnym miejscu
  - Tymczasowe otwory nie stanowią żadnej przeszkody
  - Niewielkie ryzyko uszkodzenia zbrojenia



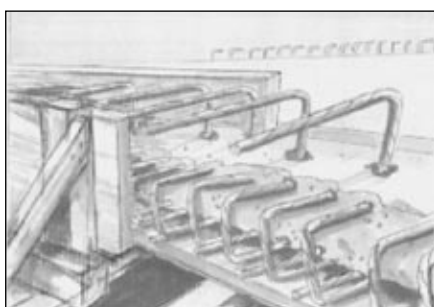
### Łączenie ścian i dźwigarów

- Połączenia konstrukcyjne
- Rozbudowa konstrukcji
- Poziome pręty startowe
  - Prostsze roboty szalunkowe
  - Zbrojenie przelotowe
  - Małe średnice wierconych otworów



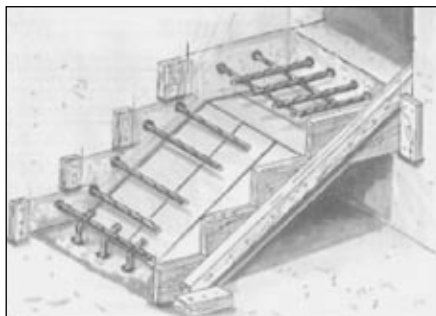
### Łączenia pionowe

- Nowe słupy i podpory
- Wzmacnianie konstrukcji nośnych
- Zbrojone głowice pali
  - Dokładne pozycjonowanie prętów połączeniowych
  - Łatwy montaż zbrojenia
  - Łatwy dostęp do miejsca budowy, lepsza komunikacja na placu budowy



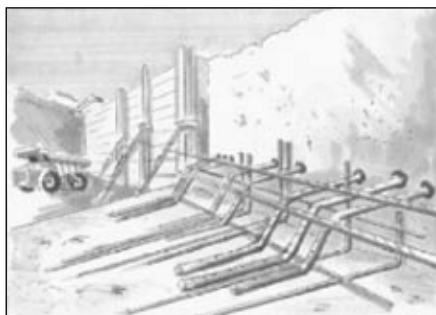
### Renowacja i naprawy konstrukcji

- Renowacje konstrukcji mostów
- Wzmacnianie konstrukcji żelbetowych
- Prace naprawcze elementów żelbetowych
- Renowacja gzymsów i kap chodnikowych
  - Brak spawania i dodatkowych połączeń
  - Prosty montaż
  - Redukcja odkuwania betonu



### Połączenia konstrukcyjne

- Schody
- Włazy
- Wsporniki
  - Dokładne pozycjonowanie prętów startowych
  - Ułatwia wykonanie skomplikowanych elementów żelbetowych
  - Uproszczone deskowanie
  - Bezzapachowa żywica przy zastosowaniach wewnątrz pomieszczeń



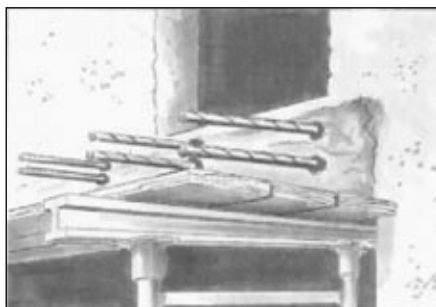
### Ściany oporowe

- Ściany szczelinowe
- Ściany łączące
- Ściany kurtynowe
  - Łatwość zastosowania
  - Małe średnice wierconych otworów
  - Połączenia także przy użyciu wygiętych prętów



### Nadbeton

- Wymiana pomostów mostowych
- Łączenie starego i nowego betonu (konstrukcje zespolone)
- Statyczne wzmocnianie płyt i belek
  - Szybki seryjny montaż
  - Małe średnice wierconych otworów
  - Szybkie utwardzanie













### Wystające elementy budowlane

- Balkony
- Ciągi komunikacyjne
- Podesty
  - Brak odkuwania betonu
  - Możliwość stosowania także wygiętego zbrojenia
  - Połączenia tak niezawodne jak zabetonowane
  - Unikanie korozji prętów zbrojeniowych dzięki szybkiemu montażowi
  - Elastyczność projektowania
  - Możliwość prowadzenia prac w eksploatowanym budynku

## 2 Informacja o systemach iniekcji Hilti HIT-Rebar

### 2.1 Kompletny system iniekcyjny dla różnych warunków stosowania

System iniekcji Hilti HIT jest bezpieczny i łatwy w stosowaniu. Różne komponenty umożliwiają stosowanie go w różnych warunkach, a rezultatem są połączenia najwyższej jakości.

| Żywica iniekcyjna  |  | Dozowniki  |
|--|--|--|
| <p>Szybkie utwardzanie<br/>Hilti HIT-HY 150</p>  <p>Ładunek foliowy 330 ml/500 ml<br/>z kasetą i mieszaczem</p> | <p>Powolne utwardzanie<br/>Hilti HIT-RE 500</p>  <p>Ładunek foliowy 330 ml/500 ml<br/>z kasetą i mieszaczem</p> |  <p>Ręczne dozowniki MD 2000/ 2500</p>  <p>Dozownik akumulatorowy<br/>BD 2000/ED 3500</p> |
|  <p>Duży ładunek 1100 ml<br/>i mieszacz</p>   |  <p>Duży ładunek 1100 ml<br/>i mieszacz</p>   |  <p>Dozownik pneumatyczny<br/>P 5000HY</p>  |
|  <p>Duży ładunek 1400 ml z uchwytem<br/>i mieszaczem</p>  |  <p>Duży ładunek 1400 ml z uchwytem<br/>i mieszaczem</p>  |  <p>Dozownik pneumatyczny<br/>HIT P-8000 D</p>  |



## 2.2 Dwuskładnikowe żywice iniekcyjne

### 2.2.1 Hilti HIT-HY 150: żywica szybko wiążąca

Hilti HIT-HY 150 jest to żywica hybrydowa składająca się z organicznych i nieorganicznych środków wiążących. Odnacza się ona następującymi zaletami:

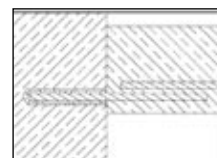
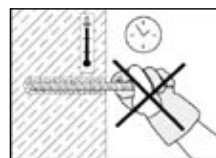
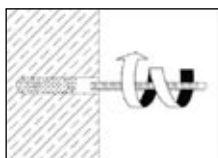
#### Niezawodność:

- Reakcja z cementem zwiększa sztywność spoiny, zwłaszcza w wysokich temperaturach
- Niewielki skurcz materiału przy jednoczesnym szybkim utwardzaniu
- Bardzo dobre połączenie klejowe pręta zbrojeniowego i betonu, porównywalne z zabetonowanym prętem

#### Komfort:

- Wypróbowane, samootwierające się opakowanie foliowe
- Niewielki nakład siły przy dozowaniu, dzięki czemu praca przebiega szybciej i dokładniej
- Szeroki asortyment dozowników do najróżniejszych zastosowań
- Redukcja odpadów dzięki unikalnemu opakowaniu foliowemu
- Bezzapachowa żywica

#### Czasy żelowania i utwardzania żywicy Hilti HIT-HY 150



| Temperatura podłoża |       | Okres przydatności do użycia po otwarciu opakowania $t_{gel}$ | Czas utwardzania $t_{cure}$ | Nośność projektowana              |
|---------------------|-------|---|-----------------------------|-----------------------------------|
| -5°C                | 23°F  | 90 min  | 6 h                         | Wg pkt. 3 niniejszego podręcznika |
| 0°C                 | 32°F  | 45 min  | 3 h                         |                                   |
| 5°C                 | 41°F  | 25 min  | 1,5 h                       |                                   |
| 10°C                | 50°F  | 8 min   | 1,3 h                       |                                   |
| 15°C                | 60°F  | 5 min   | 1,0 h                       |                                   |
| 20°C                | 70°F  | 3 min   | 50 min                      |                                   |
| 30°C <sup>*)</sup>  | 85°F  | 3 <sup>*)</sup> min   | 45 min                      |                                   |
| 40°C <sup>*)</sup>  | 104°F | 2 <sup>*)</sup> min   | 30 min                      |                                   |

#### Uwagi:

Wszystkie czasy są liczone od chwili przejścia przez mieszacz (wymieszania się składników)

W czasie montażu temperatura ładunku foliowego powinna wynosić od +5 °C do + 25 °C

<sup>\*)</sup> schłodzić ładunek do temperatury 15 °C

### 2.2.2 Hilti HIT-RE 500: żywica wolno wiążąca

Hilti HIT-RE 500 jest żywicą iniekcyjną o wysokiej wytrzymałości do wklejania prętów zbrojeniowych i gwintowanych. Odnacza się ona następującymi innowacyjnymi zaletami:

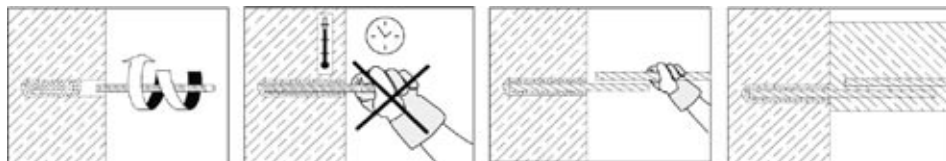
#### Niezawodność:

- Bardzo wytrzymała w całym zakresie średnic pręta zbrojeniowego
- Pomijalny skurcz
- Nadaje się do prawie wszystkich wierconych otworów (na przykład przy użyciu wiertel diamentowych)
- Dobra przyczepność w ponadwymiarowych i wilgotnych otworach
- Czerwony kolor ułatwiający kontrolę na placu budowy

#### Komfort:

- Wypróbowane, samootwierające się opakowanie foliowe
- Niewielki nakład siły przy dozowaniu, dzięki czemu praca przebiega szybciej i dokładniej
- Bezzapachowa żywica

## Czasy żelowania i utwardzania żywicy Hilti HIT-RE 500



| Temperatura podłoża |       | t <sub>work</sub> / t <sub>gel</sub><br>Osadzenie prętów<br>zbrojeniowych | t <sub>cure,ini</sub><br>Wstępny czas<br>utwardzania | t <sub>cure,full</sub><br>Zbrojenie<br>i betonowanie | Nośność<br>projektowana                 |
|---------------------|-------|---|--|--|---|
| -5°C                | 23°F  | 4 h   | 36 h   | 72 h   | Wg pkt. 3<br>niniejszego<br>podręcznika |
| 0°C                 | 32°F  | 3 h   | 25 h   | 50 h   |   |
| 10°C                | 50°F  | 2 h   | 12 h   | 24 h   |   |
| 20°C                | 70°F  | 30 min  | 6 h  | 12 h   |   |
| 30°C                | 85°F  | 20 min  | 4 h  | 8 h  |   |
| 40°C                | 104°F | 12 min  | 2 h  | 4 h  |   |

**Uwagi:**

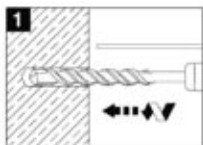
Wszystkie czasy są liczone od chwili przejścia przez mieszacz.

W czasie od t<sub>cure,ini</sub> do t<sub>cure,full</sub> można dalej pracować (ok. 25 % pełnej obciążalności).

Pełna obciążalność po t<sub>cure,full</sub>.

## 2.3 Instrukcja osadzania

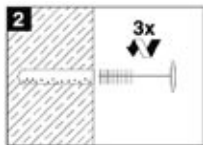
## 2.3.1 Przy płytkich głębokościach wklejania (do ok. 30 cm)

**Wiercenie otworów:**

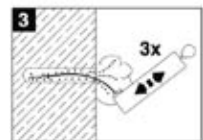
- Do wiercenia używać elektrycznego lub pneumatycznego młotka udarowego lub wiertarki z udarem elektropneumatycznym.

**Tylko dla Hilti HIT-RE 500:**

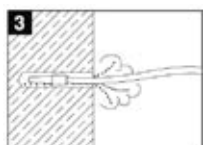
- Dodatkowo można zastosować wiertnicę diamentową

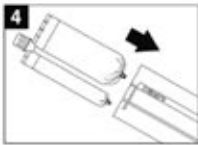
**Czyszczenie wywierconego otworu**

- Wywiercony otwór oczyścić bezpośrednio przed iniekcją
- Wyszczotkować wywiercony otwór
- Usunąć pył i wodę z wywierconego otworu przez wydmuchanie
- Wywiercony otwór nie może zawierać lodu ani oleju / tłuszczu

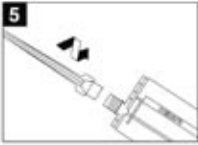
**Tylko dla Hilti HIT-HY 150**

- Wywiercony otwór musi być szorstki i suchy

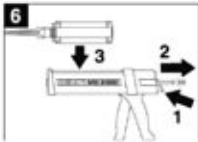



**Ładunek foliowy:**

- Sprawdzić ładunek foliowy, czy nie jest uszkodzony
- Wprowadzić ładunek foliowy do kasety
- W czasie aplikacji temperatura ładunku foliowego powinna wynosić powyżej +5 °C


**Mieszacz**

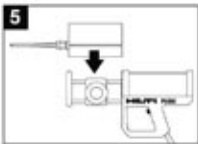
- Nakręcić odpowiedni mieszacz
- Sprawdzić, czy jest zamontowana spirala mieszacza. W żadnym razie nie przerabiać mieszacza.


**Ładunek foliowy:**

- Włożyć ładunek foliowy w kasie do dozownika

**Duży ładunek**

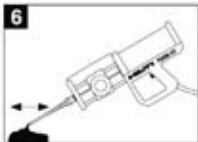
- Włożyć duży ładunek do dozownika


**Ładunek foliowy:**

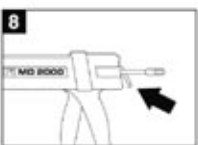
- Wyrzucić żywicę z pierwszych kilku suwów<sup>\*)</sup>, np. do pustego opakowania foliowego

**Duży ładunek**

- Wyrzucić żywicę z pierwszego wyciśnięcia<sup>\*)</sup>.

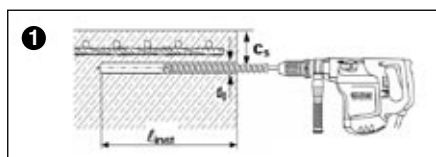


<sup>\*)</sup> wyrzucaną ilość podano na ulotce załączonej do opakowania

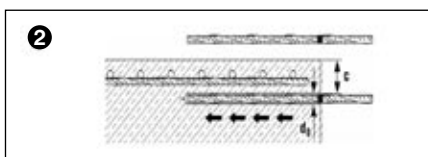

**Odprężyć dozownik**

- Nacisnąć dźwignię odprężającą (MD 2000 / 2500 i BD 2000 / ED 3500), gdy w wywierconym otworze znajdzie się odpowiednia ilość żywicy.  
W ten sposób następuje odciążenie ładunku foliowego i przerwanie wypływu żywicy z mieszacza

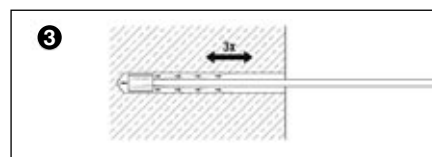
## 2.3.2 Standardowe wklejanie prętów zbrojeniowych (głębokość pow. 30 cm)



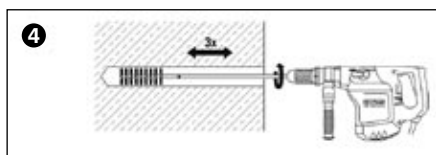
Określić położenie istniejącego zbrojenia. Zachować odległość od krawędzi  $c_s$  zgodnie z projektem zbrojenia. Zachować kierunek wiercenia równoległy do zewnętrznej krawędzi istniejącego zbrojenia.



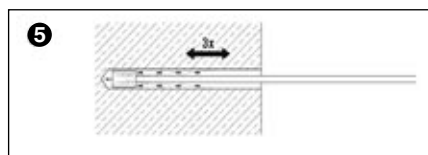
Zaznaczyć głębokość osadzenia na pręcie ( $l_{inst}$ ). Sprawdzić głębokość wywierconego otworu ( $l_{inst}$ ) i czy pręt daje się łatwo włożyć.



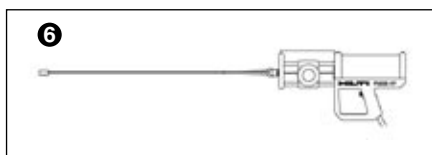
Wywiercony otwór przedmuchać niezaolejonym, sprężonym powietrzem. Posłużyć się w tym celu dyszą powietrza (sprężone powietrze  $\geq 6$  bar lub 90 psi).



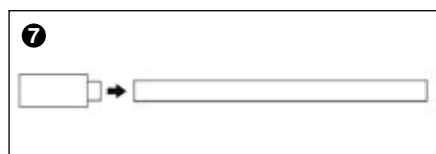
Wywiercony otwór oczyścić okrągłą szczotką. Zależnie od głębokości otworu posłużyć się przedłużką.



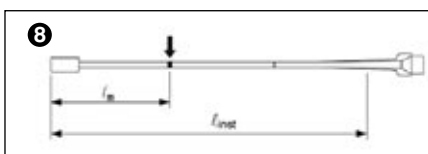
Wywiercony otwór kontrolnie przedmuchać niezaolejonym sprężonym powietrzem.



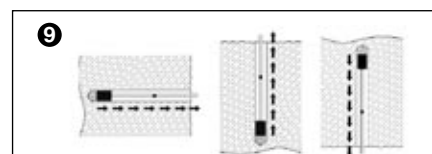
Wybrać przedłużkę mieszacza odpowiednią do głębokości wywierconego otworu.



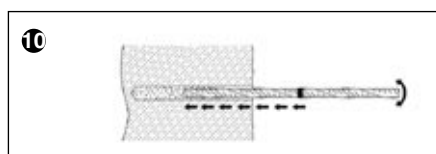
Końcówkę iniekcyjną nasadzić mocno na przedłużkę mieszacza



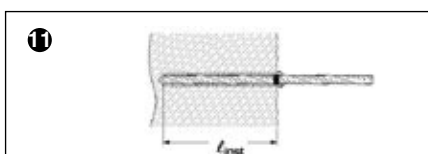
Na przedłużce mieszacza zaznaczyć głębokość iniekcji ( $l_m$ ).



Ostrożnie wstrzyknąć żywicę tak, by nie powstały pęcherzyki powietrza. Posuwać się przy tym od dna otworu na zewnątrz.



W wywiercony otwór włożyć pręt zbrojeniowy, ruchem wręczającym



Kontrola osadzenia:

- Wokół wywierconego otworu widać wypłynięcie żywicy
- Znacznik głębokości osadzenia pokrywa się z powierzchnią betonu

### Zalecana maksymalna głębokość wierconego otworu dla dozowników:

| max $l_{inst}$ [cm]         |                |       | Zastosowanie przedłużek i końcówek iniekcyjnych: |
|-----------------------------|----------------|-------|--|
| MD2000/ 2500<br>P3000/ 3500 | BD2000/ED 3500 | P5000 |  |
| 70                          | 70             |       | HIT-VL 9/1,0 dla średnic od 10 do 12 mm włącznie |
|                             |                | 200   | HIT-VL 16/0,7 dla średnic większych niż 12 mm    |

### 3 Projektowanie zakotwień prętów zbrojeniowych przy użyciu żywicy iniekcyjnej Hilti HIT

#### 3.1 Ogólne założenia

##### 3.1.1 Ogólne zasady projektowania

Zbrojenie musi być tak zakotwione, by siła działająca w stali była w pełni przenoszona do istniejącego elementu budowlanego bez rozłupania lub odłupania betonu. Należy przy tym uwzględnić wpływ grubości otuliny betonowej, odległości między prętami i zbrojenia poprzecznego.

Do kotwienia iniekcyjnego można stosować tylko pręty o prostych końcach. W przypadkach gdy zabetonowane pręty wygięte (tworzące haki), zastąpiono prętami kotwionymi iniekcyjnie, połączenie musi być starannie zaprojektowane. W tym celu opracowano specjalne algorytmy opisane w tym rozdziale. Na ogół postępuje się zgodnie z ogólnymi regułami odnoszącymi się do żelbetu. Przydatność i poprawność przyjętych rozwiązań trzeba udowodnić.

Szczególną uwagę należy zwrócić na przenoszenie sił przez zakotwienie w istniejącym elemencie budowlanym zgodnie z regułami budownictwa żelbetowego. Ostatecznie to projektant konstrukcji nośnej odpowiada za ogólny przepływ sił i globalną równowagę w elemencie budowlanym.

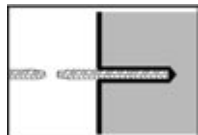
##### 3.1.2 Przenoszenie sił poprzecznych (zalecenie szorstkiej powierzchni styku starego i nowego betonu)

W budownictwie żelbetowym pręty zbrojeniowe służą tylko do przejmowania sił osiowych (rozciągających lub ściskających).

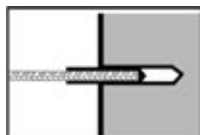
Przenoszenie sił poprzecznych odwzorowuje się na modelu symulacyjnym kratownicy, przy czym ukośna siła ściskająca jest przenoszona przez beton poprzez szorstką szczelinę, a składowa rozciągająca – przez stal. Więcej szczegółów na ten temat podano w dodatku A1.

##### 3.1.3 Rozważane rodzaje zniszczeń

Zniszczenie pręta:

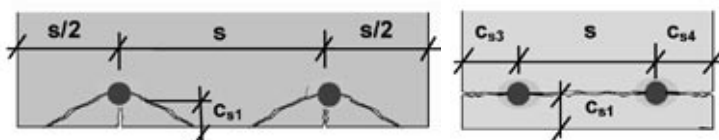


Zniszczenie żywicy:



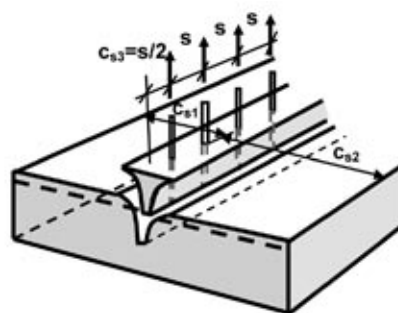
patrz tabela 3.2

Zniszczenie betonu:



a) Rozłupanie (odłupanie) betonu lub odwarstwienie

patrz tabela 3.3 a+b



b) Ścięcie lub wyłamanie stożka betonu

patrz tabela 3.5 a+b

**Do obliczeń wg. decydującego modelu zniszczenia proszę stosować program EXBAR**

<sup>1)</sup> Hilti EXBAR Rebar Design: Arkusz kalkulacyjny Excel do obliczania zakotwień prętów zbrojeniowych.

## 3.2 Podstawowe wartości dla betonu (bez uwzględnienia odległości od krawędzi i rozstawu między prętami)

### 3.2.1 Wartości obliczeniowe dla żywicy i stali

- Podstawowa długość kotwienia jest to długość wymagana do przeniesienia na podłoże siły odpowiadającej obliczeniowej nośności stali na rozciąganie na granicy plastyczności. Przyjmuje się przy tym stałe naprężenie ścinające spoiny na całej długości zakotwienia w stanie granicznym nośności.
- Wartości podane w tabeli 3.2 obowiązują w warunkach znormalizowanych. Dla dopasowania do konkretnego przypadku mnoży się je przez współczynniki wpływu zamieszczone w tabelach 3.2a do d.
- Podstawową długość zakotwienia określa się bez uwzględnienia wpływu odległości od krawędzi i rozstawów między prętami ani też stanów obciążenia. Służy ona jako wartość wyjściowa do dalszych obliczeń wytrzymałości spoiny połączenia, którą program EXBAR wykorzystuje dla porównania wytrzymałości betonu i stali.

**Tabela 3.2:**  $\ell'_{b0}$  [cm] podstawowa długość zakotwienia na granicy plastyczności stali bez uwzględnienia odległości od krawędzi i między prętami (stal zbrojeniowa według EC 2 w betonie C20/25)

|    |  |  |       |       |       |       |       |       |   |       |       |       |
|----|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|
| 1  | Średnica pręta zbrojeniowego Ø [mm]  |  | 10    | 12    | 14    | 16    | 20    | 25    | 28  | 32    | 36    | 40    |
| 2  | Średnica wierconego otworu D <sub>0</sub> [mm]   |  | 12-14 | 16-18 | 18-20 | 20-22 | 25-28 | 30-32 | 35-37   | 39-42 | 42-46 | 48-52 |
| 3  | Przekrój pręta A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]   |  | 79    | 113   | 154   | 201   | 314   | 491   | 616   | 804   | 1018  | 1257  |
| 4  | Obliczeniowa siła rozciągająca na granicy plastyczności stali <sup>1)</sup> F <sub>yd,s</sub> [kN] |  | 34    | 49    | 67    | 87    | 137   | 213   | 268   | 350   | 443   | 547   |
| 5  | HIT-HY 150 <sup>2)</sup>   | Długość zakotwienia l' <sub>bo</sub> [cm]                        | 22    | 29    | 37    | 44    | 61    | 90    | Dla prętów o średnicy ponad 25 mm zaleca się stosowanie żywicy Hilti HIT-RE 500 |       |       |       |
| 6  |  | jako wielokrotność Ø   | 22    | 24    | 27    | 28    | 31    | 36    |   |       |       |       |
| 7  |  | Naprężenie ścinające w żywicy <sup>4)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ] | 5,0   | 4,5   | 4,1   | 3,9   | 3,5   | 3,0   |   |       |       |       |
| 8  | HIT-RE 500 <sup>2)</sup>   | Długość zakotwienia l' <sub>bo</sub> [cm]                        | 16    | 19    | 22    | 25    | 31    | 39    | 50  | 62    | 76    | 91    |
| 9  |  | jako wielokrotność Ø   | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    | 18  | 19    | 21    | 23    |
| 10 |  | Naprężenie ścinające w żywicy <sup>4)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ] | 6,9   | 6,9   | 6,9   | 6,9   | 6,9   | 6,9   | 6,0   | 5,6   | 5,2   | 4,8   |

1)  $F_{yds} = \varnothing^2 \times \pi/4 \times f_{yk}/\gamma_{ms}$ ,  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ ;  $\gamma_{ms} = 1,15$

2) Suchy, uszorstniony i oczyszczony otwór w chwili montażu,  $\gamma_b = 1,5$  (częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla żywicy)

3) Beton nienasycony wodą w chwili montażu, wywiercony otwór oczyszczony,  $\gamma_b = 1,8$  (częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla połączenia)

4) Wartość obliczeniowa

**Tabela 3.2a**  $f_{B,N}$

Wpływ wytrzymałości betonu

| Klasa betonu | Hilti HIT-HY 150 | Hilti HIT-RE 500 |
|--------------|------------------|------------------|
| 1 C20/25     | 1,00             | 1,00             |
| 2 C25/30     | 0,91             | 0,98             |
| 3 C30/37     | 0,82             | 0,95             |
| 4 C35/45     | 0,82             | 0,93             |
| 5 C40/50     | 0,82             | 0,89             |
| 6 C45/55     | 0,82             | 0,87             |

**Tabela 3.2b**  $f_{Temp}$

Wpływ temperatury

| Temp. podłoża |       | Hilti HIT-RE 500<br>Podczas kotwieniaPodczas eksploatacji |      |
|---------------|-------|---|------|
| 1             | - 5°C | 1,25  | –    |
| 2             | 0°C   | 1,10  | –    |
| 3             | 5°C   | 1,00  | –    |
| 4             | 50°C  | –   | 1,00 |
| 5             | 60°C  | –   | 1,15 |

**Tabela 3.2c**  $f_{crack}$

Wpływ pęknięć w kierunku równoległym do pręta

| Hilti HIT-HY 150 | Hilti HIT-RE 500 |
|------------------|------------------|
| 1 2,0            | 1,5              |

**Tabela 3.2d**  $f_{w,sat}$   
Beton nasycony wodą

| Hilti HIT-HY 150 | Hilti HIT-RE 500 |
|------------------|------------------|
| 1 nie podany     | 1,4              |

Czynniki wpływające na połączenie:

Podstawowa długość zakotwienia  $\ell'_{b0}$  w następujący sposób dostosowuje się przy uwzględnieniu wyżej podanych współczynników:  $\ell_{b0} = \ell'_{b0} \cdot f_{B,N} \cdot f_{Temp} \cdot f_{crack} \cdot f_{w,sat}$



### 3.2.2 Uwzględnienie rzeczywistej siły działającej w pręcie

Wymaganą długość zakotwienia dla przenoszenia siły rozciągającej na granicy plastyczności stali  $F_{yd,s}$  podano w tabeli 3.2. Gdy rzeczywista siła działająca w pręcie nie osiąga granicy plastyczności, długość zakotwienia można proporcjonalnie zmniejszyć według następującego wzoru:

$$\ell_{ef, wymagana} = \ell_{b,y} \cdot \frac{F_{d, wymagana}}{F_{yd,s}}; (F_{d, wymagana} \leq F_{yd,s})$$

## 3.3 Standardowe sytuacje projektowe

### 3.3.1 Zakotwienie „w strefie, w której pręt nie jest już wymagany do przenoszenia siły”

Skrajna podpora, podparcie przegubowe

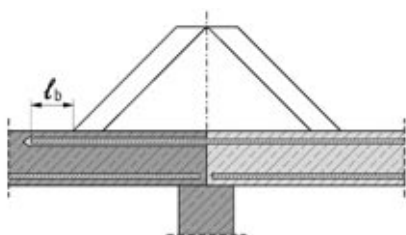
Dla górnej warstwy zbrojenia: patrz punkt 3.5.

Dla połączenia dolnego: są możliwe dwie alternatywne metody

a) według Normy: {punkt 5.4.2.14., EC 2: 1992}

b) obliczenie siły rozciągającej według modelu symulacyjnego kratownicy, określenie podstawowej długości zakotwienia według punktu 3.2, sprawdzenie wytrzymałości na rozłupanie betonu na bocznych powierzchniach

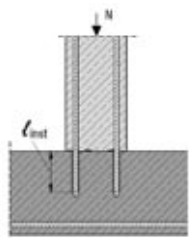
#### Zbrojenie stopniowane



Obliczenia według Normy: pokrycie siły rozciągającej/warunki geometryczne {Punkt 5.4.2.1.3, EC 2, 1992}

Uwaga: Przepis ten obejmuje także wzajemne przemieszczenie wynikające z siły poprzecznej.

#### Kotwienie prętów ściskanych



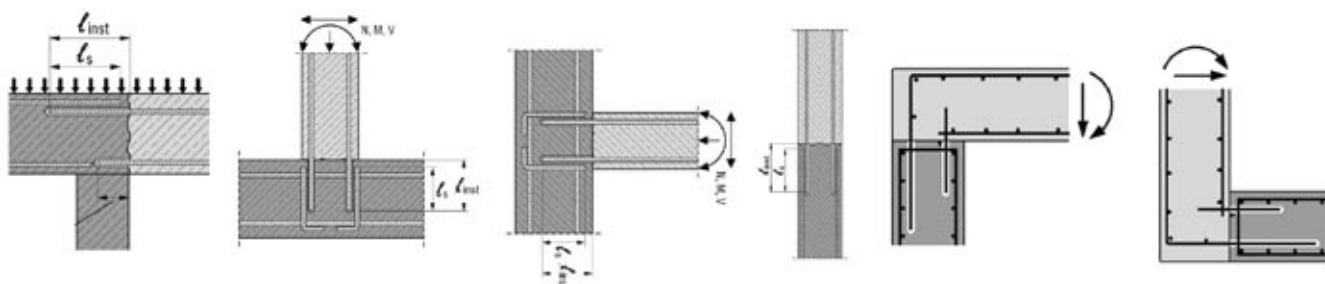
Sprawdzenie płyty na przebicie przy maksymalnym obciążeniu.

Przy kotwieniu prętów są możliwe dwie alternatywne metody:

a) według Normy: {punkt 5.2.3.4, EC 2:1992}

b) obliczenie siły działającej w pręcie określenie podstawowej długości zakotwienia według punktu 3.2, gdy pręt przebiega w pobliżu krawędzi: sprawdzenie wytrzymałości na rozłupanie betonu według punktu 3.3.3.

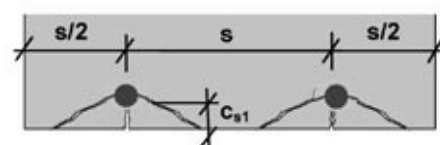
### 3.3.2 Pręt kotwiony wklejany na zakład z prętem zabetonowanym



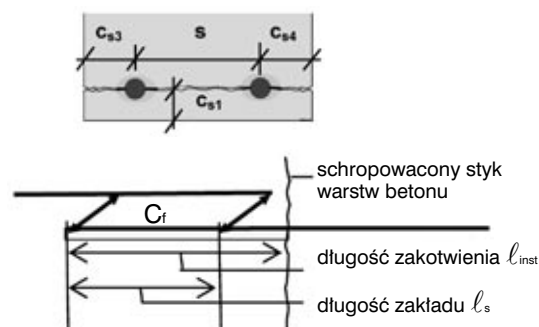
#### Sposób postępowania:

- Wklejane pręty:

Określenie długości zakotwienia  $\ell_b = \ell_{inst}$  wklejanego pręta metodą Hilti EXBAR Rebar Design<sup>1)</sup> (rozłupanie betonu)



- Zabetonowane pręty:
  - Określenie długości zakładu  $\ell_s$  – według normy {EC 2, punkt 5.2.4} – lub metodą Hilti EXBAR Rebar Design<sup>1)</sup> (rozłupanie betonu) według ACI 318
  - Uwzględnienie odległości między zachodzącymi na siebie prętami (w zakładzie odległość „a” > 4  $\varnothing$ ) według modelu symulacyjnego kratownicy oraz  $C_i$  (otulina betonowa po stronie czołowej)
- Wyznaczenie decydującej, większej wartości  $\ell_s$  spośród max. {zabetonowany, wklejony}



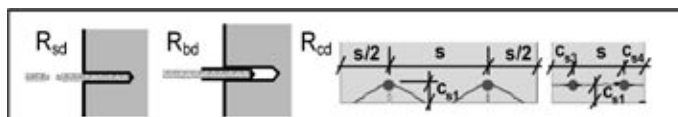
### 3.3.3 Typowe tabele odnoszące się do rozłupania i odwarstwienia betonu

Typowa tabela 3.3a

Hilti HIT-HY 150

Obliczeniowe obciążenie niszczące działające na pręt

$\min\{R_{sd}; R_{bd}; R_{cd}\}$



|    |   |   |                                    |                    |       |       |       |        |        |       |       |       |
|----|---|---|------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 1  | Średnica pręta zbrojenowego   |   | Ø                                  | [mm]               | 10    | 12    | 14    | 16     | 20     | 25    |       |       |
| 2  | Średnica wierconego otworu  |   | D <sub>0</sub>                     | [mm]               | 12-14 | 16-18 | 18-20 | 20-22  | 25-28  | 30-32 |       |       |
| 3  | Przekrój pręta  |   | A <sub>s</sub>                     | [mm <sup>2</sup> ] | 78,5  | 113   | 154   | 201    | 314    | 491   |       |       |
| 4  | Obliczeniowa siła rozciągająca na granicy plastyczności stali <sup>1)</sup>   |   | F <sub>yd, s</sub>                 | [kN]               | 34,1  | 49,2  | 66,9  | 87,4   | 136,6  | 213,4 |       |       |
| 5  | Postawowe parametry obliczeniowe <sup>2)</sup>  | Długość zakotwienia   | ℓ <sub>b0</sub>                    | [cm]               | 22    | 29    | 37    | 44     | 61     | 90    |       |       |
| 6  |   | jako wielokrotność Ø  |                                    |                    | 22    | 24    | 27    | 28     | 31     | 36    |       |       |
| 7  |   | Obliczeniowe naprężenie ścinające w żywicy [N/mm <sup>2</sup> ] |                                    |                    | 5,0   | 4,5   | 4,1   | 3,9    | 3,5    | 3,0   |       |       |
| 8  | Min. odległości od krawędzi/rozstaw prętów  |   | c <sub>s1</sub> /s                 | cm                 | 4,5/9 | 4,5/9 | 5/10  | 5,5/11 | 6,5/13 | 8/16  |       |       |
| 9  | Podstawowa długość zakotwienia  |   | ℓ <sub>b</sub>                     | cm                 | 22    | 29    | 37    | 44     | 61     | 90    |       |       |
| 10 | <div>Stal żebrowana o wysokiej przyczepności, f<sub>yk</sub>=500 N/mm<sup>2</sup><br/>Klasa betonu C20/25<br/>Obliczeniowe obciążenie niszczące<sup>3)</sup> w [kN]<br/>Istotniejsza wartość spośród tych dla stali, żywicy i rozłupania betonu</div> |   | Długość zakotwienia ℓ <sub>b</sub> |                    | 10    | cm    | 15, 8 |        |        |       |       |       |
| 11 |   |   |                                    |                    | 12    | cm    | 18,9  | 20,2   |        |       |       |       |
| 12 |   |   |                                    |                    | 14    | cm    | 22,1  | 23,6   | 25,0   |       |       |       |
| 13 |   |   |                                    |                    | 16    | cm    | 25,2  | 27,0   | 28,6   | 31,6  |       |       |
| 14 |   |   |                                    |                    | 18    | cm    | 28,4  | 30,3   | 32,2   | 35,6  |       |       |
| 15 |   |   |                                    |                    | 20    | cm    | 31,5  | 33,7   | 35,8   | 39,5  | 44,6  |       |
| 16 |   |   |                                    |                    | 22    | cm    | 34,1  | 37,1   | 39,3   | 43,5  | 49,1  |       |
| 17 |   |   |                                    |                    | 25    | cm    |       | 42,1   | 44,7   | 49,4  | 55,8  | 59,6  |
| 18 |   |   |                                    |                    | 30    | cm    |       | 49,2   | 53,6   | 59,3  | 66,9  | 71,5  |
| 19 |   |   |                                    |                    | 35    | cm    |       |        | 62,6   | 69,2  | 78,1  | 83,5  |
| 20 |   |   |                                    |                    | 40    | cm    |       |        | 66,9   | 79,1  | 89,2  | 95,4  |
| 21 |   |   |                                    |                    | 45    | cm    |       |        |        | 87,4  | 100,4 | 107,3 |
| 22 |   |   |                                    |                    | 50    | cm    |       |        |        |       | 111,5 | 119,2 |
| 23 |   |   |                                    |                    | 55    | cm    |       |        |        |       | 122,7 | 131,1 |
| 24 |   |   |                                    |                    | 60    | cm    |       |        |        |       | 133,8 | 143,1 |
| 25 |   |   |                                    |                    | 70    | cm    |       |        |        |       | 136,6 | 166,9 |
| 26 |   |   |                                    |                    | 80    | cm    |       |        |        |       |       | 190,7 |
| 27 |   |   |                                    |                    | 90    | cm    |       |        |        |       |       | 213,4 |

<sup>1)</sup>  $F_{yd,s} = \varnothing^2 \times \pi/4 \times f_{yk}/\gamma_{ms}$ ,  $f_{yk}=500$  N/mm<sup>2</sup>;  $\gamma_{ms}=1,15$

<sup>2)</sup> Suchy, uszorstniony i oczyszczony otwór w chwili montażu,  $\gamma_b = 1,5$  (częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla połączenia)

<sup>3)</sup> Wartości obciążenia mogą być liniowo interpolowane i ekstrapolowane aż do osiągnięcia podstawowej długości zakotwienia

Przy odmiennych warunkach brzegowych:

**Arkusz kalkulacyjny Excel do obliczania zakotwień prętów zbrojeniowych na żywice, EC2**

<sup>1)</sup> Hilti EXBAR Rebar Design: Arkusz kalkulacyjny Excel do obliczania zakotwień prętów zbrojeniowych na żywice

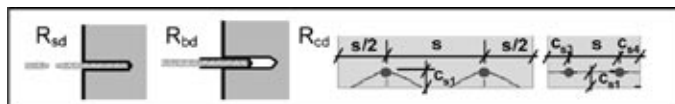


**Typowa tabela 3.3b**

**Hilti HIT-RE 500**

**Obliczeniowe obciążenie niszczące działające na 1 pręt**

$\text{Min}\{R_{sd}; R_{bd}; R_{cd}\}$



|    |   |  |  |                    |       |       |       |       |       |         |         |       |       |       |       |       |
|----|---|--|--|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | Średnica pręta  |  | Ø  | [mm]               | 10    | 12    | 14    | 16    | 20    | 25      | 28      | 32    | 36    | 40    |       |       |
| 2  | Średnica wierconego otworu  |  | D <sub>0</sub>                           | [mm]               | 12-14 | 16-18 | 18-20 | 20-22 | 25-28 | 30-32   | 35-37   | 39-42 | 42-46 | 48-52 |       |       |
| 3  | Przekrój pręta  |  | A <sub>s</sub>                           | [mm <sup>2</sup> ] | 79    | 113   | 154   | 201   | 314   | 491     | 616     | 804   | 1018  | 1257  |       |       |
| 4  | Obliczeniowa siła rozciągająca na granicy plastyczności stali <sup>1)</sup>   |  | F <sub>yd,s</sub>                        | [kN]               | 34,1  | 49,2  | 66,9  | 87,4  | 136,6 | 213,4   | 267,7   | 349,7 | 442,6 | 546,4 |       |       |
| 5  | Podstawowe parametry obliczeniowe <sup>2)</sup>   | Długość zakotwienia  | ℓ' <sub>bo</sub>                         | [cm]               | 16    | 19    | 22    | 25    | 31    | 39      | 50      | 62    | 76    | 91    |       |       |
| 6  |   | jako wielokrotność Ø   |  |                    |       | 16    | 16    | 16    | 16    | 16      | 16      | 18    | 19    | 21    | 23    |       |
| 7  |   | <sup>4)</sup> Naprężenie ścinające w żywicy [N/mm <sup>2</sup> ] |  |                    |       | 6,9   | 6,9   | 6,9   | 6,9   | 6,9     | 6,9     | 6,0   | 5,6   | 5,2   | 4,8   |       |
| 8  | Min. odległości od krawędzi/rozstawu prętów   |  | C <sub>s1</sub> /S                       | cm                 | 5/10  | 6/12  | 7/14  | 8/16  | 10/20 | 12,5/25 | 12,5/25 | 15/30 | 15/30 | 15/30 |       |       |
| 9  | Podstawowa długość zakotwienia  |  | ℓ <sub>b</sub>                           | cm                 | 18    | 21    | 25    | 28    | 38    | 56      | 69      | 75    | 93    | 113   |       |       |
| 10 | <b>Stal żebrowana o wysokiej przyczepności, f<sub>yk</sub>=500 N/mm<sup>2</sup></b><br>Klasa betonu C20/25<br><b>Obliczeniowe obciążenie niszczące<sup>3)</sup> i<sub>n</sub> [kN]</b><br>Istotniejsza wartość spośród tych dla stali, żywicy i rozłupania betonu |  | <b>Długość zakotwienia ℓ<sub>b</sub></b> |                    | 10    | cm    | 19,2  |       |       |         |         |       |       |       |       |       |
| 11 |   |  |  |                    | 12    | cm    | 23,1  | 27,7  |       |         |         |       |       |       |       |       |
| 12 |   |  |  |                    | 14    | cm    | 26,9  | 32,3  | 37,6  |         |         |       |       |       |       |       |
| 13 |   |  |  |                    | 16    | cm    | 30,7  | 36,9  | 43,0  | 49,2    |         |       |       |       |       |       |
| 14 |   |  |  |                    | 18    | cm    | 34,1  | 41,5  | 48,4  | 55,3    |         |       |       |       |       |       |
| 15 |   |  |  |                    | 20    | cm    |       | 46,1  | 53,8  | 61,5    | 71,5    |       |       |       |       |       |
| 16 |   |  |  |                    | 22    | cm    |       | 49,2  | 59,2  | 67,6    | 78,7    |       |       |       |       |       |
| 17 |   |  |  |                    | 25    | cm    |       |       | 66,9  | 76,8    | 89,4    | 96,0  |       |       |       |       |
| 18 |   |  |  |                    | 30    | cm    |       |       |       | 87,4    | 107,3   | 115,3 | 117,2 |       |       |       |
| 19 |   |  |  |                    | 35    | cm    |       |       |       |         | 125,2   | 134,5 | 136,8 | 162,9 |       |       |
| 20 |   |  |  |                    | 40    | cm    |       |       |       |         | 136,6   | 153,7 | 156,3 | 186,2 | 189,7 | 193,2 |
| 21 |   |  |  |                    | 45    | cm    |       |       |       |         |         | 172,9 | 175,8 | 209,4 | 213,4 | 217,3 |
| 22 |   |  |  |                    | 50    | cm    |       |       |       |         |         | 192,1 | 195,4 | 232,7 | 237,1 | 241,5 |
| 23 |   |  |  |                    | 55    | cm    |       |       |       |         |         | 211,3 | 214,9 | 256,0 | 260,8 | 265,6 |
| 24 |   |  |  |                    | 60    | cm    |       |       |       |         |         | 213,4 | 234,5 | 279,2 | 284,5 | 289,8 |
| 25 |   |  |  |                    | 70    | cm    |       |       |       |         |         |       | 267,7 | 325,8 | 331,9 | 338,1 |
| 26 |   |  |  |                    | 80    | cm    |       |       |       |         |         |       |       | 349,7 | 379,3 | 386,4 |
| 27 |   |  |  |                    | 90    | cm    |       |       |       |         |         |       |       |       | 426,8 | 434,7 |
| 28 |   |  |  |                    | 100   | cm    |       |       |       |         |         |       |       |       | 442,6 | 483,0 |
| 29 |   |  |  |                    | 110   | cm    |       |       |       |         |         |       |       |       |       | 531,3 |
| 30 |   |  |  |                    | 120   | cm    |       |       |       |         |         |       |       |       |       | 546,4 |

<sup>1)</sup>  $F_{yd,s} = \sigma^2 \times \pi/4 \times f_{yk}/\gamma_{ms}$ ,  $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$ ;  $\gamma_{ms}=1,15$

<sup>2)</sup> Uwzględnić minimalne odległości od krawędzi i między prętami

<sup>3)</sup> Obowiązuje dla temperatury użytkowej poniżej +50°C

– czysty wywiercony otwór i temperatura podłoża ponad 5 °C w chwili montażu

– dla betonu nasyconego wodą podczas montażu: długość zakotwienia pomnożyć przez współczynnik 1,4

– Wartości obciążenia mogą być liniowo interpolowane i ekstrapolowane aż do osiągnięcia podstawowej długości zakotwienia

– Częściowe współczynniki bezpieczeństwa  $\gamma_s=1,15$  i  $\gamma_b=1,8$  (w odniesieniu do wartości charakterystycznych).

<sup>4)</sup> Wartość obliczeniowa

Przy odmiennych warunkach brzegowych:

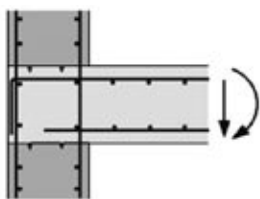
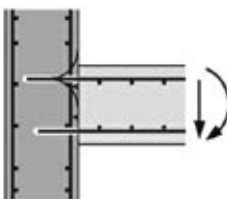
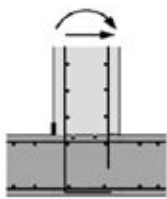
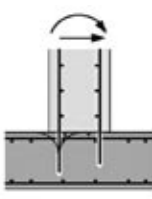
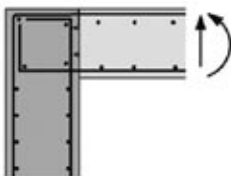
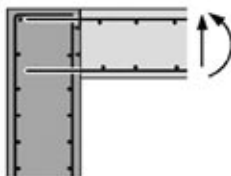

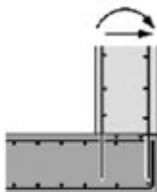
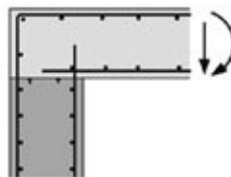
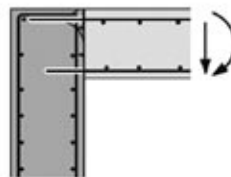
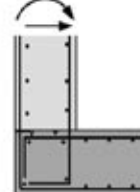
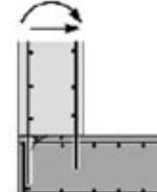
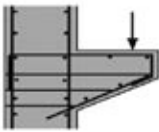
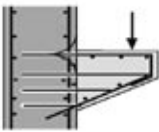
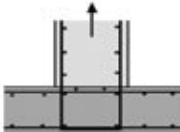
**Arkusz kalkulacyjny Excel do obliczania zakotwień prętów zbrojeniowych na żywice, EC2**

### 3.4 Przypadki specjalne

Rozdział ten omawia zastosowania, w których zabetonowane pręty zostały wygięte, by przenosić siły rozciągające na inne pręty lub by zakotwić je w strefie ściskanej. Pręty wklejone na żywice w wywierconych otworach mogą mieć tylko proste końce. Dlatego w tych przypadkach później wykonywane zbrojone połączenia betonu z betonem wymagają odpowiedniego modelu symulacyjnego strumienia sił w istniejącym elemencie budowlanym według reguł budownictwa żelbetowego. Celem obliczenia jest określenie parametrów zniszczenia elementu budowlanego na zasadzie przełomu ciągłego, a nie kruchego.

Zwraca się uwagę, że poniższe modele stanowią uproszczenia. W każdym poszczególnym przypadku jest niezbędna inżynierska analiza celowości zastosowania.

**Tabela 3.4: Przegląd zastosowań:**

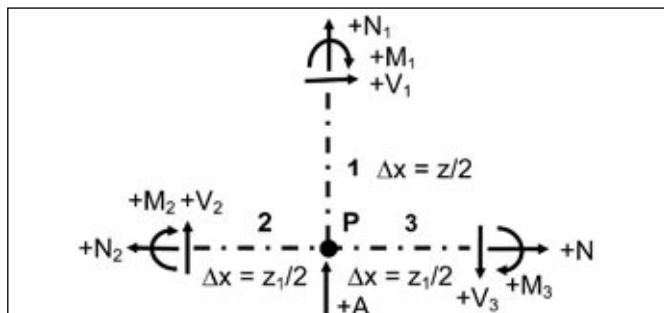
| Punkt  | zabetonowany  | wklejony  | zabetonowany   | wklejony  |
|--|---|---|--|---|
| 3.4.1  |    |    |    |    |
| Węzeł ramy poddany działaniu siły poprzecznej i momentu zginającego                                      |   |   |  |   |
| 3.4.2  |  |  |  |  |
| Narożnik ramy poddany działaniu siły poprzecznej i <b>dodatniego</b> (otwierającego) momentu zginającego |   |   |  |   |
| 3.4.3  |  |  |  |  |
| Narożnik ramy poddany działaniu siły poprzecznej i <b>ujemnego</b> (zamykającego) momentu zginającego    |   |   |  |   |
| 3.4.4  |  |  | 3.4.5  |   |
| Konsole  |   |   | Połączenia rozciągane  |   |

### 3.4.1 Węzeł ramy poddany działaniu momentu zginającego

Objaśnienie testów i wzorów, patrz sprawozdanie<sup>1)</sup>.

**Określenie sił przekrojowych w węźle:**

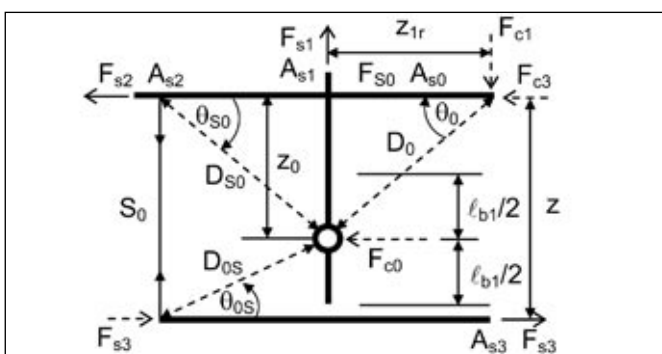
Warunkiem obliczenia jest wewnętrzna równowaga sił przekrojowych w węźle i globalna równowaga w elemencie budowlanym. O rozkładzie sił przekrojowych decyduje sztywność elementu budowlanego oraz warunki podparcia. Normalnie można zastosować obliczenie plastyczne. Należy wykazać równowagę sił w węźle ramy i całym elemencie konstrukcji.



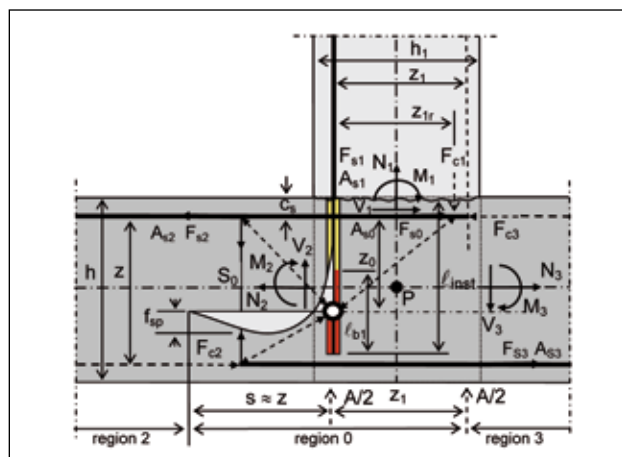
Rys. 3.4a Oznaczenia i symbole sił przekrojowych, kierunki strzałek oznaczają wartości dodatnie.

### Procedura obliczenia (metodą EXBAR Węzeł ramy<sup>2)</sup>)

Określenie i sprawdzenie lokalnej równowagi sił przekrojowych na zewnętrznych powierzchniach węzła względem punktu P:



Rys. 3.4b Drugorzędny model symulujący kratownicy  $0.58 \leq \cot \theta_i \leq 2.0$



*Rvs. 3.4c*

$$\begin{aligned}\Sigma M_p &= M_l + M_2 + M_3 + V_l \cdot \frac{z}{2} + (V_2 + V_3) \cdot \frac{z_l}{2} = 0 \\ \Sigma H &= V_l - N_2 + N_3 = 0 \quad \Sigma V = N_l + V_2 - V_3 + A = 0\end{aligned}$$

**Siły obliczeniowe dla zbrojenia rozciąganego wynoszą:**

$$F_{sld} = \frac{|M_{ld}|}{\kappa \cdot z_l} + N_{ld} \left( l - \frac{l}{2 \cdot \kappa} \right) \leq A_{sl} \cdot f_{yd}, \text{ gdzie } \kappa=1,0 \text{ dla ujemnego momentu, a poza tym } \kappa=0,85$$

$$F_{s2d} = \frac{|M_{2d}|}{\gamma} + \frac{N_{2d}}{\gamma} \leq A_{s2} \cdot f_{yd} \quad ; \quad F_{s3d} = \frac{|M_{3d}|}{\gamma} + \frac{N_{3d}}{\gamma} \leq A_{s3} \cdot f_{yd}$$

$$F_{S0d} = F_{S2d} + \Delta F_{S2d} \leq A_{S0} \cdot f_{yd} \quad \text{gdzie:} \quad \Delta F_{S2d} = \left( M_{ld} + (V_{2d} + V_{3d}) \cdot \frac{z_l}{2} \right) \cdot \left( \frac{1}{z_0} - \frac{1}{z} \right) \cdot V_{ld} \cdot \left( \frac{z_l}{z_0} - l \right)$$

Uwaga: siły oddziałujące na pas  $F_{s0}$  i  $F_{s3}$  muszą być wystarczająco dobrze przenoszone przez zakotwienie w strefie ściskanej elementu budowlanego.

**Zakotwienie  $\ell_{b1}$  i ramię momentu zginającego  $z_0$ :**

$$\ell_{bl} = \frac{F_{Sl,d}}{f_H \cdot \sum u}; \quad f_{bd} \text{ patrz tabela 3.2}; \quad \sum u = \text{obwód wszystkich prętów } A_{s1}; \quad z_0 = h - c_s - \frac{\ell_{bl}}{\gamma}$$

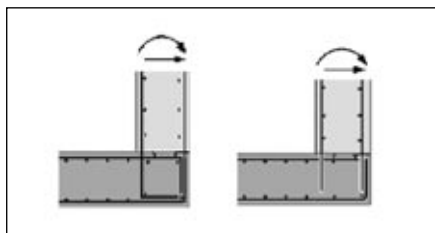
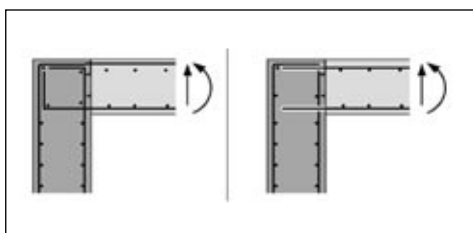
**Siła rozłupująca  $S_0$  dla obliczenia zbrojenia na ścinanie lub zbrojenia krawędziowego przeciwdziałającego rozłupaniu:**

$$S_{0d} = \frac{M_{\text{spd}}}{z_p} = \left( M_{1d} + (V_{2d} + V_{3d}) \cdot \frac{z_1}{2} \right) \cdot \left( 1 - \frac{z_0}{z} \right) \cdot \left( 1 - \frac{\ell_{b1}}{2z} \right) \cdot \frac{2}{z} \leq A_p \cdot f_{yd}$$

**Napięcie rozłupujące  $f_{sp}$  przenoszone przez beton:**

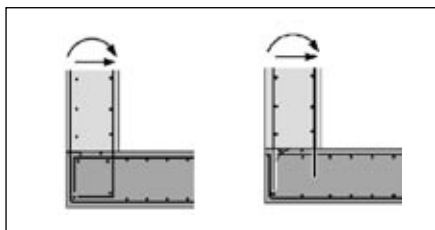
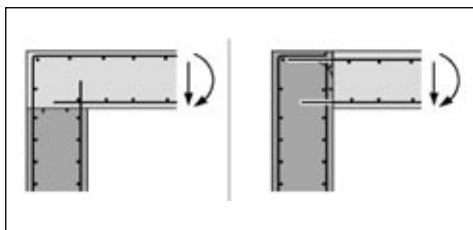
$$f_{spd} \approx \frac{M_{spd}}{W_p} + \frac{V_{2d}}{b \cdot d} = \left( M_{1d} + (V_{2d} + V_{3d}) \cdot \frac{z_1}{2} \right) \cdot \left( 1 - \frac{z_0}{z} \right) \cdot \left( 1 - \frac{\ell_{b1}}{2z} \right) \cdot \frac{2.4}{b \cdot z^2} + \frac{V_{2d}}{b \cdot d} \leq f_{ctd}; \text{ gdzie } f_{ctd} \approx \frac{0.7 \cdot 0.3}{1.8} \cdot f_{ck}^{2/3}$$

- 1) Hilti HIT Reaber Obliczenia : Obliczanie połączeń węzłów ram, kopię można zamówić w Dziale Technicznym Hilti
- 2) Hilti EXBAR Węzeł ramy EC2: Arkusz kalkulacyjny Excel do obliczania węzłów ramy, kopię można zamówić w Dziale Technicznym Hilti

**3.4.2 Narożnik ramy poddany działaniu siły poprzecznej i dodatniego (otwierającego) momentu zginającego**

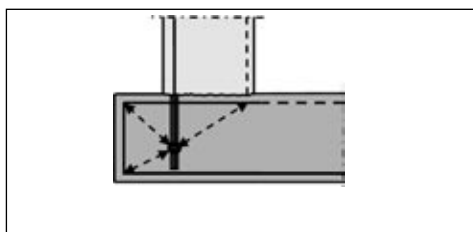
**Metoda z punktu 3.4.1 (EXBAR Węzeł ramy<sup>1)</sup>)**

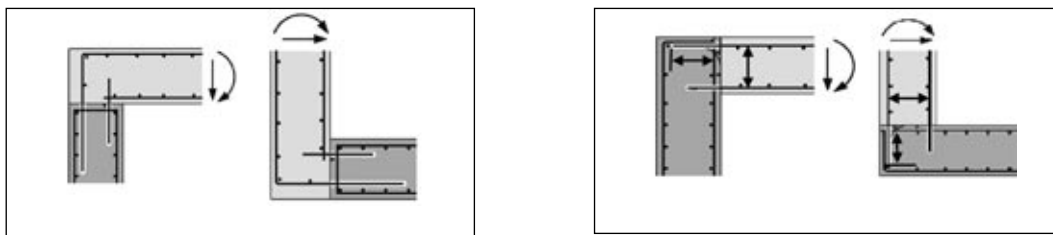
ale:  $M_3 = 0, V_3 = 0, N_3 = 0$

**3.4.3 Narożnik ramy poddany działaniu siły poprzecznej i ujemnego (zamykającego) momentu zginającego****a) Połączenie z wystającym elementem budowlanym:**

**Metoda z punktu 3.4.1 (EXBAR Węzeł ramy<sup>1)</sup>)**

ale:  $M_2 = 0, V_2 = 0, N_2 = 0$



**b) Połączenie na końcu elementu budowlanego (bez występu):**


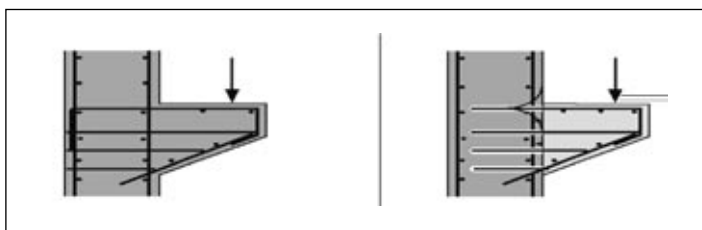
Najprostsze i najbezpieczniejsze wykonanie jako połączenia zakładkowego:

Przy małych obciążeniach można zastosować uproszczony sposób projektowania według punktu 3.5.

By nie dopuścić do rozłupania betonu, trzeba wykazać, że zakotwienie istniejącego zbrojenia jest wystarczająco dobre.

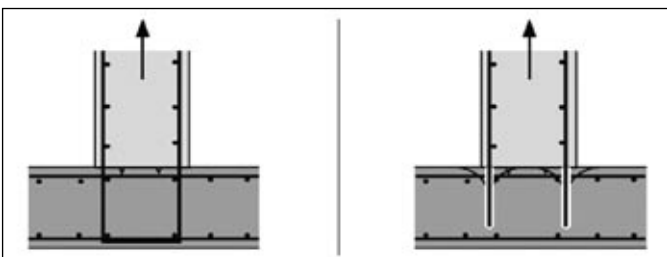
**3.4.4 Wsporniki**

Wklejone zbrojenie pasa i poziome strzemiona mogą być określone według modelu symulacyjnego kratownicy. Długość zakotwienia sprawdzić metodą Hilti EXBAR Rebar Design<sup>2)</sup> (wyłamanie stożka betonu).


**3.4.5 Połączenia rozciągane**

Sprawdzić wytrzymałość na wyłamanie stożka betonu metodą Hilti EXBAR Rebar Design<sup>2)</sup>.

Zwrócić uwagę na powstawanie pęknięć w betonie w kierunku podłużnym do pręta.



1) Hilti EXBAR Węzeł ramy: Arkusz kalkulacyjny Excel do obliczania zakotwień prętów zbrojenia na żywicy w węzłach ramy, Dział Techniczny Hilti.

2) Hilti EXBAR Rebar Design: Arkusz kalkulacyjny Excel do obliczania zakotwień prętów zbrojeniowych na żywicy, Dział Techniczny Hilti.



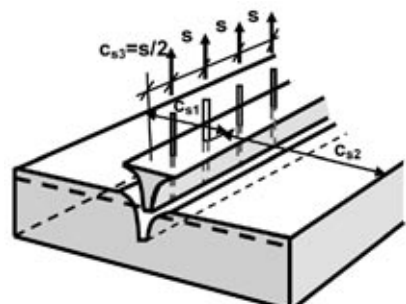
### 3.5 Uproszczona metoda na zasadzie weryfikacji ścinania (wyłamanie stożka betonu)

#### 3.5.1 Uwagi ogólne

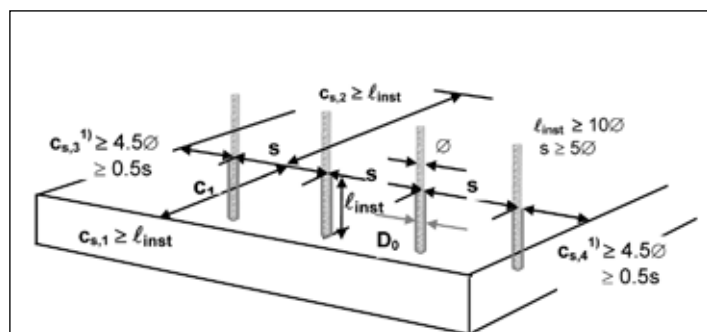
Wklejane na żywicę pręty zbrojeniowe nie mogą być kotwione jak zabetonowane pręty wygięte w hak na końcach. Aby niezbędna długość zakotwienia była możliwie jak najmniejsza, opracowano odpowiednią metodę o nazwie Hilti HIT-Rebar CC. Metoda ta opiera się na modelu kotew i została opisana w Podręczniku techniki kotwienia Hilti.

#### 3.5.2 Zasady obliczania na podstawie tabel 3.5.a i 3.5b

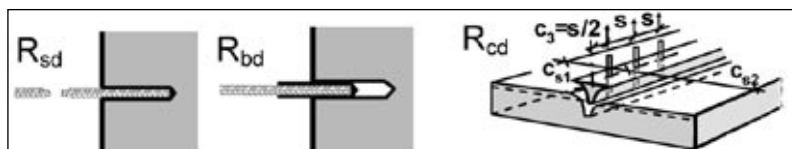
Wytrzymałość pojedynczego pręta z rzędu prętów wynika z najmniejszej spośród trzech wartości wytrzymałości: stali, żywicy i betonu (wyłamanie stożka betonu):

| Min{ $R_{sd}$ ; $R_{bd}$ ; $R_{cd}$ }   |   |   |
|---|---|---|
| Stal  | żywica (wyrwanie kotwy)   | Wyłamanie stożka betonu (ścinanie)  |
| $R_{sd}$<br> | $R_{bd}$<br> | $R_{cd}$<br> |

Dodatkowo oprócz wartości wyszczególnionych w tabelach muszą być spełnione następujące warunki geometryczne:

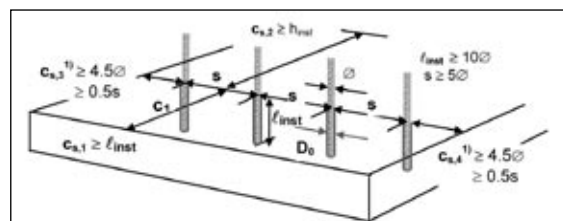


<sup>1)</sup> Gdy  $C_{s,3} < 0,5s$  lub  $C_{s,4} < 0,5s$ : trzeba przewidzieć odpowiednie zbrojenie strefy brzegowej (strzemiona).

**Typowa tabela 3.5a**
**Hilti HIT-HY 150**
 $\min\{R_{sd}; R_{db}; R_{cd}\}$  Obliczeniowe obciążenie pręta


|    |   |   |                    |       |       |       |       |       |       |
|----|---|---|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | Średnica pręta zbrojeniowego  | Ø   | [mm]               | 10    | 12    | 14    | 16    | 20    | 25    |
| 2  | Średnica wierconego otworu  | D <sub>0</sub>  | [mm]               | 12-14 | 16-18 | 18-20 | 20-22 | 25-28 | 30-32 |
| 3  | Przekrój pręta  | A <sub>s</sub>  | [mm <sup>2</sup> ] | 79    | 113   | 154   | 201   | 314   | 491   |
| 4  | Obliczeniowa siła rozciągająca na granicy plastyczności stali <sup>1)</sup>   | F <sub>yd,s</sub>   | [kN]               | 34,1  | 49,2  | 66,9  | 87,4  | 136,6 | 213,4 |
| 5  | Postawowe parametry obliczeniowe <sup>2)</sup>  | Długość zakotwienia   | ℓ <sub>bo</sub>    | 22    | 29    | 37    | 44    | 61    | 90    |
| 6  |   | jako wielokrotność Ø  |                    | 20    | 24    | 27    | 28    | 31    | 36    |
| 7  |   | Obliczeniowe naprężenie ścinające w żywicy [N/mm <sup>2</sup> ] |                    | 5,0   | 4,5   | 4,1   | 3,9   | 3,5   | 3,0   |
| 8  | Min. rozstaw prętów   | s <sub>min</sub>  | cm                 | 18    | 22    | 26    | 29    | 36    | 45    |
| 9  | Podstawowa długość zakotwienia  | ℓ <sub>b</sub>  | cm                 | 22    | 29    | 37    | 44    | 61    | 90    |
| 10 | <b>Stal żebrowana o wysokiej przyczepności,</b><br><b>f<sub>yk</sub> = 500 N/mm<sup>2</sup></b><br>Klasa betonu C20/25<br><br><b>Obliczeniowe obciążenie niszczące<sup>3)</sup> w [kN]</b><br>Istotniejsza wartość spośród tych dla:<br>stali, żywicy i rozłupania betonu | Długość zakotwienia ℓ <sub>inst</sub>                           | 10                 | cm    | 15,8  |       |       |       |       |
| 11 |   |   | 12                 | cm    | 18,9  | 20,2  |       |       |       |
| 12 |   |   | 14                 | cm    | 22,1  | 23,6  | 25,0  |       |       |
| 13 |   |   | 16                 | cm    | 25,2  | 27,0  | 28,6  | 31,6  |       |
| 14 |   |   | 18                 | cm    | 28,4  | 30,3  | 32,2  | 35,6  |       |
| 15 |   |   | 20                 | cm    | 31,5  | 33,7  | 35,8  | 39,5  | 44,6  |
| 16 |   |   | 22                 | cm    | 34,1  | 37,1  | 39,3  | 43,5  | 49,1  |
| 17 |   |   | 25                 | cm    |       | 42,1  | 44,7  | 49,4  | 55,8  |
| 18 |   |   | 30                 | cm    |       | 49,2  | 53,6  | 59,3  | 66,9  |
| 19 |   |   | 35                 | cm    |       |       | 62,6  | 69,2  | 78,1  |
| 20 |   |   | 40                 | cm    |       |       | 66,9  | 79,1  | 89,2  |
| 21 |   |   | 45                 | cm    |       |       | 87,4  | 100,4 | 107,3 |
| 22 |   |   | 50                 | cm    |       |       |       | 111,5 | 119,2 |
| 23 |   |   | 55                 | cm    |       |       |       | 122,7 | 131,1 |
| 24 |   |   | 60                 | cm    |       |       |       | 133,8 | 143,1 |
| 25 |   |   | 70                 | cm    |       |       |       | 136,6 | 166,9 |
| 26 |   |   | 80                 | cm    |       |       |       |       | 190,7 |
| 27 |   |   | 90                 | cm    |       |       |       |       | 213,4 |

<sup>1)</sup>  $F_{yd,s} = \sigma^2 \times \pi/4 \times f_{yk} / \gamma_{ms}$ ,  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ ;  $\gamma_{ms} = 1,15$ 
<sup>2)</sup> Suchy, uszorstniony i oczyszczony otwór w chwili montażu, dla prętów > Ø25, jako żywica jest zalecana Hilti-RE 500, częściowy współczynnik bezpieczeństwa  $\gamma_s = 1,15$  dla stali,  $\gamma_c = 1,5$  dla betonu i  $\gamma_b = 1,5$  dla żywicy, wartości obciążenia mogą być liniowo interpolowane.

<sup>3)</sup> Dla odległości od krawędzi, patrz szkic:


Przy odmiennych warunkach brzegowych:

**Arkusz kalkulacyjny Excel do obliczania zakotwień prętów zbrojeniowych na żywice, EC2**



Typowa tabela 3.5b

## Hilti HIT-RE 500

Min{ $R_{sd}$ ;  $R_{db}$ ;  $R_{cd}$ } Obliczeniowe obciążenie pręta

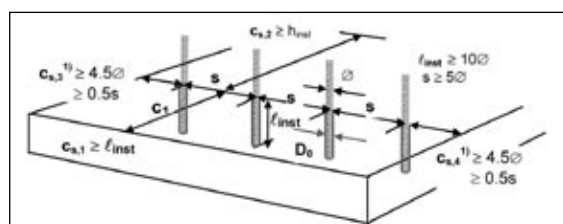
|    |   |  |                                       |                    |       |       |       |       |       |       |       |       |                 |                 |       |       |
|----|---|--|---------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|-------|-------|
| 1  | Średnica pręta  |  | Ø                                     | [mm]               | 10    | 12    | 14    | 16    | 20    | 25    | 28    | 32    | 36 <sup>3</sup> | 40 <sup>3</sup> |       |       |
| 2  | Średnica wierconego otworu  |  | D <sub>0</sub>                        | [mm]               | 12-14 | 16-18 | 18-20 | 20-22 | 25-28 | 30-32 | 35-37 | 39-42 | 42-46           | 48-52           |       |       |
| 3  | Przekrój pręta  |  | A <sub>s</sub>                        | [mm <sup>2</sup> ] | 79    | 113   | 154   | 201   | 314   | 491   | 616   | 804   | 1018            | 1257            |       |       |
| 4  | Obliczeniowa siła rozciągająca na granicy plastyczności stali <sup>1)</sup>   |  | F <sub>yd,s</sub>                     | [kN]               | 34,1  | 49,2  | 66,9  | 87,4  | 136,6 | 213,4 | 267,7 | 349,7 | 442,6           | 546,4           |       |       |
| 5  | Podstawowe parametry obliczeniowe <sup>4)</sup>   | Długość zakotwienia  | ℓ <sub>b0</sub>                       | [cm]               | 16    | 19    | 22    | 25    | 31    | 39    | 50    | 62    | 76              | 91              |       |       |
| 6  |   | jako wielokrotność Ø   |                                       |                    |       | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    | 18    | 19              | 21              | 23    |       |
| 7  |   | <sup>5)</sup> Naprężenie ścinające w żywicy [N/mm <sup>2</sup> ] |                                       |                    |       | 6,9   | 6,9   | 6,9   | 6,9   | 6,9   | 6,9   | 6,0   | 5,6             | 5,2             | 4,8   |       |
| 8  | Min. rozstawu prętów  |  | C <sub>s1/s</sub>                     | cm                 | 18    | 22    | 26    | 29    | 36    | 45    | 54    | 60    | 65              | 72              |       |       |
| 9  | Podstawowa długość zakotwienia  |  | ℓ <sub>b</sub>                        | cm                 | 16    | 19    | 22    | 25    | 31    | 39    | 50    | 67    | 87              | 110             |       |       |
| 10 | <div>Stal żebrowana o wysokiej przyczepności, f<sub>yk</sub>=500 N/mm<sup>2</sup><br/>Klasa betonu C20/25<br/>Obliczeniowe obciążenie niszczące<sup>3)</sup> w [kN]<br/>Istotniejsza wartość spośród tych dla stali, żywicy i rozlupania betonu</div> |  | Długość zakotwienia ℓ <sub>inst</sub> |                    | 10    | cm    | 21,8  |       |       |       |       |       |                 |                 |       |       |
| 11 |   |  |                                       |                    | 12    | cm    | 26,1  | 31,4  |       |       |       |       |                 |                 |       |       |
| 12 |   |  |                                       |                    | 14    | cm    | 30,5  | 36,6  | 42,7  |       |       |       |                 |                 |       |       |
| 13 |   |  |                                       |                    | 16    | cm    | 34,1  | 41,8  | 48,8  | 55,8  |       |       |                 |                 |       |       |
| 14 |   |  |                                       |                    | 18    | cm    |       | 47,1  | 54,9  | 62,7  |       |       |                 |                 |       |       |
| 15 |   |  |                                       |                    | 20    | cm    |       | 49,2  | 61,0  | 69,7  | 87,1  |       |                 |                 |       |       |
| 16 |   |  |                                       |                    | 22    | cm    |       |       | 66,9  | 76,7  | 95,8  |       |                 |                 |       |       |
| 17 |   |  |                                       |                    | 25    | cm    |       |       |       | 87,1  | 108,9 | 136,1 |                 |                 |       |       |
| 18 |   |  |                                       |                    | 30    | cm    |       |       |       | 87,4  | 130,7 | 163,4 | 159,6           |                 |       |       |
| 19 |   |  |                                       |                    | 35    | cm    |       |       |       |       | 136,6 | 190,6 | 186,1           | 197,1           |       |       |
| 20 |   |  |                                       |                    | 40    | cm    |       |       |       |       |       | 213,4 | 212,7           | 225,3           | 233,4 | 239,8 |
| 21 |   |  |                                       |                    | 45    | cm    |       |       |       |       |       |       | 239,3           | 253,4           | 262,5 | 269,8 |
| 22 |   |  |                                       |                    | 50    | cm    |       |       |       |       |       |       | 265,9           | 281,6           | 291,7 | 299,7 |
| 23 |   |  |                                       |                    | 55    | cm    |       |       |       |       |       |       | 267,7           | 309,8           | 320,9 | 329,7 |
| 24 |   |  |                                       |                    | 60    | cm    |       |       |       |       |       |       |                 | 331,2           | 350,1 | 359,7 |
| 25 |   |  |                                       |                    | 70    | cm    |       |       |       |       |       |       |                 | 349,7           | 393,2 | 419,6 |
| 26 |   |  |                                       |                    | 80    | cm    |       |       |       |       |       |       |                 |                 | 422,4 | 455,6 |
| 27 |   |  |                                       |                    | 90    | cm    |       |       |       |       |       |       |                 |                 | 442,6 | 485,6 |
| 28 |   |  |                                       |                    | 100   | cm    |       |       |       |       |       |       |                 |                 |       | 515,5 |
| 29 |   |  |                                       |                    | 110   | cm    |       |       |       |       |       |       |                 |                 |       | 545,5 |
| 30 |   |  |                                       |                    | 120   | cm    |       |       |       |       |       |       |                 |                 |       |       |

1)  $F_{yd,s} = \sigma^2 \times \pi/4 \times f_{yk} / \gamma_{ms}$ ,  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ ;  $\gamma_{ms} = 1,15$ 2) Wywiercony otwór oczyszczony, beton nienasycony wodą i temperatura  $\geq +5^\circ\text{C}$  w chwili montażu, temperatura użytkowa  $\leq +50^\circ\text{C}$ , częściowe współczynniki bezpieczeństwa  $\gamma_s = 1, 15$  dla stali,  $\gamma_c = 1, 5$  dla betonu i  $\gamma_b = 1, 5$  dla żywicy, wartości obciążenia mogą być liniowo interpolowane.

3) W przypadku zginania nie stosować prętów o średnicy większej niż Ø32

4) Dla odległości od krawędzi, patrz szkic:

5) Wartość obliczeniowa



Przy odmiennych warunkach brzegowych:

Arkusz kalkulacyjny Excel do obliczania później wykonywanych zbrojonych połączeń betonu z betonem, EC2



## 4 Przykłady obliczeń

### 4.1. Połączenie (zakotwienie) płyty podpartej przegubowo (patrz punkt 3.3)

- Płyta:  $\ell = 6,50 \text{ m}$ ;  $p = 5 \text{ kN/m}^2$ ;  $h = 300 \text{ mm}$ ;  $d = 260 \text{ mm}$  ściana:  $h = 300 \text{ mm}$ ;  $d = 260 \text{ mm}$ , zbrojenie pionowe:  $\varnothing 12 \text{ s} = 200 \text{ mm}$
- Beton C20/25, stal BSt 500
- Klasa ognioodporności: F90 (1 1/2 h)
- Obciążenie:  $g_{sd} = 1,35 \times 7,5 = 10,1 \text{ kN/m}^2$ ;  $p_{sd} = 1,5 \times 5,0 = 7,5 \text{ kN/m}^2$   
 $\Rightarrow q_{sd} = 17,6 \text{ kN/m}^2$

Wielkości przekrojowe:

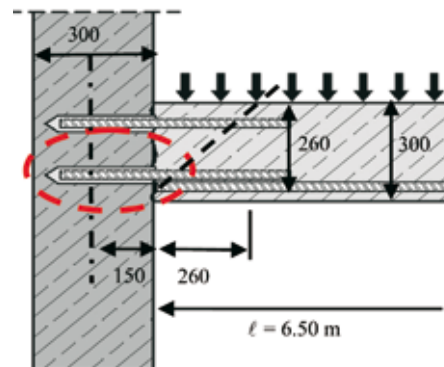
$$m_{sd} = 17,6 \times 6,762 / 8 = 100,5 \text{ kNm/m};$$

$$V_{sd} = 17,6 \times (6,50 / 2) = 57,2 \text{ kN/m}$$

Niezbędne zbrojenie dolne w środku przęsła:

$$A_{s,erf} = 100,5 \times 1,15 / (0,26 \times 0,9 \times 0,5) = 988 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\Rightarrow \text{wybrane zbrojenie: } \varnothing 16 \text{ s}=200 \text{ mm}; A_{s,vorh}=1010 \text{ mm}^2/\text{m}$$



**Dolne zbrojenie na podporze:**

$$A_{s,min}=0,4 \times 0,8 \times 3 \times 150 \times 1000 / 500=288 \text{ mm}^2/\text{m}$$

{punkt 4.4.2.2, EC 2 : 1992}

$$A_{s,min}=0,50 \times 988=494 \text{ mm}^2/\text{m}$$

{punkt 5.4.3.2.2, EC 2 : 1992}

$$A_{s,wymag.}=57,2 \times 1,15 / 0,5=132 \text{ mm}^2/\text{m}$$

{punkt 5.4.3.2.1(1), EC 2 : 1992}

**a) Zakotwienie wg Normy** {punkt 5.2.3.4.1 i 5.4.2.1.4, EC 2 : 1992}:

$$\Rightarrow \text{wybrane zbrojenie: } \varnothing 12, s = 150 \text{ mm}; A_{s,vorh} = 754 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\ell_b = (12 / 4) \times 500 / (1,15 \times 2,3) = 567 \text{ mm}; \ell_{b,net} = 2/3 \times (567 \times 494 / 754) = 248 \text{ mm}$$

$$\ell_{b,min} = 2 / 3 \times (\max\{0,3 \times 567; 10 \times 12; 100\}) = 113 \text{ mm}$$

**b) Hilti EXBAR Rebar Design (rozłupanie betonu):**

$$\Rightarrow \text{wybrane zbrojenie: } \varnothing 12, s = 200 \text{ mm}; A_{s,vorh} = 565 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Uwaga: Niezbędne zbrojenie można zredukować dzięki obliczeniu metodą Hilti EXBAR.

$$F_{yd,s} = 494 \times 0,5 / 1,15 = 215 \text{ kN/m}$$

$$\text{Hilti HIT-HY150: } \ell_{inst} = 26 \text{ cm, NRd} = 219 \text{ kN/m} > 215 \text{ kN/m ok}$$

$$\text{Hilti HIT-RE 500: } \ell_{inst} = 17 \text{ cm, NRd} = 222 \text{ kN/m} > 215 \text{ kN/m ok}$$

**Odporność ogniowa:** (patrz dodatek A10): klasa ognioodporności F 90 (1 1/2h)

$$F_{sT,req} = 0,6 \times 57,2 = 34,3 \text{ kN/m} = 6,9 \text{ kN/pręt} \quad \{\text{ENV 1992 (EC 2), część 1-2:1995, punkt 2.4.3 (4) i (5)}\}$$

$$\text{Hilti HIT-HY 150: } \varnothing 12 \Rightarrow \ell_{inst} = 26 \text{ cm}; F_{s,T} > 36,4 \text{ kN} > 6,9 \text{ kN ok}$$

$$\text{Hilti HIT-RE 500: } \varnothing 12 \Rightarrow \ell_{inst} = 17 \text{ cm}; F_{s,T} = 12,4 \text{ kN} > 6,9 \text{ kN ok}$$

**Zbrojenie górne (patrz punkt 3.5):**

Minimalne zbrojenie: 25 % zbrojenia wymaganego w środku przęsła {punkt 5.4.3.2.2 (2), EC 2 : 1991}

$$A_{s,wymag.} = 0,25 \times 988 = 247 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,min} = 0,4 \times 0,8 \times 3 \times 150 \times 1000 / 500 = 288 \text{ mm}^2/\text{m}$$

{punkt 4.4.2.2, EC 2 : 1991}

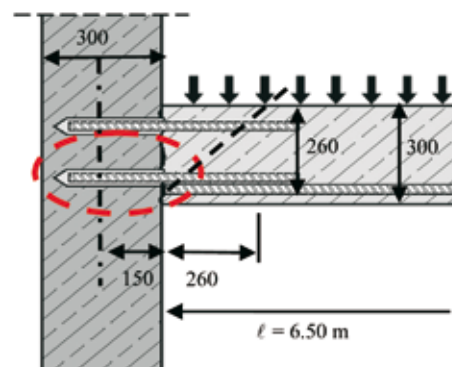
$$\text{Wybrano: } \varnothing 12 \text{ s} = 300 \text{ mm}; A_{s,vorh} = 377 \text{ mm}^2/\text{m}$$

**Obliczenie metodą Hilti EXBAR Rebar (wyłamanie stożka betonu):**

$$F_{yd,s} = 288 \times 0,5 / 1,15 = 125,2 \text{ kN/m}$$

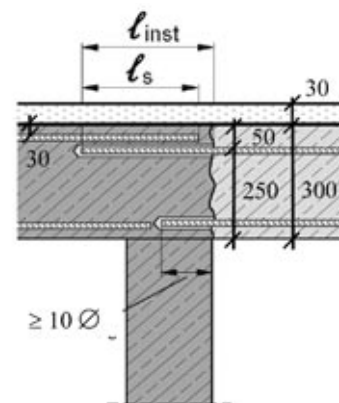
$$\text{Hilti HIT-HY 150: } \ell_{inst} = 23 \text{ cm} \quad \text{NRd} = 129,3 \text{ kN/m} > 125,2 \text{ kN/m ok}$$

$$\text{Hilti HIT-HY 500: } \ell_{inst} = 15 \text{ cm} \quad \text{NRd} = 130,7 \text{ kN/m} > 125,2 \text{ kN/m ok}$$



## 4.2 Połączenie na zakład (patrz punkt 3.3.2)

- Moment podporowy:  $m_{sd}=120 \text{ kNm/m}$ ; ścinanie w szczelinie:  $v_{sd}=50 \text{ kN/m}$   
 $h=300 \text{ mm}$ ;  $d=250 \text{ mm}$ ,  $c=4 \text{ cm}$
- Beton C25/C30, stal BSt 500
- Klasa ognioodporności: F60 (1h)  
Tynk ognioodporny 3 cm
- Istniejące górne zbrojenie:  $\varnothing 16 \text{ s}=150 \text{ mm}$ ;  $A_{s,prov}=1340 \text{ mm}^2/\text{m}$ ,  
grubość otuliny betonowej do szczeliny  $c_f=3 \text{ cm}$
- Dolne zbrojenie:  $\varnothing 10 \text{ s}=200 \text{ mm}$ ;  $A_{s,vorh}=390 \text{ mm}^2/\text{m}$
- Wskazówka: zredukowane obciążenie w zabetonowanym przęcie wynikające  
z momentu zginającego:  
 $\eta=25 / 27=0,93$



a) Połączenie na zakład według normy: {punkt 5.2.4, EC 2 : 1992}

$$d_{s2}=250 \text{ mm}, z_2 \approx 0,9 \times 250=225 \text{ mm};$$

$$A_{s,wymag.}=120 \times 1,15 / (0,225 \times 0,5)=1227 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{zabetonowany: } l_s=16 / 4 \times 500 / (2,7 \times 1,15) \times 1,4 \times 1227 / 1340=826 \text{ mm}$$

niezbędna głębokość osadzenia  $l_{inst}$ :

odległość między prętami w świetle  $s_1 \leq 14 \text{ cm}$ , w najniekorzystniejszym przypadku wklejony pręt znajduje się dokładnie w środku pomiędzy zabetonowanymi prętami

$\Rightarrow$  uwzględnienie odstępu między zachodzącymi na siebie prętami większego niż  $4 \times \varnothing$

$$s_2=s_1 / 2 - 4 \times \varnothing=14 / 2 - 4 \times 1,6=0,6 \text{ cm} \sim 1 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow l_{inst}=l_s + c_f + s_2=83 + 3 + 1=87 \text{ cm}$$

b) Alternatywne obliczenie metodą Hilti EXBAR Rebar Design (rozłupanie betonu):

$$F_{sd}=1227 \times 0,5 / 1,15=533 \text{ kN/m}, c_{s1}=5 \text{ cm (zmierzona względem osi pręta)}$$

HIT HY 150 + HIT RE 500 (decydujący jest beton):

$$\Rightarrow l_b=46 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{decydująca jest długość zakładu według ACI 318: } l_s=53 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow l_{inst}=l_s + c_f + s_2=53 + 3 + 1=57 \text{ cm (ale należy uwzględnić ognioodporność RE 500)}$$

**Odporność ogniowa: (patrz dodatek A10):**

Klasa ognioodporności: F60 (1h)

Otulina betonowa w świetle włącznie z tynkiem ognioodpornym:  $c=4 + 3=7 \text{ cm}$

$$F_{sT}=0,6 \times 120/0,225 + 50 \times 0,6=350 \text{ kN/m}=52,2 \text{ kN/pręt \{ENV 1992 (EC 2), część 1-2:1995, punkt 2.4.3 (4) i (5)\}}$$

$$\tau_{T,wymag.}=52 \text{ 200} / (16 \times \pi \times 530)=1,96 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Hilti HIT-HY 150: } \tau_T=2,2 \text{ N/mm}^2 > 1,96 \text{ N/mm}^2 \text{ ok}$$

Hilti HIT-RE 500:  $\tau_T=1,0 \text{ N/mm}^2 < 1,96 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow$  na przykład zwiększyć długość zakotwienia ( $l_{inst}=63 \text{ cm}$ ) i grubość tynku do 5 cm.

### 4.3 Połączenie zginane ze ścianą (węzeł ramy, patrz punkt 3.4)

#### 4.3.1 Moment dodatni (napór wody)

Siły przekrojowe (istotne tylko dla połączenia zbrojonego)

$$V_{1d} = \gamma_s \times p \times h^2 / 2 = 1.4 \times 10 \times 3.5^2 / 2 = 86 \text{ kN/m}$$

$$e = h / 3 = 3.5 / 3 = 1.17 \text{ m}$$

$$M_{1d} = V_{1d} \times e = 86 \times 1.17 = 100 \text{ kNm/m}$$

$$-M_{2d} = M_{1d} + V_{1d} \times z / 2 = 100 + 0.25 \times 86 = 121.5 \text{ kNm/m}$$

$$N_{2d} = V_{1d} = 86 \text{ kN/m}$$

$$M_{s3} = 0; V_2 = V_3 = 0; N_1 = N_3 = 0$$

Materiał:

beton: C20/25; stal: BSt 500

$$h_1 = 420 \text{ mm}; h_2 = h_3 = 600 \text{ mm};$$

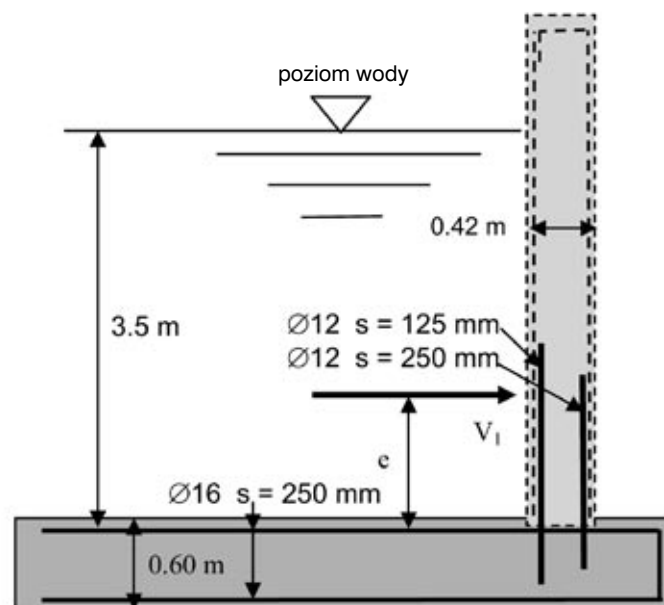
$$d_1 = 380 \text{ mm}; d_2 = d_3 = 560 \text{ mm};$$

$$z \approx 0.9 d: z_1 = 340 \text{ mm}; z_2 = z_3 = 500 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 905 \text{ mm}^2/\text{m} (\varnothing 12 \text{ s} = 125 \text{ mm})$$

$$A_{s0} = A_{s2} = A_{s3} = 804 \text{ mm}^2/\text{m} (\varnothing 16 \text{ s} = 250 \text{ mm})$$

$$c_s = h_2 - d_2 = 40 \text{ mm}$$



**Głębokość zakotwienia wklejanych prętów startowych:**  $\ell_{inst} = 54 \text{ cm}$

(w celu obliczenia zakotwienia wyklejanych prętów startowych metodą EXBAR Węzeł ramy: przyjąć moment dodatni i odpowiednie siły przekrojowe wstawić jako „0”)

Obliczenie:

siły we wklejonym zbrojeniu

$$z_{1r} = 0.85 \times z_1 = 0.85 \times 340 = 289 \text{ mm}$$

$$F_{s1d} = M_{1d} / z_{1r} = 100.0 / 0.289 = 346 \text{ kN/m}$$

Żywica: Hilti HIT-HY 150:  $\ell_{b1} = 26 \text{ cm}$

$$\text{Moment zginający } z_0 = \ell_{inst} - c_s - \ell_{b1} / 2$$

$$= 540 - 40 - 260 / 2 = 370 \text{ mm}$$

dotatkowa siła  $\Delta F_{s2d}$  w zbrojeniu:

$$\begin{aligned} \Delta F_{s2d} &= M_{1d} \times (1 / z_0 - 1 / z) + V_{1d} \times (z_1 / z_0 - 1) \\ &= 100.0 \times (1 / 0.37 - 1 / 0.50) + 86 \times (0.34 / 0.37 - 1) \\ &= 63 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Siła  $F_s$  w zbrojeniu:

$$F_{s0d} = M_{2d} / z_2 + N_{2d} / 2 + \Delta F_{s2d} = 121.5 / 0.50 + 86 / 2 + 63 = 349 \text{ kN/m}$$

$$F_{s2d} = M_{2d} / z_2 + N_{2d} / 2 = 121.5 / 0.50 + 86 / 2 = 286 \text{ kN/m}$$

Sprawdzenie:

$$A_{s1} \geq F_{s1d} \times \gamma_s / f_{yk}: A_{s1, \text{erf}} = 346 \times 1.15 / 0.5 = 796 \text{ mm}^2/\text{m} \leq A_{s1, \text{vorh}} = 905 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{ok}$$

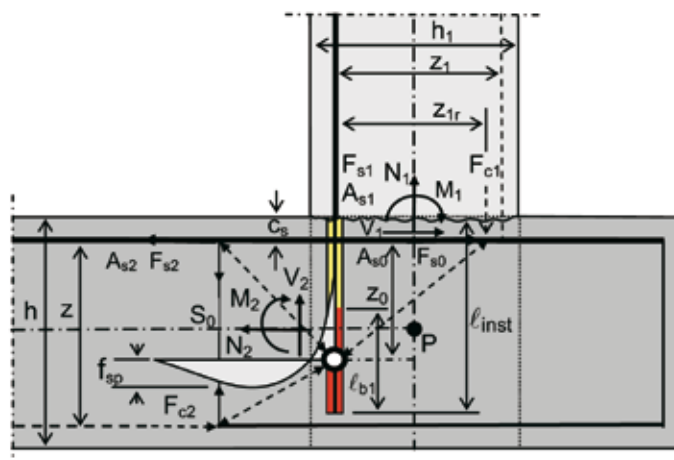
$$A_{s0} \geq F_{s0d} \times \gamma_s / f_{yk}: A_{s0, \text{erf}} = 349 \times 1.15 / 0.5 = 803 \text{ mm}^2/\text{m} \leq A_{s0, \text{vorh}} = 804 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{ok}$$

$$A_{s2} \geq F_{s2d} \times \gamma_s / f_{yk}: A_{s2, \text{erf}} = 286 \times 1.15 / 0.5 = 658 \text{ mm}^2/\text{m} \leq A_{s2, \text{vorh}} = 804 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{ok}$$

Naprężenie rozciągające w betonie wynikające z siły rozłupującej  $S_0$ :

$$\text{Obliczeniowe naprężenie rozciągające: } f_{ctd} \approx \frac{0.7 \cdot 0.3}{\gamma_{ct}} \cdot f_{ck}^{2/3} = 0.117 \cdot 20^{2/3} = 0.86 \text{ N/mm}^2 \text{ \{punkt 3.1.2.3, EC 2\}}$$

$$\begin{aligned} f_{sp,d} &= M_{1d} \times (1 - z_0 / z) \times (1 - \ell_{b1} / 2z) \times 2.41 / (b \cdot z^2) = 100 \times (1 - 0.37 / 0.50) \times (1 - 0.26 / (2 \times 0.5)) \\ &\times 2.41 / (1.0 \times 0.52) = 185 \text{ kN/m}^2 = 0.18 \text{ N/mm}^2 \leq f_{ctd} = 0.86 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ok} \end{aligned}$$



### 4.3.2 Moment ujemny (zamykający):

Wymagania:

Zbrojenie prętów startowych powinno być tak zakotwione, by osiągnąć maksymalny możliwy ujemny moment zginający.

$$A_{s1} = 452 \text{ mm}^2/\text{m} (\varnothing 12 \text{ s}=250 \text{ mm})$$

$$z_1 = 340 \text{ mm}$$

$$F_{s1d} = A_{s1} \times f_{yk} / \gamma_s = 452 \times 0.5 / 1.15 = 196.5 \text{ kN/m} = 49.1 \text{ kN/pręt}$$

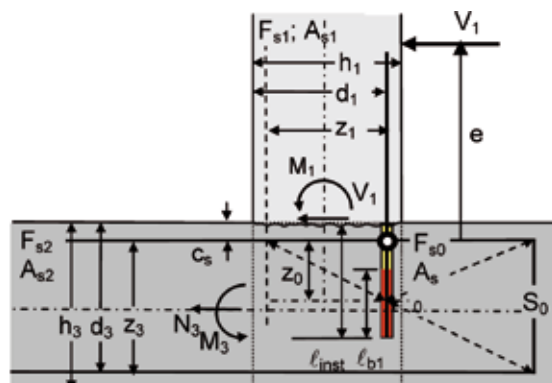
$$M_{1d} = F_{s1d} \times z_1 = 196.5 \times 0.34 = 66.8 \text{ kNm/m}$$

$$V_{1d} = M_{1d} / e = 66.8 / 1.2 = 55.7 \text{ kN/m}$$

$$-N_{3d} = V_{1d} = 55.7 \text{ kN/m}$$

$$-M_{3d} = M_{1d} - N_{3d} \times z_3/2 = 66.8 + 55.7 \times 0.25 = 80.7 \text{ kNm/m}$$

$$M_{2d} = 0; V_2 = V_3 = 0; N_1 = N_2 = 0$$



Materiał: beton C20/25, stal BSt 500

$$h_1 = 420 \text{ mm}; h_2 = h_3 = 600 \text{ mm}; d_1 = 380 \text{ mm}; d_2 = d_3 = 560 \text{ mm};$$

$$z \approx 0.9 d; z_1 = 340 \text{ mm}; z_2 = z_3 = 500 \text{ mm}$$

$$A_{s0} = A_{s2} = A_{s3} = 804 \text{ mm}^2/\text{m} (\varnothing 16 \text{ s}=250 \text{ mm}) \quad c_s \approx 40 \text{ mm}$$

**Głębokość zakotwienia wklejanych prętów startowych:**  $\ell_{inst} = 39 \text{ cm}$

Żywica: Hilti HIT-HY 150:  $\ell_b = 29 \text{ cm}$

Obliczenie: moment zginający  $z_0 = \ell_{inst} - c_s - \ell_{b1} / 2 = 390 - 40 - (290 / 2) = 205 \text{ mm}$

dodatkowa siła  $\Delta F_{s2d}$  w zbrojeniu:

$$\Delta F_{s2d} = M_{1d} \times (1/z_0 - 1/z) + V_{1d} \times (z_1/z_0 - 1) = 66.8 \times (1/0.205 - 1/0.50) + 55.7 \times (0.34/0.205 - 1) = 229 \text{ kN/m}$$

Siła  $F_s$  w zbrojeniu:

$$F_{s0d} = F_{s2d} = 229 \text{ kN/m}$$

$$F_{s3d} = M_{3d} / z_3 + N_{3d} / 2 = 80.7 / 0.50 - 55.7 / 2 = 133.5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Sprawdzenie: } A_{s1} \geq F_{s1d} \times \gamma_s / f_{yk} \cdot A_{s1,erf} = 196.5 \times 1.15 / 0.5 = 452 \text{ mm}^2/\text{m} = A_{s1,vorh} = 452 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{ok}$$

$$A_{s0} \geq F_{s0d} \times \gamma_s / f_{yk} \cdot A_{s0,erf} = 229 \times 1.15 / 0.5 = 527 \text{ mm}^2/\text{m} \leq A_{s0,vorh} = 804 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{ok}$$

$$A_{s3} \geq F_{s3d} \times \gamma_s / f_{yk} \cdot A_{s3,erf} = 133.5 \times 1.15 / 0.5 = 307 \text{ mm}^2/\text{m} \leq A_{s3,vorh} = 804 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{ok}$$

Rozłupująca siła rozciągająca  $S_0$ : przejmowana przez zbrojenie w wystającej części płyty

$$S_{0d} \approx M_{1d} \times (1 - z_0/z) \times (1 - \ell_b / (2 \times z)) \times 2/z = 66.8 \times (1 - 0.205/0.5) \times (1 - 0.29 / (2 \times 0.5)) \times 2 / 0.5 = 112 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,wymag} = 112 \times 1.15 / 0.5 = 258 \text{ mm}^2/\text{m} \leq A_{s3, vorh} = 804 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{ok}$$

## 5 Aprobaty/literatura/dodatki techniczne

### 5.1 Lista aprobat żywicy Hilti HIT-HY 150

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Kraj:                     | Polska   |
| Jedn. Certyfikacyjna:     | Instytut Techniki Budowlanej (ITB)   |
| Nr aprobaty:              | AT-15-4128/2001 + Aneks Nr 1   |
| Tytuł:                    | Łączniki wklejane typu HIT-HY 150, HIT-HY 50 oraz HIT-HY 20  |
| Uwaga:                    | Wklejanie prętów zbrojeniowych przy użyciu żywicy HIT-HY 150   |
| Kraj:                     | Polska   |
| Jedn. Certyfikacyjna:     | Instytut Badawczy Dróg i Mostów (IBDiM)  |
| Nr aprobaty:              | AT/2003-04-0448  |
| Tytuł:                    | Kotwa wklejana żywicą syntetyczną HIT-HY 150   |
| Uwaga:                    | Wklejanie prętów zbrojeniowych przy użyciu żywicy HIT-HY 150   |
| Kraj:                     | USA  |
| Jedn. certyfikacyjna:     | International Conference of Building Officials (ICBO)  |
| Nr aprobaty.:             | Evaluation Report # 5193   |
| Tytuł:                    | Hilti HIT HY-150 Adhesive Anchor System  |
| Uwaga:                    | Obejmuje kotwienie prętów gwintowanych i wyklejanie prętów zbrojeniowych                                       |
| Kraj:                     | USA  |
| Jedn. certyfikacyjna:     | City of Los Angeles (COLA)   |
| Nr aprobaty.:             | Research Report 25257  |
| Kraj:                     | USA  |
| Jedn. certyfikacyjna:     | Southern Building Code Congress International (SBCCI)  |
| Nr aprobaty.:             | Report No. 9930  |
| Kraj:                     | Niemcy   |
| Jedn. certyfikacyjna:     | Niemiecki Instytut Techniki Budowlanej (DIBt)  |
| Nr aprobaty.:             | Z-12.8-1648  |
| Tytuł:                    | Zbrojone połączenia przy użyciu żywicy iniekcyjnej HIT-HY 150  |
| Uwaga:                    | Zakotwienia na żywicę prętów zbrojenia przy użyciu BSt 500 Ø8 – Ø25, wymiarowanie według normy DIN 1045 / EC 2 |
| Kraj:                     | Francja  |
| Jednostka certyfikacyjna: | SOCOTEC  |
| Nr aprobaty.:             | BX 1032  |
| Tytuł:                    | HY 150 fers à béton  |
| Uwaga:                    | Wklejanie prętów zbrojeniowych   |

### 5.2 Lista aprobat żywicy Hilti HIT-RE 500

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Kraj:                 | Polska   |
| Jedn. Certyfikacyjna: | Instytut Techniki Budowlanej (ITB)                           |
| Nr aprobaty:          | AT-15-5465/2002  |
| Tytuł:                | Łączniki wklejane typu HIT-RE 500                            |
| Uwaga:                | Wklejanie prętów zbrojeniowych przy użyciu żywicy HIT-RE 500 |

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Kraj:                     | Polska  |
| Jedn. Certyfikacyjna:     | Instytut Badawczy Dróg i Mostów (IBDiM)   |
| Nr aprobaty:              | AT/2004-04-1637   |
| Tytuł:                    | Zestaw do wykonywania zamocowań: zaprawa żywiczna HIT-RE 500,<br>pręty typu HAS, pręty zbrojeniowe oraz tuleje typu HIS |
| Uwaga:                    | Wklejanie prętów zbrojeniowych przy użyciu żywicy HIT-RE 500  |
| Kraj:                     | USA   |
| Jedn. certyfikacyjna:     | International Conference of Building Officials (ICBO)   |
| Nr aprobaty.:             | Evaluation Report # 6010  |
| Tytuł:                    | Hilti HIT RE 500 Adhesive Anchor System   |
| Uwaga:                    | Obejmuje kotwienie prętów gwintowanych i zbrojone połączenia betonu<br>z betonem  |
| Kraj:                     | Francja   |
| Jednostka certyfikacyjna: | SOCOTEC   |
| Nr aprobaty:              | KX 0893   |
| Tytuł:                    | HIT-RE500 pour l'ancrage d'armatures pour béton armé  |
| Uwaga:                    | Wklejanie prętów zbrojeniowych  |

### 5.3 Załączniki

|     |   |
|-----|---|
| A01 | Oznaczenia na rysunkach   |
| A02 | Objętość wypełnienia żywicą i głębokość iniekcji  |
| A03 | Podstawy wymiarowania zakotwień i połączeń na zakład stali zbrojeniowej   |
| A04 | Zasady zbrojenia według Eurokodu 2 (ENV 1992-1-2)   |
| A05 | Analiza przyczepności między stalą żebrowaną i betonem  |
| A06 | Analiza zjawisk zachodzących w połączeniach zakładkowych, informacja o literaturze i testach Hilti                      |
| A07 | Metoda obliczania Hilti HIT-Rebar i ACI 318-02, informacja o literaturze i sprawozdaniach z badań Hilti                 |
| A08 | Stan graniczny użytkowania – ograniczenia   |
| A09 | Odporność korozyjna wklejonych prętów   |
| A10 | Projektowanie pod kątem ochrony przeciwpożarowej, informacja o sprawozdaniach z badań ogniowych                         |
| A11 | Analiza zmęczeniowa zakotwień prętów wklejanych na żywicę w połączeniach poddanych przeważnie<br>cyklicznym obciążeniom |
| A12 | Wytyczne warunków technicznych/specyfikacji dla zbrojenia wklejanego na żywice Hilti                                    |

### 5.4 Pomoce obliczeniowe (dostępne w Dziale Technicznym Hilti)

*Hilti EXBAR Rebar Design EC2:*

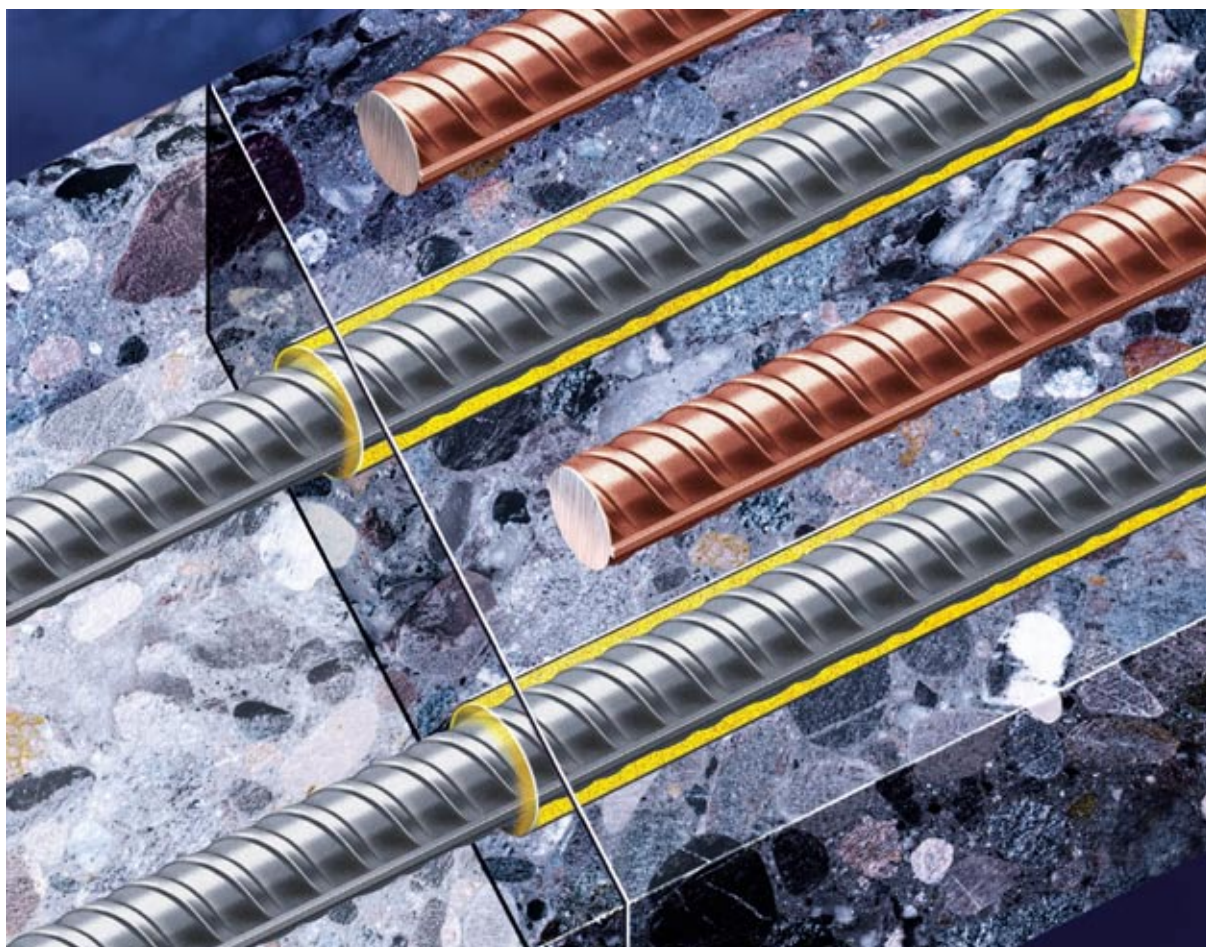
Arkusz kalkulacyjny Excel do obliczania zakotwień prętów zbrojeniowych z użyciem żywicy

*Hilti EXBAR Węzeł ramy EC2:*

Arkusz kalkulacyjny Excel do obliczania zakotwień prętów zbrojeniowych z użyciem żywicy w węzłach ramy.



## **System iniekcyjny Hilti-Rebar do wklejania prętów zbrojeniowych**



### **Załącznik A**

**Według koncepcji bezpieczeństwa  
Eurokod 2 (ENV 1992-1-1 : 1992)**

**Podstawy i reguły zastosowania w budownictwie lądowym  
oraz technika kotwienia Hilti**





## Spis treści

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>A01</b> | <b>Oznaczenia na rysunkach</b>  | <b>34</b> |
| <b>A02</b> | <b>Objętość wypełnienia żywicą i głębokość iniekcji</b>   | <b>35</b> |
| <b>A03</b> | <b>Podstawy wymiarowania zakotwień i połączeń na zakład stali zbrojeniowej</b>  | <b>37</b> |
| <b>A04</b> | <b>Zasady zbrojenia według Eurokodu 2 (ENV 1992-1-2)</b>  | <b>39</b> |
| <b>A05</b> | <b>Analiza przyczepności między stalą żebrowaną i betonem</b>   | <b>40</b> |
| <b>A06</b> | <b>Analiza zjawisk zachodzących w połączeniach zakładkowych</b>   | <b>42</b> |
| <b>A07</b> | <b>Metoda obliczania Hilti HIT-Rebar i ACI 318-02</b>   | <b>46</b> |
| <b>A08</b> | <b>Stan graniczny użytkowania – ograniczenia</b>  | <b>50</b> |
| <b>A09</b> | <b>Odporność korozyjna wklejonych prętów</b>  | <b>51</b> |
| <b>A10</b> | <b>Projektowanie pod kątem ochrony przeciwpożarowej, informacja o sprawozdaniach z badań ogniowych</b>                      | <b>52</b> |
| <b>A11</b> | <b>Analiza zmęczeniowa zakotwień prętów wklejanych na żywicę w połączeniach poddanych przeważnie cyklicznym obciążeniom</b> | <b>55</b> |
| <b>A12</b> | <b>Wytyczne warunków technicznych/specyfikacji dla zbrojenia wklejanego na żywice Hilti</b>                                 | <b>56</b> |

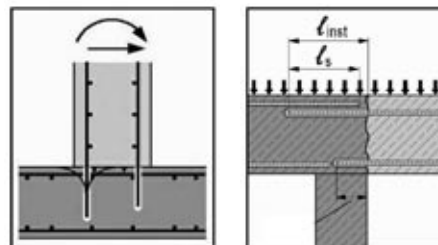
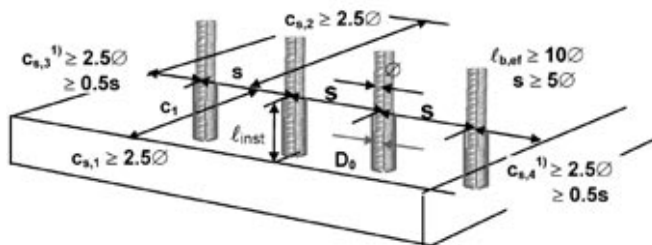
## AO1 Oznaczenia na rysunkach

### 1. Oznaczenia

Definicje i oznaczenia podane w następnych punktach są, jeżeli to tylko możliwe, zgodne z Europejską normą. Odpowiednie punkty z normy EC2 (ENV 1992-1-1 : 1992) zostały ujęte w {nawiasach klamrowych}.

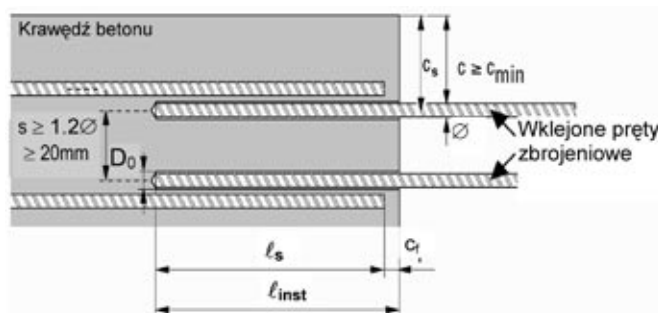
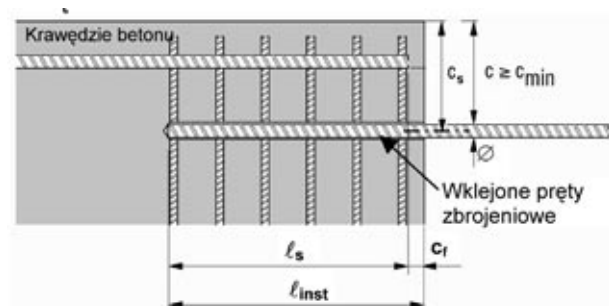
Uzupełniające oznaczenia właściwe dla firmy Hilti zostały wytłuszczone.

#### Zakotwienie:



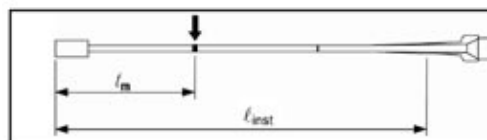
1) Jeśli  $c_{s,3} < 0.5 s$  lub  $c_{s,4} < 0.5 s$ : powinny być zastosowane odpowiednie połączenia (strzemiona) dla zabezpieczenia krawędzi betonu przed rozłupaniem

#### Połączenie na zakład:



#### Oznaczenia:

|                    |      |   |
|--------------------|------|---|
| Ø                  | [mm] | średnica nominalna stali prętowej   |
| D <sub>0</sub>     | [mm] | średnica wierconego otworu  |
| l <sub>b</sub>     | [mm] | nominalna długość zakotwienia   |
| l <sub>s</sub>     | [mm] | długość zakładu   |
| l <sub>inst</sub>  | [mm] | rzeczywista długość zakotwienia   |
| l <sub>m</sub>     | [mm] | znacznik głębokości iniekcji (długość części otworu niewypełnionego żywicą) |
| l <sub>b,min</sub> | [mm] | minimalna długość zakotwienia   |
| s                  | [mm] | rozstaw osi prętów  |
| c                  | [mm] | grubość otuliny betonowej (nad powierzchnią pręta)                          |
| c <sub>min</sub>   | [mm] | minimalna grubość otuliny betonowej   |
| c <sub>s</sub>     | [mm] | odległość osi pręta od krawędzi elementu budowlanego (podać na rysunku!!)   |
| c <sub>f</sub>     | [mm] | grubość otuliny betonowej między końcem pręta a szczeliną                   |



Inne oznaczenia zostały objaśnione w tekście tam, gdzie występują.

#### Uwagi:

- W przypadku prętów zabetonowanych ze względów praktycznych (przekładki dystansowe) normalnie podaje się grubość otuliny betonowej, licząc od powierzchni pręta
- W przypadku prętów wklejanych podaje się odległość osi pręta od krawędzi elementu budowlanego
  - Na rysunkach należy podawać ten wymiar, gdyż jest on istotny przy wierceniu
  - Symbol  $c_{s,i}$  ma następujące znaczenie:  $c_{s,1}/c_{s,2}$ : bliższa/dalsza krawędź elementu budowlanego równoległa do rzędu prętów;  
 $c_{s,3}/c_{s,4}$ : krawędź elementu budowlanego prostopadła do rzędu prętów.

## A02 Objętość wypełnienia żywicą i głębokość iniekcji

### 1. Przybliżona objętość wypełnienia wywierconego otworu

Niezbędne objętości  $V_m$ , konieczne do wypełnienia żywicą pustej przestrzeni między wewnętrzną powierzchnią wywierconego otworu a prętem, podano w tabeli 1.

Należy przewidzieć wystarczający naddatek w razie nieprzewidzianie głębiej wywierconych otworów, wystąpienia jam w betonie, wypłynięcia itp. Wzór na obliczanie niezbędnej ilości wypełnienia  $V_m$  [ml] zawiera już 20 % dodatek do teoretycznej ilości wypełnienia:

$$V_m = 0,0094 \times \ell_{b, \text{inst}} \times (D_0^2 - \varnothing^2) \quad V_m \text{ w [ml]}; \ell_{\text{inst}} \text{ w [cm]}; D_0 \text{ i } \varnothing \text{ w [mm]};$$

Obowiązuje następująca reguła empiryczna: wypełnienie żywicą 2/3 wywierconego otworu.

Ewentualnie może zaistnieć konieczność dostosowania się do lokalnych sytuacji, na przykład otwory wiercone pneumatycznie wymagają więcej żywicy.

**Zalecenie:** Przy szacowaniu kosztów należy zwiększyć wyliczoną objętość wypełnienia o 15 %.

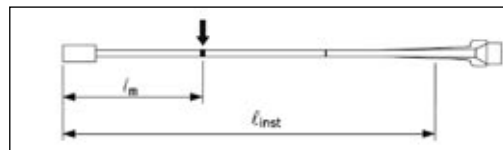
**Tabela 1: Przybliżona objętość wypełnienia żywicą  $V_m$**

| Ø                        | 10    |       | 12    |       | 16    |       | 20    |       | 25    |       | 28    |       | 32    |       | 36    |       | 40    |       |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| śred-<br>nica<br>wiertła | 12    | 14    | 16    | 18    | 20    | 22    | 25    | 28    | 30    | 32    | 35    | 37    | 39    | 42    | 42    | 46    | 48    | 52    |
| $\ell_{\text{inst}}$     | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ | $V_m$ |
| [cm]                     | [ml]  | [ml]  | [ml]  | [ml]  | [ml]  | [ml]  | [ml]  | [ml]  | [ml]  | [ml]  | [ml]  | [ml]  | [ml]  | [ml]  | [ml]  | [ml]  | [ml]  | [ml]  |
| 10                       | 5     | 10    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| 12                       | 5     | 11    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| 14                       | 6     | 13    | 15    | 24    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| 16                       | 7     | 15    | 17    | 28    | 22    | 35    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| 20                       | 9     | 19    | 22    | 34    | 28    | 43    | 43    | 73    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| 22                       | 10    | 20    | 24    | 38    | 30    | 48    | 47    | 80    | 57    | 83    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| 25                       | 11    | 23    | 27    | 43    | 34    | 54    | 53    | 91    | 65    | 94    | 104   | 138   | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| 28                       | 12    | 26    | 30    | 48    | 38    | 61    | 60    | 102   | 73    | 106   | 117   | 154   | 131   | 195   | -     | -     | -     | -     |
| 30                       | 13    | 28    | 32    | 51    | 41    | 65    | 64    | 109   | 78    | 113   | 125   | 165   | 141   | 209   | -     | -     | -     | -     |
| 32                       | 14    | 29    | 34    | 55    | 44    | 69    | 68    | 116   | 83    | 121   | 133   | 176   | 150   | 223   | 141   | 247   | -     | -     |
| 34                       | 15    | 31    | 36    | 58    | 47    | 73    | 72    | 123   | 88    | 128   | 141   | 187   | 159   | 237   | 150   | 263   | -     | -     |
| 36                       | 15    | 33    | 38    | 61    | 49    | 78    | 77    | 130   | 94    | 136   | 150   | 198   | 169   | 251   | 159   | 278   | -     | -     |
| 38                       | 16    | 35    | 41    | 65    | 52    | 82    | 81    | 138   | 99    | 143   | 158   | 209   | 178   | 265   | 168   | 293   | -     | -     |
| 40                       | 17    | 37    | 43    | 68    | 55    | 86    | 85    | 145   | 104   | 151   | 166   | 220   | 187   | 279   | 176   | 309   | 265   | 416   |
| 45                       | 19    | 41    | 48    | 77    | 61    | 97    | 96    | 163   | 117   | 169   | 187   | 248   | 211   | 314   | 198   | 347   | 298   | 467   |
| 50                       | 21    | 46    | 53    | 85    | 68    | 108   | 106   | 181   | 130   | 188   | 208   | 275   | 234   | 348   | 220   | 386   | 331   | 519   |
| 55                       | 23    | 50    | 58    | 94    | 75    | 118   | 117   | 199   | 143   | 207   | 228   | 303   | 257   | 383   | 242   | 424   | 364   | 571   |
| 60                       | 25    | 55    | 64    | 102   | 82    | 129   | 127   | 217   | 156   | 226   | 249   | 330   | 281   | 418   | 264   | 463   | 398   | 623   |
| 65                       | 27    | 59    | 69    | 110   | 88    | 140   | 138   | 235   | 169   | 244   | 270   | 358   | 304   | 453   | 286   | 502   | 431   | 675   |
| 70                       | 29    | 64    | 74    | 119   | 95    | 151   | 149   | 253   | 181   | 263   | 291   | 385   | 328   | 487   | 308   | 540   | 464   | 727   |
| 75                       | 32    | 68    | 79    | 127   | 102   | 161   | 159   | 271   | 194   | 282   | 311   | 413   | 351   | 522   | 330   | 579   | 497   | 779   |
| 80                       | 34    | 73    | 85    | 136   | 109   | 172   | 170   | 289   | 207   | 301   | 332   | 440   | 374   | 557   | 352   | 617   | 530   | 831   |
| 85                       | 36    | 77    | 90    | 144   | 116   | 183   | 180   | 307   | 220   | 319   | 353   | 468   | 398   | 592   | 374   | 656   | 563   | 883   |
| 90                       | 38    | 82    | 95    | 153   | 122   | 193   | 191   | 325   | 233   | 338   | 374   | 495   | 421   | 627   | 396   | 694   | 596   | 934   |
| 100                      | 42    | 91    | 106   | 170   | 136   | 215   | 212   | 361   | 259   | 376   | 415   | 550   | 468   | 696   | 440   | 771   | 662   | 1'038 |
| 110                      | -     | -     | 116   | 187   | 149   | 236   | 233   | 398   | 285   | 413   | 456   | 605   | 514   | 766   | 484   | 848   | 728   | 1'142 |
| 120                      | -     | -     | 127   | 204   | 163   | 258   | 254   | 434   | 311   | 451   | 498   | 660   | 561   | 835   | 528   | 925   | 795   | 1'246 |
| 130                      | -     | -     | 137   | 220   | 176   | 279   | 275   | 470   | 337   | 488   | 539   | 715   | 608   | 905   | 572   | 1'003 | 861   | 1'350 |
| 140                      | -     | -     | -     | -     | 190   | 301   | 297   | 506   | 362   | 526   | 581   | 770   | 655   | 974   | 616   | 1'080 | 927   | 1'453 |
| 150                      | -     | -     | -     | -     | 204   | 322   | 318   | 542   | 388   | 563   | 622   | 825   | 701   | 1'044 | 660   | 1'157 | 993   | 1'557 |
| 160                      | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 339   | 578   | 414   | 601   | 664   | 880   | 748   | 1'113 | 704   | 1'234 | 1'059 | 1'661 |
| 180                      | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 381   | 650   | 466   | 676   | 747   | 990   | 841   | 1'253 | 792   | 1'388 | 1'192 | 1'868 |
| 200                      | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 423   | 722   | 517   | 751   | 830   | 1'100 | 935   | 1'392 | 880   | 1'542 | 1'324 | 2'076 |

## 2. Znacznik głębokości iniekcji $\ell_m$

Odległość  $\ell_m$  od końcówki przedłużki mieszacza zaznacza się po to, by zapewnić dokładną ilość wypełnienia otworu (patrz instrukcja osadzania w punkcie 2.3.2).

$$\ell_m = \ell_{inst} \times (\frac{\phi^2}{D_0^2} - 0.2) \quad \text{zawiera 20 \% dodatek}$$



Uwaga:

- $\ell_m$  oznacza długość części wywierconego otworu, która nie jest wypełniana żywicą.
- stosować odpowiednią końcówkę iniekcijną.

**Tabela 2: Głębokość iniekcji  $\ell_m$**

| $\phi$                  | 10       |          | 12       |          | 16       |          | 20       |          | 25       |          | 28       |          | 32       |          | 36       |          | 40       |          |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| śred<br>nica<br>wiertła | 12       | 14       | 16       | 18       | 20       | 22       | 25       | 28       | 30       | 32       | 35       | 37       | 39       | 42       | 42       | 46       | 46       | 50       |
| $\ell_{inst}$           | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ | $\ell_m$ |
| [cm]                    | [cm]     | [cm]     | [cm]     | [cm]     | [cm]     | [cm]     | [cm]     | [cm]     | [cm]     | [cm]     | [cm]     | [cm]     | [cm]     | [cm]     | [cm]     | [cm]     | [cm]     | [cm]     |
| 10                      | 4        | 3        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 12                      | 5        | 3        | 4        | 2        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 14                      | 6        | 4        | 5        | 3        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 16                      | 7        | 4        | 5        | 3        | 7        | 5        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 20                      | 9        | 6        | 7        | 4        | 8        | 6        | 8        | 6        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 22                      | 10       | 6        | 7        | 5        | 9        | 7        | 9        | 6        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 25                      | 12       | 7        | 9        | 6        | 11       | 8        | 11       | 7        | 12       | 10       | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 28                      | 13       | 8        | 10       | 6        | 12       | 9        | 12       | 8        | 13       | 11       | 12       | 10       | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 30                      | 14       | 9        | 10       | 7        | 13       | 9        | 13       | 9        | 14       | 12       | 13       | 11       | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| 32                      | 15       | 9        | 11       | 7        | 14       | 10       | 14       | 9        | 15       | 13       | 14       | 11       | 15       | 12       | -        | -        | -        | -        |
| 34                      | 16       | 10       | 12       | 8        | 14       | 11       | 14       | 10       | 16       | 13       | 14       | 12       | 16       | 12       | -        | -        | -        | -        |
| 36                      | 17       | 11       | 13       | 8        | 15       | 11       | 15       | 11       | 17       | 14       | 15       | 13       | 17       | 13       | 19       | 14       | -        | -        |
| 38                      | 18       | 11       | 13       | 9        | 16       | 12       | 16       | 11       | 18       | 15       | 16       | 14       | 17       | 14       | 20       | 15       | -        | -        |
| 40                      | 19       | 12       | 14       | 9        | 17       | 13       | 17       | 12       | 19       | 16       | 17       | 14       | 18       | 15       | 21       | 16       | 22       | 17       |
| 45                      | 22       | 13       | 16       | 11       | 19       | 14       | 19       | 13       | 22       | 18       | 19       | 16       | 21       | 17       | 24       | 18       | 25       | 19       |
| 50                      | 24       | 15       | 18       | 12       | 22       | 16       | 22       | 15       | 24       | 20       | 22       | 18       | 23       | 19       | 26       | 20       | 27       | 22       |
| 55                      | 27       | 17       | 19       | 13       | 24       | 18       | 24       | 17       | 27       | 22       | 24       | 20       | 26       | 20       | 29       | 22       | 30       | 24       |
| 60                      | 29       | 18       | 21       | 14       | 26       | 19       | 26       | 18       | 29       | 24       | 26       | 22       | 28       | 22       | 32       | 24       | 33       | 26       |
| 65                      | 32       | 20       | 23       | 15       | 28       | 21       | 28       | 20       | 32       | 26       | 28       | 24       | 30       | 24       | 34       | 26       | 36       | 28       |
| 70                      | 34       | 21       | 25       | 17       | 30       | 23       | 30       | 21       | 34       | 28       | 30       | 26       | 33       | 26       | 37       | 28       | 38       | 30       |
| 75                      | 37       | 23       | 27       | 18       | 33       | 24       | 33       | 23       | 37       | 30       | 33       | 27       | 35       | 28       | 40       | 30       | 41       | 33       |
| 80                      | 39       | 24       | 29       | 19       | 35       | 26       | 35       | 24       | 39       | 32       | 35       | 29       | 37       | 30       | 42       | 32       | 44       | 35       |
| 85                      | 42       | 26       | 30       | 20       | 37       | 27       | 37       | 26       | 42       | 34       | 37       | 31       | 40       | 32       | 45       | 35       | 47       | 37       |
| 90                      | 44       | 27       | 32       | 22       | 39       | 29       | 39       | 27       | 44       | 36       | 39       | 33       | 42       | 34       | 48       | 37       | 50       | 39       |
| 100                     | 49       | 31       | 36       | 24       | 44       | 32       | 44       | 31       | 49       | 41       | 44       | 37       | 47       | 38       | 53       | 41       | 55       | 44       |
| 110                     | -        | -        | 39       | 26       | 48       | 36       | 48       | 34       | 54       | 45       | 48       | 40       | 52       | 41       | 58       | 45       | 61       | 48       |
| 120                     | -        | -        | 43       | 29       | 52       | 39       | 52       | 37       | 59       | 49       | 52       | 44       | 56       | 45       | 64       | 49       | 66       | 52       |
| 130                     | -        | -        | 47       | 31       | 57       | 42       | 57       | 40       | 64       | 53       | 57       | 48       | 61       | 49       | 69       | 53       | 72       | 57       |
| 140                     | -        | -        | -        | -        | 61       | 46       | 61       | 43       | 69       | 57       | 61       | 52       | 66       | 53       | 74       | 57       | 77       | 61       |
| 150                     | -        | -        | -        | -        | 66       | 49       | 66       | 46       | 74       | 61       | 66       | 55       | 70       | 57       | 80       | 61       | 83       | 66       |
| 160                     | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 70       | 49       | 79       | 65       | 70       | 59       | 75       | 60       | 85       | 65       | 88       | 70       |
| 180                     | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 79       | 55       | 89       | 73       | 79       | 67       | 85       | 68       | 96       | 74       | 100      | 79       |
| 200                     | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 88       | 62       | 98       | 82       | 88       | 74       | 94       | 76       | 106      | 82       | 111      | 88       |

# **A03 Podstawy wymiarowania zakotwień i połączeń na zakład stali zbrojeniowej**

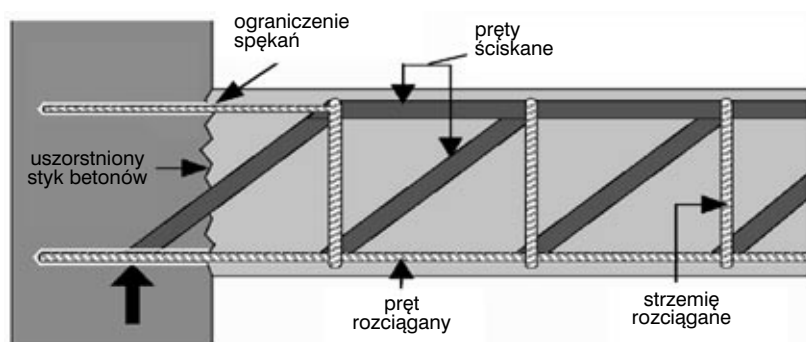
## **1. Model obliczeniowy dla żelbetu**

Przedstawione tutaj zasady wymiarowania opierają się na modelach i założeniach normy EC 2: 1992 i dlatego dotyczą tylko żelbetu, który został wykonany zgodnie z ogólnymi zasadami tej normy. Do wklejania prętów zbrojeniowych na żywicę można stosować tylko pręty o prostych końcach. Gdy wymagania normy odnośnie zakotwienia tego rodzaju nie mogą być spełnione, są konieczne dodatkowe analizy.

### **1.2 Model ustroju prętowego (kratownicowego):**

Model ustroju prętowego stosuje się dla określenia kierunków obciążeń i wartości sił działających w żelbetowym elemencie budowlanym.

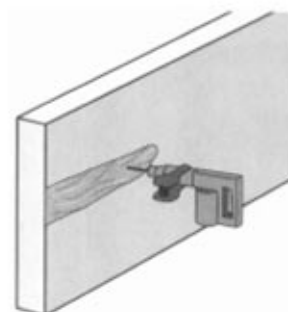
Wytrzymałość betonu na rozciąganie w porównaniu z wytrzymałością na ściskanie jest niewielka. Dlatego pierwotne siły rozciągające zasadniczo przyporządkowuje się zbrojeniu.



Rys 1a: Model ustroju prętowego

### **1.3 Szczelina uszorstniona**

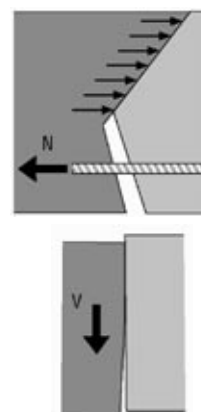
Przenoszenie sił ścinających przez szczelinę stykową analizuje się na modelu z ukośnymi prętami ściskanymi. Dlatego niezbędna jest szorstka powierzchnia, by zapewnić wystarczające zazębienie w szczelinie.



Rys 1b: Zgrzeszkowana (uszorstniona) szczelina

### **1.4 Model symulacyjny tarcia poślizgowego do analizy przenoszenia sił poprzecznych**

Stosowany w budownictwie żelbetowym model symulacyjny tarcia poślizgowego również zakłada uszorstnienie powierzchni. Wskutek równoległego przemieszczenia wywołanego siłą poprzeczną, obydwie chropowate powierzchnie wykazują tendencję do rozwarstwienia, przez co na odpowiednie pręty jednocześnie oddziałują siła rozciągająca i moment zginający. Wielkość tych dwóch oddziaływań zależy od chropowatości powierzchni. Testy wykazały, że z powodu kombinowanego obciążenia tylko 50 % siły działającej w stali przypada na tarcie. (Patrz Podręcznik Techniki Kotwienia Hilti, załącznik 2). Część siły ścinającej w uszorstnionej szczelinie może być również przenoszona dzięki dodatkowym zazębieniom i kohezji.

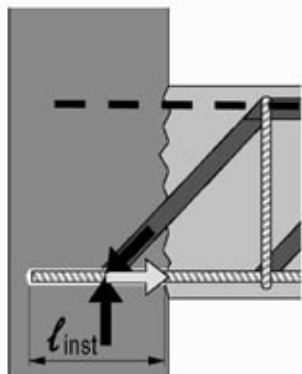


Rys 1c:

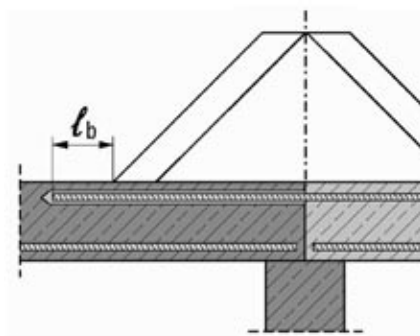
## 2. Kotwienie zbrojenia

W normie przewidziano następujące przypadki zbrojenia zakotwionego w strefie, w której nie jest już wymagane przenoszenie obciążeń:

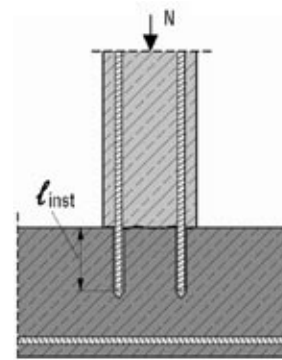
- gdy siła rozciągająca kończy się w węźle ustroju prętowego (na przykład na podporze, rys. 2a)
- zbrojenie stopniowane (patrz rys 2b)
- kotwienie prętów ściskanych (rys. 2c).



Rys 2a: Na podporze model kratownicy



Rys 2b: Poza strefą obciążenia rozciągającego

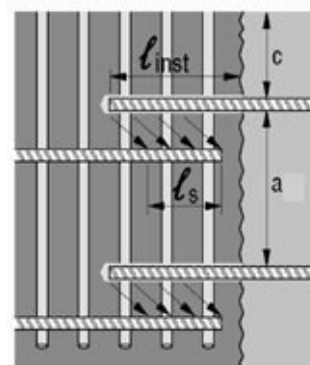


Rys 2b: Pręty ściskane

## 3. Połączenia na zakład

Połączenia zakładkowe stosuje się wtedy, gdy trzeba zapewnić ciągłość pasa rozciąganego przy przejściu przez szczelinę stykową. Przy analizie przeniesienia siły rozciągającej z jednego zakotwionego w betonie pręta na drugi stosuje się model ustroju prętowego z prętami ściskanymi pochyłymi pod kątem 45°.

Przejęcie pojawiających się w rezultacie oddziaływań sił rozłupujących musi być zapewnione przez odpowiednią grubość otuliny, rozstaw prętów i zaprojektowane zbrojenie poprzeczne.



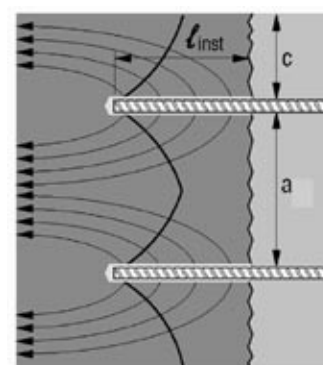
Rys 3: Połączenie na zakład

## 4. Model obliczeniowy dla kotew w niezbrojonym betonie

W przypadku niezbrojonego betonu, nieznanego zbrojenia lub gdy wymagania normy nie mogą być spełnione, stosuje się model obliczeniowy teorii kotew, by na jego podstawie określić rozkład sił.

Model kotew wychodzi z założenia, że siły rozciągające w pręcie są przejmowane przez naprężenia rozciągające w niezbrojonym betonie (rys. 4). Metoda kotew została szczegółowo objaśniona w Podręczniku Techniki Kotwienia Hilti.

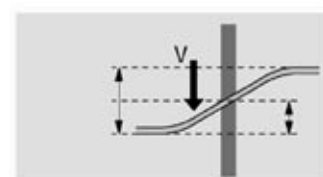
Uwaga: W tej metodzie projektowania zakotwień wklejanych stali zbrojeniowej zakłada się przyłożenie i przejście tylko sił rozciągających. Siły poprzeczne są przenoszone przez uszorstnioną powierzchnię.



Rys 4: Teoria kotew

## 5. Pręty kotwiące

Przenoszenie sił poprzecznych przez stal prętową na zasadzie zginania (zginanie pręta zbrojeniowego lub pręta kotwiącego, patrz rys. 5) przy gładkich powierzchniach dopuszcza się tylko wtedy, gdy są dozwolone duże przemieszczenia (na przykład w przypadku szczelin dylatacyjnych). W takiej sytuacji zastosowanie znajduje teoria kotew (patrz Podręcznik Techniki Kotwienia Hilti).



Rys 5: Przenoszenie obciążeń poprzecznych



# **A04 Zasady zbrojenia według {EC 2 (ENV 1992-1-1:1992)} na przykładzie betonu C20/25 i prętów o średnicach $\leq 32$ mm**

|   |  |   |  |             |
|---|--|---|--|-------------|
| Kotwienie:  |  |   |  |             |
| Wartość obliczeniowa naprężenia ścinającego spoiny klejowej $f_{bd}$          | $f_{bd}=2,3 \text{ N/mm}^2$  | Pręty rozciągane i ściskane, {Tabela 5.3}<br>pomnożyć przez 0,7 dla niekorzystnych warunków zakotwienia                       |  |             |
| Podstawowe długości zakotwienia   | $\ell_b=(\varnothing/4) \times (f_{yd}/f_{bd})$  | {Równanie 5.3}  |  |             |
| Wymagana długość zakotwienia $\ell_{inst}$ :                                  | $\ell_{b,net} = \alpha_a \cdot \ell_b \cdot \frac{A_{s,wy\text{mag}}}{A_{s,vorh}} \geq \ell_{b,min}$ {Równanie 5.4}<br>$\alpha_a=1,0$ dla prostych końców prętów |   |  |             |
| Minimalna długość zakotwienia   | $\ell_{b,min}=0,3 \ell_b \geq 10 \varnothing$ lub $100 \text{ mm}$<br>$\ell_{b,min}=0,6 \ell_b \geq 10 \varnothing$ lub $100 \text{ mm}$                         | Pręty rozciągane {równanie 5.5}<br>Pręty ściskane {równanie 5.6}  |  |             |
| Zbrojenie poprzeczne  |  | patrz {5.2.3.3}   |  |             |
| Długość zakotwienia na skrajnych podporach (wybierz większą wartość spośród): | $2/3 \ell_{b,net}$<br>$\ell_{b,net}$<br>$F_s=V_{Sd} \cdot a_1 / d + N_{Sd}$  | dla bezpośrednich podpór {5.4.2.1.4}<br>dla pośrednich podpór { 5.15}   |  |             |
| Zbrojenie stopniowane   | większa wartość spośród $\ell_{b,net}$ lub $d$   | {5.4.2.1.3 (2)}   |  |             |
| Połączenia na zakład $\ell_s$ :   | $\ell_s = \ell_{b,net} \cdot \alpha_1 \geq \ell_{s,min}$ {równanie 5.7}  |   |  |             |
| % zbrojenia zachodzącego na siebie w przekroju                                | < 30 %   | Wszystkie inne przypadki  | > 30%  | {5.2.4.1.3} |
| Rozstaw prętów $a$  | > 10 $\varnothing$   |   | < 10 $\varnothing$   |             |
| Otulina betonowa $b$  | $\geq 5 \varnothing$   |   | < 5 $\varnothing$  |             |
| $\alpha_1 =$  | 1.0  | 1.4   | 2.0  |             |
| $\ell_{s,min} =$  | $\text{MAX} \begin{cases} 0.3 \ell_b \\ 15 \Phi \\ 200 \text{ mm} \end{cases}$   | $\text{MAX} \begin{cases} 0.42 \ell_b \\ 15 \Phi \\ 200 \text{ mm} \end{cases}$   | $\text{MAX} \begin{cases} 0.6 \ell_b \\ 15 \Phi \\ 200 \text{ mm} \end{cases}$ | {5.8}       |
| Zbrojenie poprzeczne  |  |   | {5.2.4.1.2}  |             |
| Zasady zbrojenia:   |  |   |  |             |
| Rozstaw prętów zbrojenia  | $s \geq d_g$<br>$s \geq 1 \varnothing$ lub $20 \text{ mm}$   | $d_g$ wartość nominalna średnicy największego ziarna kruszywa {5.2.1.1}   |  |             |
| Odległość między wklejonymi prętami   | $s \geq 5 \varnothing$   | Uwzględnić odchyłki wymiarów przy wierceniu   |  |             |
| Otulina betonowa zabetonowanych prętów  | $c \geq 1 \varnothing$   | {4.1.3.3 (5ff)} połączenie żywiczne<br>Ochrona przed korozją: {tabela 4.2}<br>Ochrona przeciwpożarowa: {EC 2, część 1-2:1995} |  |             |
| Otulina betonowa wklejanych prętów  | $c \geq 2 \varnothing$ lub $30 \text{ mm}$   | Uwzględnić odchyłki wymiarów przy wierceniu<br>Ochrona przed korozją: {tabela 4.2}<br>Ochrona przeciwpożarowa: dodatek 10     |  |             |
| Maksymalny rozstaw prętów rozciąganych  | Ograniczenie szerokości pęknięć: {4.4.2}<br>Minimalne zbrojenie {5.4}, wszystkie elementy budowlane dotyczy zabetonowanych i wklejonych prętów                   |   |  |             |

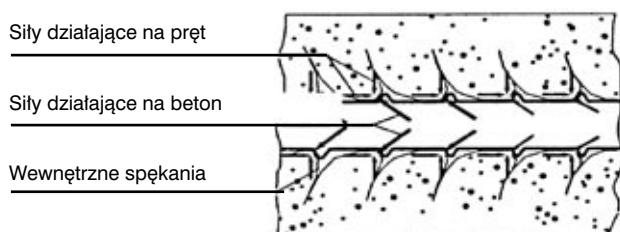
# A05 Analiza przyczepności między stalą żebrowaną i betonem

## 1. Zabetonowana stal żebrowana

Zwykle pręty zbrojeniowe w betonie służą tylko do przenoszenia sił rozciągających lub ściskających w kierunku osi pręta. W przypadku stali żebrowanej 90 % tych obciążeń przenosi się przez żebra do betonu. Siła reakcji w betonie przyjmuje postać pręta ściskanego pochyłonego pod kątem  $45^\circ$ .

W przypadku większych naprężeń ścinających spoiny siły w skoncentrowany sposób przenoszone przez krawędzie żebrowania powodują powstawanie stożkowatych pęknięć, które rozpoczynają się na wierzchołku żebra. Wytworzone kliny betonowe między żebrowaniem przenoszą siły do otaczającego betonu, ale nośność tych klinów jest ograniczona. Na skutek przemieszczenia pręta w betonie (poślizg) przy większym obciążeniu kliny betonowe wyginają się i beton przy powierzchni natarcia żebrowania ulega zniszczeniu.

Siły oddziałujące skośnie względem osi pręta można rozłożyć na składowe równoległe i prostopadłe do osi pręta. Suma składowych równoległych odpowiada naprężeniu ścinającemu spoiny. Składowe promieniowe wytwarzają siły rozciągające, które mogą powodować pękanie (rozłupanie) w kierunku pręta.



Rys. 1



Rys. 2

### Przenoszenie obciążeń ze stali żebrowanej do betonu

Zniszczenie zakotwienia następuje przez wyrwanie pręta (zniszczenie betonu między żebrowaniem, rys. 1) lub rozłupanie betonu, gdy otaczający beton nie jest w stanie przejąć sił rozłupujących (rys. 3). Rodzaj zniszczenia zależy od otuliny betonowej, zbrojenia poprzecznego, rozstawu prętów i średnicy prętów oraz od siły działającej w pręcie.

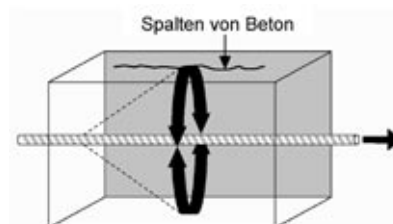
Rozróżnia się tutaj dwa modele zniszczenia:

#### a) Zniszczenie spoiny (rys. 2):

Gdy otulina betonowa i zbrojenie poprzeczne są wystarczające, by zapobiec rozłupaniu otuliny, może nastąpić zniszczenie spoiny przez wyrwanie pręta. W tym przypadku powstaje powierzchnia poślizgu wokół pręta i kliny betonowe zostają ścięte. Wskutek tego mechanizm przenoszenia sił przez żebra zmienia się na przenoszenie sił przez tarcie. Jako kryterium obciążalności można przyjąć wytrzymałość klinów betonowych na ścinanie. Skutkiem tej zmiany jest znaczne zmniejszenie wartości naprężenia, przy którym następuje ścinanie spoiny. Przy postępującym wzroście obciążenia powierzchnia ścinania wygładza się wskutek zużycia i zagęszczenia. Prowadzi to do dalszego spadku naprężeń w spoinie, które stają się porównywalne do wartości występujących dla prętów gładkich.

#### b) Zniszczenie przez rozłupanie betonu (rys. 3):

Gdy promieniowe pęknięcia przenikają całą otulinę betonową, następuje zniszczenie przez rozłupanie. Maksymalne naprężenie ścinające spoiny powstaje wtedy, gdy pęknięcia dochodzą do ok. 70 % grubości otuliny betonowej. Przy dalszym pękaniu następuje zmniejszenie naprężeń wokół zakotwienia i tym samym naprężenia ścinające spoiny. Gdy pęknięcia dochodzą do zewnętrznej powierzchni betonu, obserwuje się wtedy nagły spadek naprężenia ścinającego spoiny (naprężenia wokół zakotwienia).



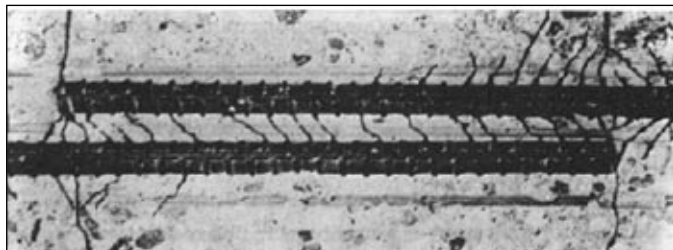
Rys. 3



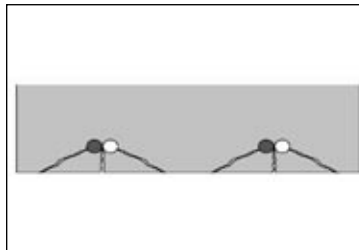
## 2. Zbrojone połączenia na zakład

### 1.1 Model przenoszenia sił przez połączenia na zakład

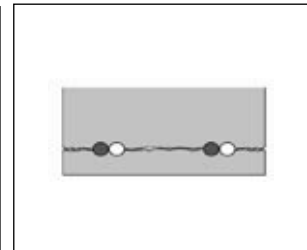
Przenoszenie sił w betonie z jednego pręta na drugi następuje na zasadzie prętów ściskanych (rys. 2a). Przyjmuje się przy tym model symulacyjny kratownicy 45°. Powstałe siły prostopadłe do osi pręta działają tak jak siły rozłupujące. Na połączeniach zakładkowych zwykle są one przejmowane przez zbrojenie poprzeczne. Małe siły rozłupujące mogą być pokonane dzięki wytrzymałości betonu na rozciąganie. Niezbędna ilość zbrojenia poprzecznego lub zbrojenia w postaci strzemion jest określona w odpowiednich normach.



Rys. 2a



Rys. 2b



Rys. 2c

### 2.2 Wpływ rozstawu prętów i grubości otuliny betonowej na wytrzymałość na rozłupanie i odłupanie betonu

W większości przypadków pręty zbrojeniowe umieszcza się w pobliżu powierzchni betonowego elementu budowlanego, by osiągnąć korzystny rozkład pęknięć przy jednoczesnym wykorzystaniu wytrzymałości na zginanie.

Przy dużych odległościach między prętami (na przykład w płytach, rys. 2b) nośność betonu zależy tylko od grubości otuliny betonowej. Przy gęsto usytuowanych prętach (na przykład belki, rys. 2c) istotny jest rozstaw prętów i grubość otuliny betonowej. W wytycznych do projektowania zawartych w normach uwzględniono zmniejszenie nośności otuliny betonowej w taki sposób, że zwiększono długość zakładu w przypadku mniejszych odległości między prętami i od krawędzi (przez zastosowanie współczynnika zwiększającego).

## 3. Przyczepność wklejanych iniekcyjnie prętów zbrojeniowych do betonu

Przenoszenie obciążeń dla prętów zbrojeniowych wklejanych na żywicę następuje podobnie jak w przypadku takich połączeń zabetonowanych, gdy sztywność mechanizmu przenoszącego obciążenia jest podobna. Zależy to od wytrzymałości żywicy na skoncentrowane obciążenia w pobliżu żeber oraz od zdolności przenoszenia obciążeń przez wewnętrzną powierzchnię wywierconego otworu.

W wielu przypadkach wytrzymałość spoiny prętów wklejanych jest większa od zabetonowanych prętów zbrojeniowych ze względu na lepszą przyczepność i nośność żywicy. Jednak w przypadku małych odległości od krawędzi i/lub gęsto ułożonych prętów istotną rolę zaczynają odgrywać siły rozłupujące lub rozwarstwiające ze względu na mniejszą wytrzymałość betonu na rozciąganie.

## A06 Analiza zjawisk zachodzących na połączeniach zakładkowych

### 1. Uwagi ogólne

Długości zakotwienia i zakładu zabetonowanych prętów zbrojeniowych są określone w odpowiednich normach dotyczących żelbetu. W wielu przypadkach długości te są wyrażane jako wielokrotność średnicy pręta. Współczynnik ten zależy zwykle od stanu naprężeń wokół zakotwienia oraz od grubości otuliny betonowej i odległości między prętami. Przy ustalaniu długości zakotwienia uwzględnia się zniszczenie przez rozłupanie/odłupanie betonu i wyrwanie pręta oraz ograniczenie przemieszczenia w betonie.

Przy zakotwieniach prętów zbrojeniowych z użyciem żywicy trzeba spełnić te same kryteria zniszczenia i użytkowania. Rozłupanie jest to zniszczenie otaczającego betonu na skutek nadmiernych naprężeń promieniowych.

Wytyczne do projektowania kotew mają na celu zapobieganie rozłupaniu betonu przez określenie minimalnych rozstawów między prętami i minimalnych odległości od krawędzi. W przypadku wklejania prętów zbrojeniowych na żywicę ograniczenie to nie ma sensu, ponieważ statyczne wykorzystanie prętów zbrojeniowych wymaga ułożenia ich możliwie jak najbliżej krawędzi betonu. Ponieważ rozłupanie stanowi czyste zniszczenie betonu, przy wymiarowaniu, mającym na celu zapobieżenie rozłupaniu przy wklejaniu prętów na żywicę, stosuje się takie same reguły jak w przypadku zabetonowanych prętów. Norma „American Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-02)” podaje konkretny wzór na długość zakotwienia zabetonowanych prętów, który uwzględnia geometrię zakotwienia także jakość betonu.

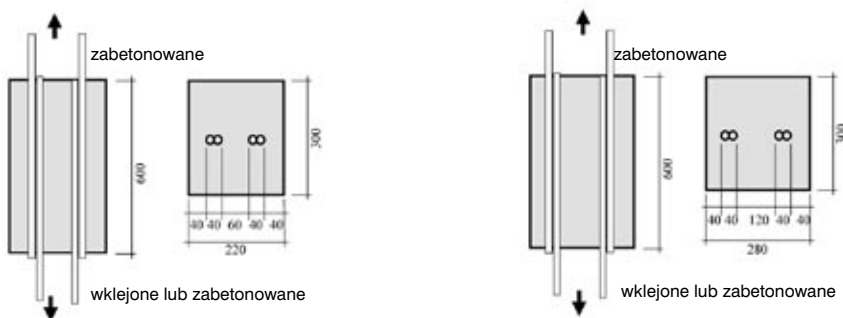
Innym rodzajem zniszczenia jest wyrwanie prętów zbrojeniowych (zniszczenie spoiny). Gdy rozstaw prętów i odległość od krawędzi nie mają wpływu, wytrzymałość spoiny żywicy użytej do wklejenia prętów zbrojeniowych może się znacznie różnić od wytrzymałości spoiny zabetonowanych prętów. W przypadku zabetonowanego zbrojenia naprężenie, przy którym następuje zniszczenie spoiny, zależy głównie od kształtu żeber pręta. Natomiast wytrzymałość spoiny żywicy pręta wklejonego zależy od właściwości żywicy i może się znacznie wahać w zależności od wyrobu.

### 2. Próby z połączeniami na zakład dla sprawdzenia, czy sztywność spoiny jest wystarczająca

Na połączeniach na zakład w zbrojonym betonie obciążenia powodują mikropęknięcia rozchodzące się klinowo od żeber, wskutek czego naprężenia ścinające spoiny rozkładają się mniej więcej równomiernie nawet przy dużych długościach zakładu i tym samym siły rozłupujące są niewielkie. W próbach należało wykazać, że sztywność połączenia przy użyciu wklejanych prętów jest podobna jak dla prętów zabetonowanych i że można przyjąć podobne siły rozciągające, przy których następuje rozłupanie.

Wykonano odpowiednie próby i porównano połączenia zakładkowe z obustronnie zabetonowanymi prętami i połączenia zakładkowe z prętami wklejonymi z jednej strony (przy użyciu HIT-HY 150 lub HIT-RE 500). Schemat doświadczenia przedstawiono na rysunku 1. Długości zakładu i odległości między zabetonowanymi i wklejnymi prętami (w świetle) były jednakowe.

Po upływie 28 dni od zabetonowania nawiercono otwory i wklejono pręty. Zmierzono przemieszczenia nieobciążonych i obciążonych końców prętów względem powierzchni betonu. Ponadto zmierzono rozwarcia pęknięć.



Próbka: 220x300 mm

Próbka: 280x300 mm

Rys. 1: Próbkę połączeń na zakład

### Obciążenia niszczące

Obciążenia niszczące trzech kombinacji (obydwie strony zabetonowane/jedna strona zabetonowana, jedna strona z prętami wklejonymi przy użyciu Hilti HIT-HY-150/jedna strona zabetonowana, jedna strona z prętami wklejonymi przy użyciu HIT-RE 500) są porównywalne i nie różnią się od siebie o więcej niż 10%.

| Obciążenia niszczące                                     | Próbka 220x300  | Próbka 280x300  |
|--|-----------------|-----------------|
| obydwie strony próbki z prętami zabetonowanymi           | <b>209.5 kN</b> | <b>259.4 kN</b> |
| jedna strona z prętami wklejonymi przy użyciu HIT-HY 150 | <b>234.0 kN</b> | <b>271.9 kN</b> |
| jedna strona z prętami wklejonymi przy użyciu HIT-RE 500 | <b>234.1 kN</b> | <b>267.3 kN</b> |

Tabela 2: Obciążenia niszczące próbek z połączeniami na zakład (wartość średnia z 3 prób dla każdej kombinacji)

**Spieth** wykazał [12], że równomierny rozkład obciążenia wzdłuż osadzenia i sztywność porównywalna z zabetonowanymi prętami mają istotne znaczenie dla osiągnięcia dużej wytrzymałości na rozłupanie i odporności na zniszczenie. Tabela 2 pokazuje, że pręty wklejone metodą HIT-Rebar odznaczają się nawet większą obciążalnością niż zabetonowane pręty zbrojeniowe.

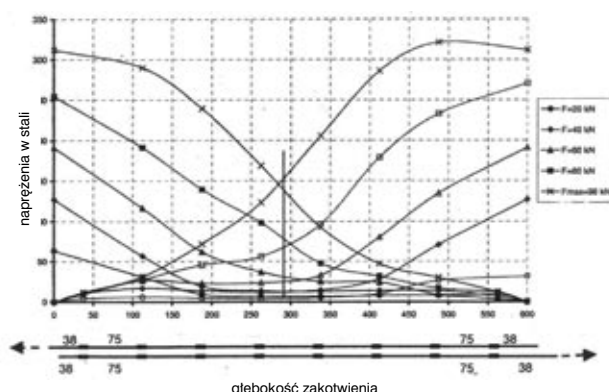
**W ten sposób udowodniono, że połączenia na zakład prętów zbrojeniowych wykonane przy użyciu żywicy Hilti HIT-HY 150 lub Hilti HIT-RE 500 odznaczają się taką samą nośnością jak zabetonowane połączenia zakładkowe.**

**Spieth** [12] wykonał testy porównawcze połączeń zakładkowych przy zastosowaniu innych zapraw. Wymiary próbek były podobne do próbek 220 x 300 mm przedstawionych na rysunku 2, ale zastosowano dodatkowe zbrojenie poprzeczne.

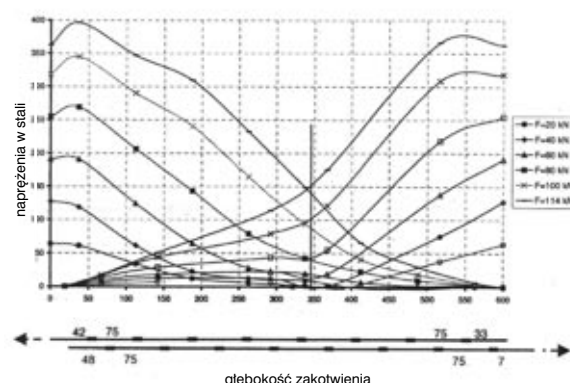
Rysunek 3a przedstawia maksymalne naprężenie niszczące w stali dla (od strony prawej do lewej) połączeń na zakład zabetonowanych i połączeń na zakład wykonanych przy użyciu zaprawy hybrydowej, zaprawy cementowej, sztywnej żywicy epoksydowej i miękkiej zaprawy poliestrowej. W testach tych zabetonowane połączenia na zakład, systemy hybrydowe i cementowe wykazały podobne obciążenia niszczące. Obciążenie niszczące sztywnego systemu epoksydowego było o 5 – 10%, a miękkiego systemu z zaprawą poliestrową – nawet o ok. 25% mniejsze.

### Naprężenia w stali w obszarze połączeń zakładkowych

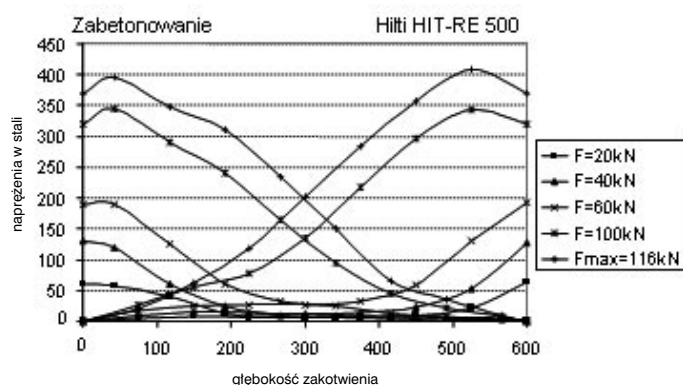
Rysunki 3a i 3b przedstawiają naprężenia w stali w obszarze połączeń zakładkowych z zastosowaniem a) dwóch zabetonowanych prętów, b) jednego zabetonowanego pręta i jednego pręta wklejonego przy użyciu żywicy HIT-HY 150. Na rysunku 3c dla porównania uwidoczniono naprężenia w stali dla pręta wklejonego przy użyciu żywicy HIT-RE 500, zmierzone na próbkach 220 x 300 mm według rysunku 2.



Rys. 3a: Naprężenia w stali w zabetonowanym połączeniu na zakład (z [11])



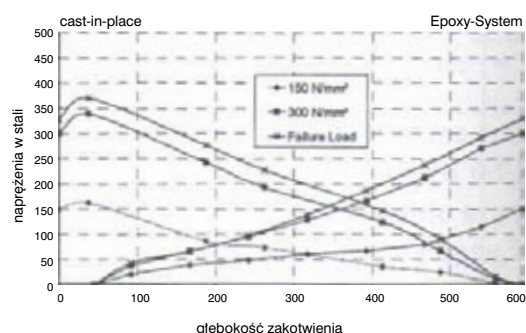
Rys. 3b: Naprężenia w stali w połączeniu na zakład z jednym zabetonowanym (z lewej strony) i jednym prętem później wklejonym przy użyciu żywicy Hilti HIT-HY 150 (z prawej strony) (z [11])



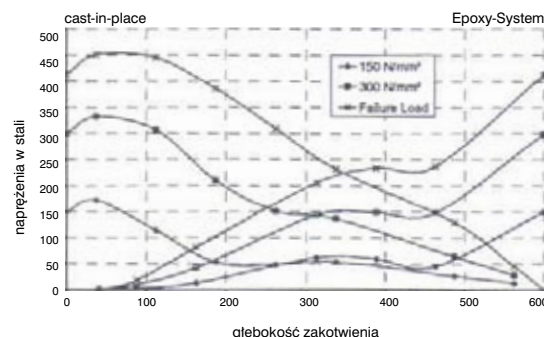
Rys. 3c: Naprężenia w stali w połączeniach na zakład, pręt zabetonowany z (z lewej strony) i pręt wklejony przy użyciu żywicy Hilti HIT-RE 500 (z prawej strony).

Rysunek 3a przedstawia symetryczne naprężenia dla obydwu zabetonowanych prętów. Na połączeniu zakładkowym wykonanym przy użyciu żywicy Hilti HIT-HY 150 występuje niewielka mimośrodowość naprężeń (rys. 3b), ale nie jest ona krytyczna, ponieważ obciążenia zawierają się w tym samym zakresie. Naprężenia w pręcie osadzonego przy użyciu żywicy Hilti HIT-RE 500 są prawie identyczne jak dla pręta wklejonego przy użyciu HIT-HY 150. W ten sposób wykazano, że obciążenia przenoszone do betonu przez pręty wklejone przy użyciu żywicy Hilti HIT-RE 500 lub Hilti HIT-HY 150 są takie same jak obciążenia przenoszone przez pręty zbrojeniowe.

Inne testy opublikowane przez Spietha [12] wykazały, że zaprawy niezapewniające takiej samej sztywności jak pręty zabetonowane (na przykład sztywna żywica epoksydowa lub miękka zaprawa poliestrowa) dla tego przypadku zastosowania nie są odpowiednie. Obciążenia są przenoszone wyraźnie niesymetrycznie i powodują przedwczesne zniszczenie przez rozłupanie (rys. 3d, e).



d) Miękka zaprawa poliestrowa



e) Sztywna żywica epoksydowa

Rys. 3d, e: Naprężenie w stali na połączeniach na zakład (z [12])

## Wykaz literatury

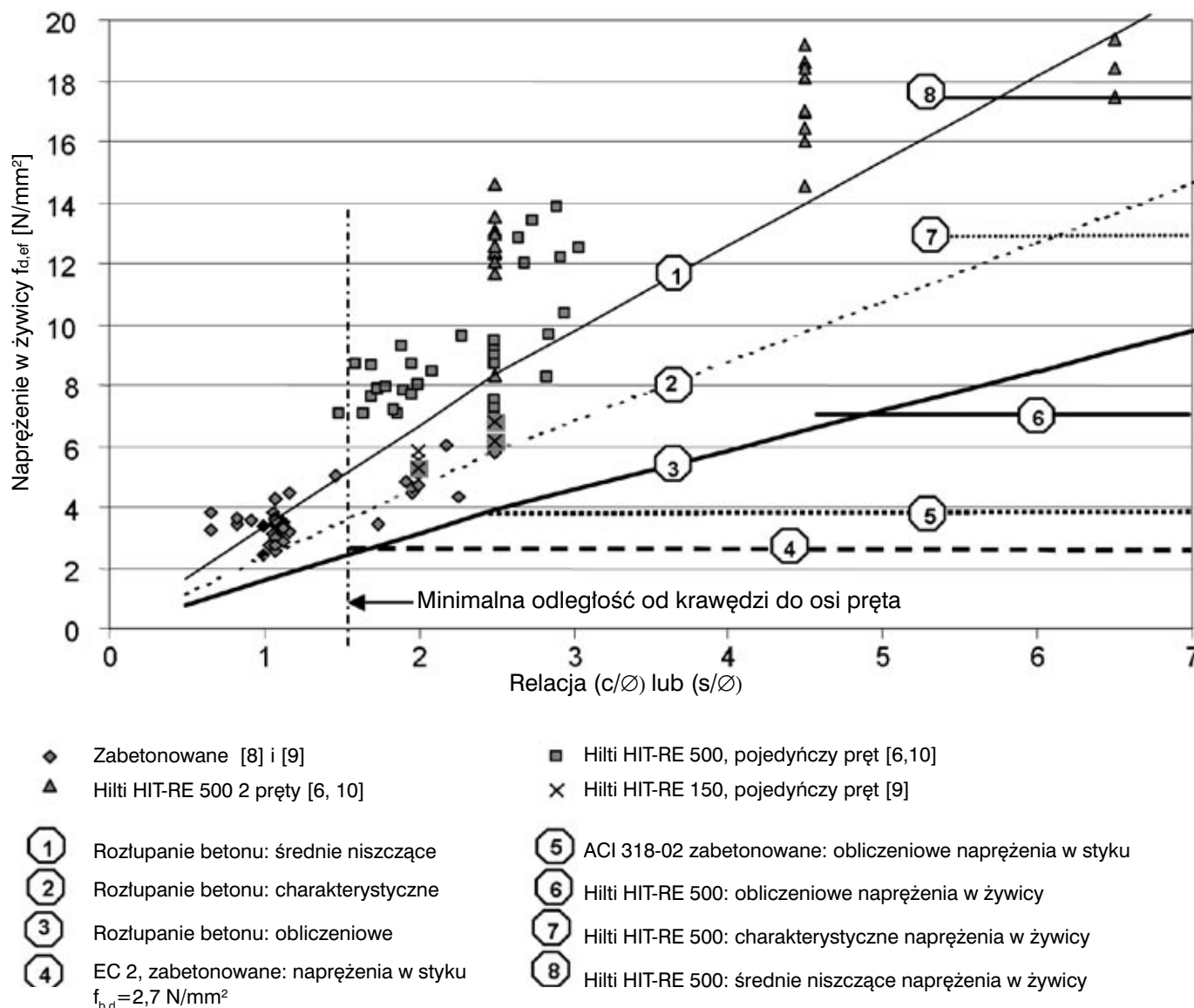
- [2] Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-02) and Commentary 318R-02 American Concrete Institute, Michigan. ISSN 0065-7875.
- [3] Darwin, D., Idun, E.K. et al.: Reliability-Based Strength Reduction Factor for Bond. ACI Structural Journal, V. 95, nr 4, lipiec – sierpień 1998
- [4] Darwin, D., Zuo M.L., et al.: Development Length Criteria for Conventional and High Relative Rib Area Reinforcing Bars. ACI Structural Journal, V. 93, nr 3, maj – czerwiec 1996.
- [5] Pullout and Direct Shear Tests of Deformed Reinforcement Using Product A. Final Test Report for Hilti. Prof. D.-U. Choi, Hankyong National University, Korea. Grudzień 1999.
- [6] Pullout Tests with Product B. Hilti internal test report. Niepublikowane.
- [8] Chinn, Ferguson, Thompson, Neils, 1955. Lapped Splices in Reinforced Concrete Beams. ACI Journal, Proceedings V. 54, nr 8, luty, strony 689-698
- [9] Spieth, Eligehausen, Fuchs: Wklejane pręty zbrojeniowe (żywica iniekcyjna HIT-HY 150), próby wyrwania pojedynczych prętów przy dużej i małej grubości otuliny betonowej. Sprawozdanie FH1/1 – 97/1 z dn. 18.8.1997
- [10] Kuster: Kotwienie prętów zbrojeniowych. Praca dyplomowa ETH Zürich 2001.
- [11] Nośność połączeń zakładkowych z wklejonymi pętami zbrojeniowymi. Praca dyplomowa A. Quasema, Uniwersytet w Sztuttgarcie, marzec 1999
- [12] Spieth, Ozbolt, Eligehausen, Appl: Numerical and Experimental Analysis of Post-Installed Rebars Spliced with Cast-in-Place Rebars. International Symposium on Connections between Steel and Concrete. RILEM, Sztuttgart, wrzesień 2000.

## A07 Metoda obliczania Hilti HIT-Rebar i ACI 318-02

### 1. Metoda ACI 318-02

Amerykańska norma ACI 318-02 podaje przejrzysty wzór na obliczanie długości zakotwienia i połączeń zakładkowych, w których uwzględnia wytrzymałość na rozłupanie betonu jako funkcję grubości otuliny betonowej i rozstawu prętów. Koncepcja ta została zaadaptowana i rozszerzona dla obliczania zakotwień prętów zbrojeniowych wklejanych na żywice metodą Hilti HIT-Rebar. Metoda ta definiuje długość zakotwienia lub połączenia na zakład jako funkcję granicy plastyczności stali, wytrzymałości betonu na ściskanie, średnicy pręta, minimalnych odległości od krawędzi lub rozstaw prętów oraz współczynnika uwzględniającego zbrojenie poprzeczne.

Rysunek 1 przedstawia efektywne naprężenie ścinające spoiny jako funkcję względnej odległości od krawędzi  $c/\varnothing$  lub odległości między prętami  $s/2\varnothing$ . Naprężenie to rośnie liniowo ze wzrostem wartości  $c/\varnothing$  lub  $s/2\varnothing$ , ale jest ograniczone wartością maksymalną, przy której następuje wyrwanie pręta. Graniczna wartość naprężenia ścinającego dla zabetonowanych prętów została określona w odpowiednich normach, a producent podaje ją w odniesieniu do prętów wklejanych. W normie ACI 318-02 naprężenie ścinające spoiny dla betonu klasy C25/30 zostało ograniczone do 3,9 N/mm<sup>2</sup>.



Rys. 1: Współzależność naprężeń w spoinie i zniszczenie betonu dla C25/30



### Wartość obliczeniowa naprężenia ścinającego spoiny

Norma amerykańska ACI 318-02 zapobiega więc zniszczeniu przez wyrwanie pręta przez ustalenie wartości obliczeniowej naprężenia ścinającego spoiny (np. na 3,9 N/mm<sup>2</sup> w C30), przy którym nie grozi rozłupanie.

Przy małych odległościach od krawędzi lub gęsto ułożonych prętach naprężenie ścinające spoiny zgodnie ze wspomnianym wzorem ulega redukcji. Inne normy, jak na przykład EC 2, upraszczają tę zasadę i ustalają wartość obliczeniową naprężenia ścinającego spoiny przy zachowaniu minimalnych odległości od krawędzi i między prętami tak, by rozłupanie nie mogło nastąpić. EC 2 określa wartość obliczeniową naprężenia ścinającego spoiny w betonie C25/30 jako 2,7 N/mm<sup>2</sup>. Dokładnie rzecz biorąc, wartość obliczeniowa naprężenia ścinającego spoiny podana w EC 2 odpowiada rozłupaniu w niekorzystnych warunkach, a nie maksymalnemu możliwemu naprężeniu ścinającemu spoiny dla zabetonowanej stali zbrojeniowej. Rysunek 1 przedstawia różne naprężenia ścinające spoiny dla zabetonowanych prętów dla prętów wklejonych na żywicę.

Dla prętów wklejanych na żywice maksymalne naprężenia w połączeniu są funkcją naprężeń w żywicy, których wartość może być różna od tych dla prętów zabetonowanych. Dlatego wartość obliczeniowa z tej normy została zastąpiona wartością obliczeniową naprężenia ścinającego spoiny wykonanej przy użyciu danej zaprawy iniekcyjnej, podczas gdy czynniki wpływające na rozłupanie betonu zostały na podstawie prób (rys. 1) przejęte z normy ACI 318.

## 2. Wpływ grubości otuliny betonowej i zbrojenia poprzecznego (zbrojenia na rozciąganie rozłupujące)

Testy wykazały, że zbrojenie poprzeczne zmniejsza niebezpieczeństwo rozłupania i rozwarstwienia betonu. Zbrojenie poprzeczne można uwzględnić, przyjmując większą zastępczą grubość otuliny betonowej. Norma ACI 318-02 uwzględnia wpływ zbrojenia poprzecznego, które zapobiega rozłupaniu i rozwarstwieniu, przez wprowadzenie „współczynnika zbrojenia poprzecznego  $K_{tr}$ ”.

Wartość obliczeniowa naprężenia niszczącego beton spoiny według wzoru podanego w normie ACI 318-02:

$$f_{bd} = \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{C + K_{tr}}{4 \cdot \phi \cdot \xi} ; K_{tr} = \frac{A_{tr} + f_{yt}}{10,34 \cdot s \cdot n} ; \frac{C + K_{tr}}{\phi} \leq 2,5 ; \quad (\text{jednostki układu SI})$$

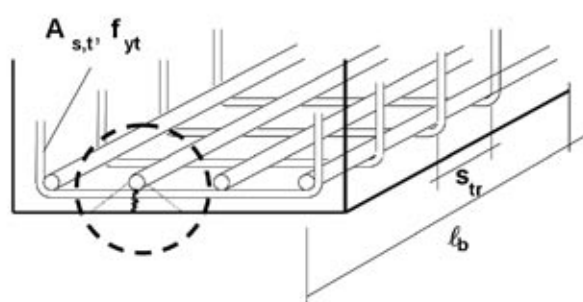
gdzie:  $A_{tr}$  całkowity przekrój zbrojenia poprzecznego na odległości między prętami  $s$ , które przechodzi przez potencjalną powierzchnię przełomu [mm<sup>2</sup>]

$f_{yt}$  granica plastyczności zbrojenia poprzecznego [N/mm<sup>2</sup>]

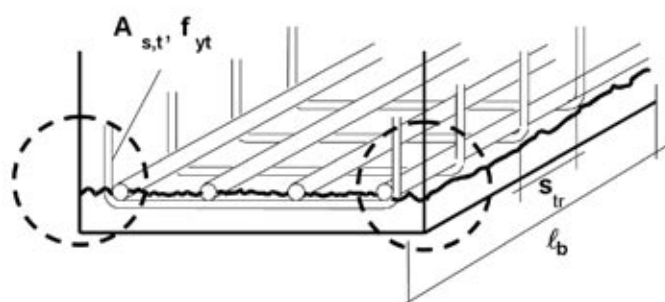
$s$  maksymalny rozstaw zbrojenia poprzecznego (między osiami prętów) na długości  $\ell_b$  [mm]

$n$  liczba prętów wzdłuż tworzącej się powierzchni przełomu [-]

$\xi$  współczynnik uwzględniający różne czynniki wpływające



a) Rozłupanie betonu



b) Rozwarstwianie

Rys.2: Zbrojenie poprzeczne (zbrojenie na rozciąganie rozłupujące):

Rysunek 2 przedstawia wpływ zbrojenia poprzecznego w dwóch typowych przypadkach. Przy niewielkiej grubości otuliny betonowej powstają pęknięcia w kierunku powierzchni betonu (rys. 2a). Zbrojenie poprzeczne przecina powstającą powierzchnię przełomu tylko raz. Dlatego całkowita powierzchnia przekroju zbrojenia poprzecznego, które przecina powierzchnię przełomu,  $A_{tr} = A_{s,t}$  i liczba prętów przebiegających wzdłuż powierzchni przełomu  $n = 1$ . Przy niewielkich odległościach między prętami grozi odlupanie całej otuliny betonowej, jak to przedstawia rysunek 2b. W tym przypadku strzeżenie przecina powierzchnię przełomu dwukrotnie. Dlatego  $A_{tr} = 2A_{s,t}$  i  $n = 4$ .

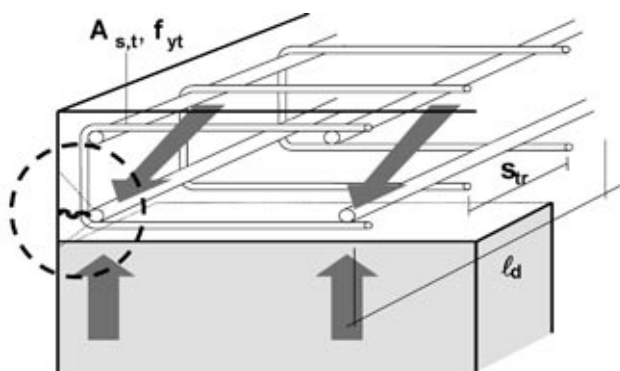


W płycie z poziomym zbrojeniem poprzecznym zamiast strzemion wartości z rysunku 2a pozostają niezmienione ( $A_{tr}=A_{s,t}$ ,  $n=1$ ), ale przy analizowaniu odlupania widać, że poziome zbrojenie poprzeczne w ogóle nie zwiększa odporności na zniszczenie ( $A_{tr}=0$ ).

Dla przykładu zbrojenie poprzeczne z prętów o średnicy 10 mm i rozstawie 200 mm przy określonej granicy plastyczności 500 N/mm<sup>2</sup> zapewnia współczynnik  $K_{tr}=19$  mm dla przypadku przedstawionego na rysunku 2a i  $K_{tr}=9,5$  mm dla przypadku przedstawionego na rysunku 2b. W przypadku odlupania w płycie z poziomym zbrojeniem poprzecznym  $K_{tr}=0$ .

**Współczynnik zbrojenia poprzecznego  $K_{tr}$  jest stosowany jako „dodatkowa” otulina betonowa grubości  $K_{tr}$ .**

Rysunek 2c przedstawia płytę opartą na podporze. Odlupaniu dolnej otuliny betonowej zapobiega siła reakcji podpory i skośna siła ściskająca wynikająca ze ścinania. Pręt w narożniku jest krytyczny z punktu widzenia poziomego rozłupania powierzchni bocznej płyty. Dlatego końce płyt normalnie zamyka się strzemionami. Gdy przy projektowaniu uwzględni się strzemiona, można zwiększyć wytrzymałość na rozłupanie.



Rysunek 2c: Rozłupanie w narożniku podpory

### 3. Ostateczne wzory obliczeniowe według arkusza kalkulacyjnego Hilti EXBAR<sup>1)</sup>

dla  $\frac{c+K_{tr}}{\phi} \leq 2,5$  (pręty zabetonowane i wklejone):

$$f_{bd} = \frac{\sqrt{f_{ck}}}{4 \cdot \gamma} \cdot \frac{c+K_{tr}}{\phi} ; \text{ lub } \frac{l_b}{\phi} = \frac{f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \cdot \frac{\gamma}{\frac{c+K_{tr}}{\phi}}$$

dla  $\frac{c+K_{tr}}{\phi} > 2,5$  (tylko pręty wklejone):

$$f_{bd} = \frac{\sqrt{f_{ck}}}{4 \cdot \gamma} \cdot \left[ 2,5 + 0,75 \cdot \left( \frac{c+K_{tr}}{\phi} - 2,5 \right) \right] ; \text{ lub } \frac{l_b}{\phi} = \frac{f_y}{4 \cdot \sqrt{f_{ck}}} \cdot \frac{\gamma}{2,5 + 0,75 \cdot \left( \frac{c+K_{tr}}{\phi} - 2,5 \right)}$$

gdzie:

- $f_{bd}$  wartość obliczeniowa naprężenia ścinającego spoiny [N/mm<sup>2</sup>]
- $l_b$  długość zakotwienia [mm]
- $\phi$  nominalna średnica pręta [mm]
- $f_{ck}$  charakterystyczna wytrzymałość cylindryczna betonu na ściskanie [N/mm<sup>2</sup>]
- $c$  min { $c_{min}$ ; 0,5 s} [mm]
- $c_{min}$  minimalna odległość od krawędzi (liczona od osi pręta) [mm]
- $s$  odległość między prętami [mm]

$$K_{tr} = \frac{A_{tr} \cdot f_{ty}}{0,34 \cdot s_t \cdot n} ; \quad \frac{c + K_{tr}}{\phi} \leq 2,5 \quad \text{dla zabetonowanych prętów}$$

$A_{tr}$  całkowity przekrój zbrojenia poprzecznego na odległości między prętami  $s$ , które przechodzi przez potencjalną powierzchnię przełomu [mm<sup>2</sup>]

$f_{yt}$  granica plastyczności zbrojenia poprzecznego [N/mm<sup>2</sup>]

$s_t$  maksymalny rozstaw zbrojenia poprzecznego (między osiami prętów) na długości  $\ell_b$  [mm]

$n$  liczba prętów wzdłuż tworzącej się powierzchni przełomu [-]

$\gamma$  Współczynnik wielkości pręta:  $\gamma=0,8$  dla średnicy pręta  $\leq 19$  mm  
 $\gamma=1,0$  dla średnicy pręta  $\geq 22$  mm  
 (liniowa interpolacja między 19 i 22 mm – > średnica 20 mm:  $\gamma=0,86$ )

Uwaga: Następujące współczynniki z normy ACI 318-02 przyjęto jako 1,0

$\beta=1,0$  dla zbrojenia niepowleczonego

$\lambda=1,0$  dla betonu o typowym ciężarze

<sup>1)</sup> Hilti EXBAR: Arkusz kalkulacyjny Excel do obliczania później wykonywanych zbrojonych połączeń betonu z betonem

## A08 Stan graniczny użytkowania - ograniczenia

### 1. Uwagi ogólne

System Hilti HIT – Rebar do zakotwień prętów zbrojeniowych został opracowany w sposób zapewniający podobną sztywność do tej, która występuje w połączeniach zabetonowanych. Dlatego należy spełnić wymagania normy w odniesieniu do stanu granicznego użytkowania.

Dla wysokowytrzymałej żywicy, jak Hilti HIT-RE 500, pracującej w podwyższonych temperaturach należy sprawdzić, czy nie jest przekroczona górna granica rozwarcia pęknięcia (rys).

Dla podwyższonych temperatur użytkowania i surowych wymogów naprężeń wymuszonych obowiązują wartości podane w tabeli 1.

Tabela 1:

Hilti HIT-RE 500: Ograniczenie dopuszczalnego naprężenia ścinającego spoiny  $f_{bt,s}$  dla prawie stałych obciążeń przy ciągłym oddziaływaniu podwyższonych temperatur

| Ø pręta [mm]           | 10  | 12  | 16  | 20  | 25  | 28  | 32  | 40  | $w_m$ [mm] |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|
| Temperatura użytkowa T |     |     |     |     |     |     |     |     |            |
| 50°C / 122°F           | 5.3 | 5.0 | 4.2 | 3.7 | 3.2 | 2.9 | 2.7 | 2.3 | 0.3        |
| 60°C / 140°F           | 4.3 | 4.1 | 3.3 | 2.9 | 2.5 | 2.2 | 2.1 | 1.7 |            |

T [°C / °F] temperatura użytkowa w miejscu pracy wklejonego pręta zbrojeniowego

$f_{b,s}$  [N/mm<sup>2</sup>] naprężenie ścinające spoiny pod stałym obciążeniem  
(częściowy współczynnik bezpieczeństwa  $\gamma_f = 1,0$  przy oddziaływaniach obciążeniach od ciężaru własnego i części stałej oddziaływań zmiennych)

$w_m$  [mm] średnia wartość szerokości rozwarcia rys przy obciążeniach stałych

W normalnych przypadkach nie decydująca

#### Uwagi:

- We wszystkich przypadkach bezwzględnie konieczna jest weryfikacja warunków stanu granicznego nośności
- Należy mieć świadomość tego że, obciążenia w stanie granicznym użytkowania normalnie stanowią od 50 do 60 % obciążeń stanu granicznego użytkowania
- Tabela ta jest słuszna dla wytrzymałości betonu na ściskanie  $f_{ck} \geq 25 \text{ N/mm}^2$
- $w_m$  stanowi średnią wartość szerokości pęknięcia. Rozrzut jest znaczny i mogą pojawić się szersze rysy

## **A09 Odporność korozyjna wklejonych prętów**

Szwajcarskie Towarzystwo Ochrony przed Korozją (SGK) otrzymało zlecenie zbadania odporności na korozję prętów wklejonych w beton przy użyciu żywicy iniekcyjnych Hilti HIT-HY 150 i Hilti HIT-RE 500.

Przeprowadzono próby odporności na korozję. Należało praktycznie ocenić odporność obydwu systemów i porównać z odpornością zbrojenia zabetonowanego (jako systemu odniesienia). Towarzystwo SGK ma duże doświadczenie w tej dziedzinie, a zwłaszcza w sporządzaniu ekspertyz związanych z naprawami alpejskich mostów w Szwajcarii.

Przy modelowaniu prób odporności na korozję wzięto pod uwagę najniekorzystniejszy z punktu widzenia korozji przypadek naprawy mostów, w którym nadbeton łączy się ze starym betonem przy zastosowaniu prętów kotwiących. Ogólną ocenę wydano na podstawie wykonanych prób przy uwzględnieniu praktycznych doświadczeń Towarzystwa SGK, przemysłu teoretycznych i sprawozdań z badań zamieszczonych w literaturze.

Wynik można podsumować następująco:

### **Hilti HIT-HY 150**

- System Hilti HIT-HY 150 w połączeniu ze stalą zbrojeniową przy zastosowaniu w zdrowym, alkalicznym betonie można uznać jako odporny na korozję. Alkaliczność żywicy zapewnia początkową pasywację stali, a dzięki porowatości żywicy następuje wymiana z alkalicznym roztworem wypływającym z porów w betonie.
- Gdy zbrojenie w tym systemie jest wklejane w betonie niezawierającym chlorków, przy późniejszym oddziaływaniu chlorków szybkość korozji jest mniej więcej o połowę mniejsza w stosunku do zbrojenia, które było albo zabetonowane, albo zamocowane przy użyciu zaprawy cementowej.
- W betonie zawierającym chlorki odporność korozyjna systemu odpowiada zbrojeniu zabetonowanemu lub zamocowanemu przy użyciu zaprawy cementowej. Dlatego nie zaleca się stosowania niezabezpieczonej stali w betonie zawierającym chlorki lub narażonym na ich oddziaływanie w przyszłości, ponieważ już po krótkim czasie ekspozycji można się spodziewać korozji.

### **Hilti HIT-RE 500**

- System Hilti HIT-RE 500 w otoczeniu zagrożonym korozją przy wystarczającej grubości warstwy znacznie zwiększa czas do chwili rozpoczęcia korozji w stosunku do zabetonowanej stali zbrojeniowej.
- Przy zapewnieniu grubości warstwy przynajmniej 1 mm system HIT-RE 500 także w betonie karbonizowanym i zawierającym chlorki można uznać jako odporny na korozję. Krytyczna jest wówczas niezabezpieczona stal w szczelinie przerwy roboczej i w nowym betonie.
- Bez zapewnienia odpowiedniej grubości warstwy system HIT-RE 500 wolno stosować tylko w zdrowym betonie. Pręt zbrojeniowy może się wówczas stykać ze ścianką wywierconego otworu. W miejscach tych stal zachowuje się tak, jakby była pokryta cienką warstwą żywicy epoksydowej.
- Zardzewiała stal (bez oddziaływania chlorków) także w betonie zawierającym chlorki w żadnym z badanych przypadków nie wykazała podatności na korozję.
- W badaniu tym ani w literaturze nie stwierdzono przyspieszenia korozji w miejscach występowania braków żywicy. Nawet w przypadku powstawania makroelementów ich duża rezystancja rozplywu zapobiega lokalnie zwiększonym ubytkom korozyjnym.

Pełne sprawozdanie z badania można zamówić w Dziale Technicznym Hilti.

Sprawozdanie nr 02015a, wrzesień 25, 2002: „Odporność korozyjna zamocowań wykonanych przy użyciu żywicy iniekcyjnych Hilti HIT-HY 150 i Hilti HIT-RE 500”.

## A10 Projektowanie w ujęciu ochrony przeciwpożarowej<sup>1)</sup>

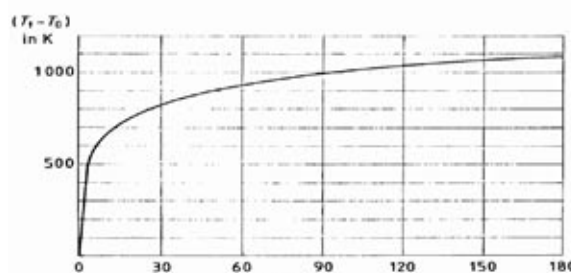
Jeżeli w danym projekcie są stawiane wymagania odporności ogniowej, wklejane na żywicę pręty zbrojeniowe w płaskich elementach budowlanych (stropy i ściany) należy dodatkowo zweryfikować przy pomocy poniższych tabel do weryfikacji nośności (na zimno). Tabele te zostały opracowane na podstawie prób wykonanych na Politechnice Brunswick przy zależności temperatury od czasu według normy ISO 834 (rys. 1).

Sprawozdanie Warringtona<sup>1)</sup> potwierdza zgodność wyników prób z brytyjską normą BS 476: część 20.

Uwaga do tabel 1 i 2:  $F_{s,T}$  = siła działająca w pręcie w czasie pożaru

Wartości pośrednie można liniowo interpolować.

Ekstrapolacja jest niedopuszczalna.



Rys. 1: Temperatura/krzywa czasowa

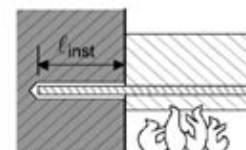


Tabela 1: Pręt w ścianie/elemente prostokątne do ściany lub płyty wystawionej na działanie ognia

| Hilti HIT-HY 150   |      |      |      |      |      |                   | Pręt Ø | Maks.<br>F <sub>s,T</sub> | Hilti HIT-RE 500  |  |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|-------------------|--------|---------------------------|-------------------|--|------|------|------|------|------|
| Maks. siła działająca w pręcie [kN] klasie<br>przy odporności ogniowej |      |      |      |      |      | l <sub>inst</sub> |        |                           | l <sub>inst</sub> | Maks. siła działająca w pręcie [kN] klasie<br>przy odporności ogniowej |      |      |      |      |      |
| F30  | F60  | F90  | F120 | F180 | F240 | [cm]              | [mm]   | [kN]                      | [cm]              | F30  | F60  | F90  | F120 | F180 | F240 |
| 8.83   | 3.57 | 1.88 | 1.10 | 0.22 | 0    | 10                | 10     | 25.3                      | 10                | 5.68   | 2.45 | 1.31 | 0.85 | 0.24 | 0    |
| 13.2   | 6.24 | 3.46 | 2.42 | 0.82 | 0.28 | 12                |        |                           | 12                | 10.7   | 4.44 | 2.48 | 1.68 | 0.68 | 0.31 |
| 17.6   | 10.5 | 5.62 | 4.12 | 1.92 | 0.88 | 14                |        |                           | 14                | 17.6   | 7.76 | 4.38 | 2.99 | 1.33 | 0.73 |
| 25.3   | 18.2 | 13.2 | 9.61 | 4.52 | 2.83 | 17.5              |        |                           | 16.5              | 25.3   | 15.1 | 8.50 | 5.79 | 2.58 | 1.50 |
|  | 25.3 | 20.9 | 17.3 | 7.57 | 5.62 | 21                |        |                           | 19.5              |  | 25.3 | 17.6 | 12.2 | 5.12 | 2.93 |
|  |      | 25.3 | 23.8 | 10.9 | 8.89 | 23.5              |        |                           | 22                |  |      | 25.3 | 20.7 | 8.69 | 4.78 |
|  |      |      | 25.3 | 14.2 | 12.0 | 25                |        |                           | 23.5              |  |      |      | 25.3 | 11.8 | 6.30 |
|  |      |      |      | 25.3 | 24.1 | 30.5              |        |                           | 28                |  |      |      |      | 25.3 | 13.9 |
|  |      |      |      |      | 25.3 | 31.5              |        |                           | 32                |  |      |      |      |      | 25.3 |
| 15.9   | 7.48 | 4.15 | 2.90 | 0.98 | 0.34 | 12                | 12     | 36.4                      | 12                | 12.8   | 5.33 | 2.97 | 2.01 | 0.82 | 0.37 |
| 23.8   | 15.2 | 9.20 | 6.07 | 3.13 | 1.58 | 15                |        |                           | 14.5              | 23.2   | 10.7 | 6.02 | 4.12 | 1.84 | 1.03 |
| 36.4   | 28.4 | 22.4 | 18.1 | 7.99 | 5.69 | 20                |        |                           | 18                | 36.4   | 24.3 | 15.0 | 10.1 | 4.41 | 2.55 |
|  | 36.4 | 31.6 | 27.4 | 13.1 | 10.7 | 23.5              |        |                           | 21                |  | 36.4 | 27.4 | 20.6 | 8.47 | 4.74 |
|  |      | 36.4 | 32.6 | 18.3 | 15.8 | 25.5              |        |                           | 23.5              |  |      | 36.4 | 31.0 | 14.2 | 7.56 |
|  |      |      | 36.4 | 22.3 | 19.7 | 27                |        |                           | 25                |  |      |      | 36.4 | 19.1 | 9.89 |
|  |      |      |      | 36.4 | 34.2 | 32.5              |        |                           | 29.5              |  |      |      |      | 36.4 | 21.4 |
|  |      |      |      |      | 36.4 | 33.5              |        |                           | 33.5              |  |      |      |      |      | 36.4 |
| 24.7   | 14.7 | 7.87 | 5.76 | 2.68 | 1.23 | 14                | 14     | 49.6                      | 14                | 24.6   | 10.9 | 6.13 | 4.19 | 1.86 | 1.03 |
| 43.1   | 33.1 | 26.1 | 21.2 | 9.32 | 6.64 | 20                |        |                           | 17                | 39.1   | 23.5 | 13.5 | 9.20 | 4.07 | 2.37 |
| 49.6   | 40.8 | 33.8 | 28.8 | 12.9 | 10.2 | 22.5              |        |                           | 19.5              | 49.6   | 35.6 | 24.7 | 17.0 | 7.17 | 4.10 |
|  | 49.6 | 43.1 | 38.1 | 21.4 | 18.4 | 25.5              |        |                           | 22.5              |  | 49.6 | 39.2 | 31.3 | 13.5 | 7.34 |
|  |      | 49.6 | 45.8 | 29.1 | 26.1 | 28                |        |                           | 25                |  |      | 49.6 | 43.4 | 22.3 | 11.5 |
|  |      |      | 49.6 | 33.7 | 30.7 | 29.5              |        |                           | 26.5              |  |      |      | 49.6 | 29.5 | 15.0 |
|  |      |      |      | 49.6 | 47.6 | 35                |        |                           | 31                |  |      |      |      | 49.6 | 32.0 |
|  |      |      |      |      | 49.6 | 36                |        |                           | 35                |  |      |      |      |      | 49.6 |

Dalszy ciąg tabeli na następnej stronie

1) Sprawozdanie z badania można zamówić w Dziale Technicznym Hilti: (Warrington Report WFRC No. C1211086)

Sprawozdanie z badania: Klasyfikacja pod względem ognioodporności zbrojonych połączeń betonu z betonem później wykonanych przy użyciu Hilti HIT-HY 150, IBMB, 16. lipca 1999

Sprawozdanie z badania: Klasyfikacja pod względem ognioodporności zbrojonych połączeń betonu z betonem później wykonanych przy użyciu Hilti HIT-RE 500, IBMB, 25. sierpnia 2000

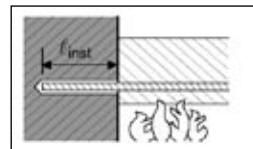


Tabela 1 (dalszy ciąg):

**Pręt w ścianie/elemente prostokątnym do ściany lub płyty wystawionej na działanie ognia**

| Hilti HIT-HY 150   |       |       |       |       |       |                   | Pręt<br>Ø | Maks.<br>F <sub>s,T</sub> | Hilti HIT-RE 500  |  |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-----------|---------------------------|-------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| Maks. siła działająca w pręcie [kN]<br>przy klasie odporności ogniowej |       |       |       |       |       | l <sub>inst</sub> |           |                           | l <sub>inst</sub> | Maks. siła działająca w pręcie [kN]<br>przy klasie odporności ogniowej |       |       |       |       |       |
| F30  | F60   | F90   | F120  | F180  | F240  | [cm]              | [mm]      | [kN]                      | [cm]              | F30  | F60   | F90   | F120  | F180  | F240  |
| 35.2   | 23.8  | 15.8  | 10.3  | 5.33  | 2.97  | 16                | 16        | 64.8                      | 16                | 39.2   | 21.3  | 11.9  | 8.15  | 3.65  | 2.11  |
| 64.8   | 53.7  | 45.7  | 40.0  | 20.9  | 17.5  | 24.5              |           |                           | 19                | 55.8   | 37.9  | 25.4  | 17.2  | 7.35  | 4.22  |
|  | 64.8  | 58.0  | 52.3  | 33.2  | 29.8  | 28                |           |                           | 21                | 64.8   | 49.0  | 36.5  | 27.5  | 11.3  | 6.32  |
|  |       | 64.8  | 59.4  | 40.3  | 36.8  | 30                |           |                           | 24                |  | 64.8  | 53.1  | 44.1  | 20.9  | 11.0  |
|  |       |       | 64.8  | 47.3  | 43.9  | 32                |           |                           | 26.5              |  |       | 64.8  | 57.9  | 33.7  | 17.1  |
|  |       |       |       | 64.8  | 61.5  | 37                |           |                           | 28                |  |       |       | 64.8  | 42.0  | 22.2  |
|  |       |       |       |       | 64.8  | 38                |           |                           | 32.5              |  |       |       |       | 64.8  | 44.8  |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 36.5              |  |       |       |       |       | 64.8  |
| 61.6   | 47.3  | 37.3  | 30.2  | 13.3  | 9.49  | 20                | 20        | 101.2                     | 20                | 76.6   | 54.3  | 38.7  | 27.5  | 11.4  | 6.48  |
| 101.2  | 86.9  | 76.9  | 69.8  | 45.9  | 41.7  | 29                |           |                           | 24                | 101.2  | 82.0  | 66.4  | 55.1  | 26.1  | 13.8  |
|  | 101.2 | 92.3  | 85.2  | 61.3  | 57.0  | 32.5              |           |                           | 27                |  | 101.2 | 87.1  | 75.9  | 45.6  | 23.4  |
|  |       | 101.2 | 96.2  | 72.3  | 68.0  | 35                |           |                           | 29.5              |  |       | 101.2 | 93.2  | 62.9  | 35.7  |
|  |       |       | 101.2 | 78.9  | 74.6  | 36.5              |           |                           | 31                |  |       |       | 101.2 | 73.2  | 45.7  |
|  |       |       |       | 101.2 | 98.8  | 42                |           |                           | 35.5              |  |       |       |       | 101.2 | 76.8  |
|  |       |       |       |       | 101.2 | 43                |           |                           | 39.5              |  |       |       |       |       | 101.2 |
| 104.5  | 86.6  | 74.1  | 65.3  | 35.4  | 30.1  | 25                | 25        | 158.1                     | 25                | 139.0  | 111.1 | 91.6  | 77.6  | 39.9  | 20.6  |
| 132.0  | 114.2 | 101.6 | 92.8  | 62.9  | 57.6  | 30                |           |                           | 27.5              | 158.1  | 132.7 | 113.2 | 99.2  | 61.3  | 31.8  |
| 158.1  | 141.6 | 129.1 | 120.2 | 90.4  | 85.1  | 35                |           |                           | 30.5              |  | 158.1 | 139.1 | 125.1 | 87.2  | 52.8  |
|  | 158.1 | 145.6 | 136.7 | 106.9 | 101.5 | 38                |           |                           | 33                |  |       | 158.1 | 146.7 | 108.8 | 74.4  |
|  |       | 158.1 | 150.5 | 120.6 | 115.3 | 40.5              |           |                           | 34.5              |  |       |       | 158.1 | 121.8 | 87.3  |
|  |       |       | 158.1 | 128.9 | 123.5 | 42                |           |                           | 39                |  |       |       |       | 158.1 | 126.2 |
|  |       |       |       | 158.1 | 153.8 | 47.5              |           |                           | 43                |  |       |       |       |       | 158.1 |
|  |       |       |       |       | 158.1 | 48.5              |           |                           |                   |  |       |       |       |       |       |
|  |       |       |       |       |       |                   | 28        | 198.3                     | 28                | 184.7  | 153.4 | 131.6 | 115.9 | 73.5  | 38.7  |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 29.5              | 198.3  | 168.0 | 146.1 | 130.4 | 88.0  | 49.9  |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 33                |  | 198.3 | 184.8 | 164.3 | 121.9 | 83.3  |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 35                |  |       | 198.3 | 183.6 | 141.2 | 102.4 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 37                |  |       |       | 198.3 | 160.6 | 121.8 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 41                |  |       |       |       | 198.3 | 160.5 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 45                |  |       |       |       |       | 198.3 |
|  |       |       |       |       |       |                   | 32        | 259.0                     | 32                | 255.3  | 219.6 | 194.7 | 176.7 | 128.2 | 84.2  |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 32.5              | 259.0  | 225.1 | 200.2 | 182.2 | 133.7 | 89.7  |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 36                |  | 259.0 | 238.9 | 220.9 | 172.5 | 128.4 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 38                |  |       | 259.0 | 243.0 | 194.6 | 150.5 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 39.5              |  |       |       | 259.0 | 211.2 | 167.1 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 44                |  |       |       |       | 259.0 | 216.9 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 48                |  |       |       |       |       | 259.0 |
|  |       |       |       |       |       |                   | 36        | 327.8                     | 36                | 327.8  | 296.8 | 268.8 | 248.5 | 194.0 | 144.1 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 38.5              |  | 327.8 | 299.9 | 279.6 | 225.1 | 175.2 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 41                |  |       | 327.8 | 310.7 | 256.2 | 206.3 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 42.5              |  |       |       | 327.8 | 274.9 | 225.0 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 47                |  |       |       |       | 327.8 | 281.0 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 51                |  |       |       |       |       | 327.8 |
|  |       |       |       |       |       |                   | 40        | 404.7                     | 40                | 404.7  | 385.1 | 353.9 | 331.5 | 270.9 | 215.8 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 41.5              |  | 404.7 | 374.6 | 352.2 | 291.6 | 236.5 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 44                |  |       | 404.7 | 386.7 | 326.2 | 271.1 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 45.5              |  |       |       | 404.7 | 346.9 | 291.8 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 50                |  |       |       |       | 404.7 | 354.0 |
|  |       |       |       |       |       |                   |           |                           | 54                |  |       |       |       |       | 404.7 |

$$Max F_{s,t} = \frac{\Pi}{4} \cdot \varnothing e^2 \cdot \frac{0,500}{1,15 \cdot 1,35}$$

**Pręt w ścianie/elementie równoległym do ściany lub płyty wystawionej na działanie ognia**

Przy klasyfikowaniu ognioodporności istotne jest maksymalne dopuszczalne naprężenie ścinające spoiny,  $\tau_T$ , w zależności od grubości otuliny betonowej w świetle  $c$ .

Należy wykazać, że siła działająca w pręcie w czasie pożaru może być przejęta na rzeczywistej długości zakotwienia  $\ell_{inst}$ .

Uwaga: dowód ten jest obligatoryjny dodatkowo do weryfikacji nośności SGN (na zimno).

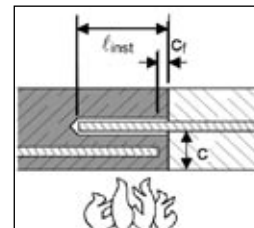
$$F_{s,T} \leq (\ell_{inst} - c_f) \cdot \phi \cdot \pi \cdot \tau_T \quad \text{przy czym: } (\ell_{inst} - c_f) \geq \ell_s;$$

$\ell_s$  = długość zakładu

$\phi$  = nominalna średnica pręta

$\ell_{inst} - c_f$  = wybrana długość zakładu; musi wynosić przynajmniej  $\ell_s$ , ale nie może być większa niż  $80 \phi$

$\tau_T$  = Maks. dopuszczalne naprężenie ścinające spoiny w czasie pożaru



**Tabela 2: Pręt w ścianie/elementie równoległym do ściany lub płyty wystawionej na działanie ognia**

| Klasa odporności ogniowej dla Hilti HIT-HY 150<br>Maks. naprężenie ścinające spoiny, $\tau_T$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] |     |     |      |      |      | Grubość<br>otuliny<br>betonowej<br>w świetle<br>$c$<br>[cm] | Klasa odporności ogniowej dla Hilti HIT-RE 500<br>Maks. naprężenie ścinające spoiny, $\tau_T$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] |     |     |      |      |      |
|---|-----|-----|------|------|------|---|---|-----|-----|------|------|------|
| F30   | F60 | F90 | F120 | F180 | F240 |   | F30   | F60 | F90 | F120 | F180 | F240 |
| 1,4   | 0,2 | 0   | 0    | 0    | 0    | 3   | 0.7   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    |
| 1,9   | 0,7 | 0   | 0    | 0    | 0    | 4   | 0.9   | 0.5 | 0   | 0    | 0    | 0    |
| 2.4   | 1,2 | 0,4 | 0    | 0    | 0    | 5   | 1.2   | 0.6 | 0   | 0    | 0    | 0    |
| 2.8   | 1,7 | 0,7 | 0,3  | 0    | 0    | 6   | 1.6   | 0.8 | 0.5 | 0    | 0    | 0    |
| 4.9   | 2,2 | 1,2 | 0,7  | 0    | 0    | 7   | 2.2   | 1.0 | 0.7 | 0.5  | 0    | 0    |
|   | 2.5 | 1,7 | 1,0  | 0,2  | 0    | 8   | 3.0   | 1.4 | 0.8 | 0.6  | 0    | 0    |
|   | 2.8 | 2,0 | 1,5  | 0,5  | 0    | 9   | 4.0   | 1.7 | 1.1 | 0.8  | 0.5  | 0    |
|   | 4.0 | 2.3 | 1,9  | 0,7  | 0,3  | 10  | 5.4   | 2.3 | 1.4 | 1.0  | 0.6  | 0    |
|   |     | 2.7 | 2.3  | 1,2  | 0.6  | 11  |   | 2.9 | 1.7 | 1.2  | 0.7  | 0.5  |
|   |     | 2.9 | 2.6  | 1,6  | 0.8  | 12  |   | 3.8 | 2.2 | 1.6  | 0.8  | 0.6  |
|   |     | 4.0 | 2.8  | 1,9  | 1.1  | 13  |   | 4.9 | 2.8 | 2.0  | 1.0  | 0.65 |
|   |     |     | 3.0  | 2,2  | 1.4  | 14  |   |     | 3.6 | 2.5  | 1.2  | 0.7  |
|   |     |     | 4.5  | 2.3  | 1.7  | 15  |   |     | 4.6 | 3.1  | 1.4  | 0.9  |
|   |     |     |      | 2.5  | 2.0  | 16  |   |     |     | 3.9  | 1.7  | 1.0  |
|   |     |     |      | 2.6  | 2.2  | 17  |   |     |     | 5.0  | 2.1  | 1.2  |
|   |     |     |      | 2.7  | 2.4  | 18  |   |     |     |      | 2.5  | 1.4  |
|   |     |     |      | 2.8  | 2.6  | 19  |   |     |     |      | 3.1  | 1.7  |
|   |     |     |      | 2.9  | 2.8  | 20  |   |     |     |      | 3.7  | 2.0  |
|   |     |     |      | 3.0  | 3.0  | 21  |   |     |     |      | 4.5  | 2.3  |
|   |     |     |      | 4.5  | 4.4  | 22  |   |     |     |      |      | 2.7  |
|   |     |     |      |      |      | 23  |   |     |     |      |      | 3.2  |
|   |     |     |      |      |      | 25  |   |     |     |      |      | 4.5  |



# **A1 1 Analiza zmęczenia zakotwień prętów wklejanych na żywicę w połączeniach poddanych przeważnie cyklicznym obciążeniom**

## 1. Uwagi ogólne

W przypadku elementów nośnych, które są poddane silnie zmiennym naprężeniom, zakotwienie prętów wklejanych na żywicę należy zweryfikować pod względem zmęczenia. W takim przypadku weryfikacja zmęczenia jest przeprowadzana niezależnie dla prętów zbrojeniowych, betonu i spoiny.

W prostych przypadkach wystarczy zastosować uproszczone, bezpieczne metody.

Częściowe współczynniki bezpieczeństwa dla obciążeń podano w odnośnej normie dotyczącej żelbetu.

Częściowe współczynniki bezpieczeństwa dla materiałów podano w tabeli 1.

**Tabela 1: Częściowe współczynniki bezpieczeństwa dla materiałów poddanych cyklicznym obciążeniom**

| Weryfikacja dla                       | betonu | spoiny (żywica) | prętów zbrojeniowych (stali) |
|---------------------------------------|--------|-----------------|------------------------------|
| Częściowy współczynnik bezpieczeństwa | 1.5    | 1.8             | 1.15                         |

## 2. Zmęczenie prętów zbrojeniowych (stali)

Wytrzymałość zmęczeniowa prętów zbrojeniowych (stali) jest określona w odnośnej normie dotyczącej żelbetu. Wytrzymałość prętów zbrojeniowych wklejanych przy użyciu żywicy Hilti HIT-HY 150 lub Hilti HIT-RE 500 jest przynajmniej tak samo dobra jak zabetonowanego zbrojenia.

## 3. Zmęczenie żywicy i betonu (uproszczona metoda)

Dla uproszczonej, bezpiecznej weryfikacji zmęczenia obowiązuje równanie 1:

$$F_{Sd,fat} \leq N_{Rd} \cdot f_{fat} \quad \text{Równanie 1}$$

gdzie:

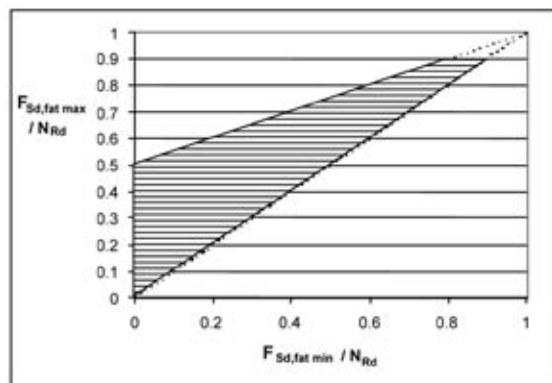
$F_{Sd,fat}$  wartość obliczeniowa siły zakotwienia według zastosowanego modelu symulacyjnego obciążeń zmęczeniowych.

$N_{Rd}$  wartość obliczeniowa wytrzymałości zakotwienia na obciążenia statyczne (spoina i beton).

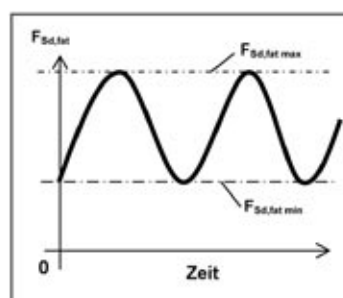
$f_{fat}$  współczynnik redukcji dla zmęczenia spoiny i betonu:  $f_{fat}=0,5$  Równanie 2  
gdy znana jest maks./min. liczba cykli, można zastosować współczynniki redukcji według rysunku 1.

Rysunek 1

Wykres dla uproszczonego wymiarowania przy 106 cykli (wykres Weyrauch)



Gdy uproszczona metoda nie wystarcza, można posłużyć się dodatkowymi informacjami z krzywych Wöhlera. Zamów wytyczne w Dziale Technicznym Hilti. TWU-TPF 06a/02-d Hilti HIT-Rebar: Zmęczenie.



## A 12 Wytyczne warunków technicznych / specyfikacji dla zbrojenia wklejanego na żywice Hilti.

Poniższa specyfikacja jest dedykowana przypadkom prętów zbrojeniowych wklejanych za pomocą żywicy w zastosowaniach wymagających wysokiego bezpieczeństwa, takich jak połączenia konstrukcyjne w żelbecie. Specyfikacja została stworzona jako materiał pomocniczy dla profesjonalistów z branży projektowej podczas przygotowania projektu lub ogólnych warunków technicznych/specyfikacji. Dla większości systemów służących opracowaniu ogólnych warunków technicznych będzie wymagała tylko nieznacznych zmian w treści. Należy zmieniać treść specyfikacji w sposób ostrożny i wyważony tak, by dopasować jej treść do wymagań konkretnego projektu. Tam gdzie jest to konieczne, należy zmodyfikować jej treść, usuwając lub dodając podpunkty w odpowiednich miejscach.

### Część 1 – ZASADY OGÓLNE

#### 1.01 STRESZCZENIE

A. Rozdział zawiera: Pręty zbrojeniowe wklejane za pomocą żywicy w elementy betonowe.

#### 1.02 Dokumenty do przedłożenia

*Uwaga dla specyfikującego: Należy wprowadzić do projektu właściwy rozdział wg. poniższej specyfikacji dla rysunków warsztatowych lub dokumentów do przedłożenia.*

A. Dla prętów zbrojeniowych wklejanych za pomocą żywicy, zgodnie ze specyfikacją podaną w rozdziale 2.01.B należy przedłożyć zgodnie z „Warunkami kontraktu” oraz rozdziałem „Procedury składania dokumentów”.

1. Wartości obliczeniowe i właściwości fizyczne dla prętów zbrojeniowych wklejanych na żywice, włączając w to: (Proponuje się uwzględnić normy, które można zaliczyć do międzynarodowych norm dotyczących opisywanego zastosowania)
  - a. uwzględnienie długotrwałego użytkowania i możliwości pękania materiału w podwyższonej temperaturze (uwzględnić normy dotyczące testowania)
  - b. uwzględnienie wrażliwości systemu na warunki panujące na budowie (sposób czyszczenia otworu, beton nasączony wodą)
  - c. sprawdzenie odpowiedniego rozłożenia żywicy na długości zakładu dla przypadków wklejania prętów zbrojeniowych obok istniejącego zbrojenia (zakład/sprawdzenie na rozłupanie)
  - d. zaaprobowane wartości obliczeniowe dla odporności ogniowej przy zastosowaniu Standardowych temperatur wg. ISO 834 / Krzywej temperatury wg. BS 476: (Rozdziały od 20 – 23.)
  - e. wartości obliczeniowe dla obciążeń dynamicznych.
2. Specyfikacje produktu zawierające:
  - a. Dopuszczalny okres magazynowania i warunki przechowywania materiału (żywicy) iniekcyjnego
  - b. Karta Bezpieczeństwa Materiału
  - c. Warunki utylizacji resztek materiału i opakowań
  - d. Ogólne informacje nt. odporności chemicznej materiału (żywicy) po stwardnieniu

*Uwaga dla specyfikującego: Dla typowego (normalnego) zastosowania prętów zbrojeniowych wklejanych na żywicę zakłada się, że beton nie jest skarbonizowany ani dotknięty zasoleniem w miejscu lokalizacji prętów. Minimalna otulina prętów dla zbrojenia wklejanego na żywice powinna być co najmniej zgodna z normą dla określonych warunków środowiskowych.*

#### 3. Odporność na korozję

Dostarczyć dowód wystarczającego zabezpieczenia antykorozyjnego prętów przez żywicę iniekcyjną dla zastosowań wewnątrz [na zewnątrz] w normalnym nieskarbonizowanym i nie dotkniętym zasoleniem betonie.

4. Dokumenty do przedłożenia związane z systemem zapewniania jakości:  
Wyniki testów: potwierdzone odpowiednim certyfikatem wyniki testów dowodzące zgodności z przedstawioną charakterystyką pracy i właściwościami fizycznymi materiału
  5. Instrukcja montażu Producenta.  
Przykładowa demonstracja prawidłowej procedury montażu prętów dla otworów głębszych niż 30cm
  6. Kwalifikacje i Procedury Montażysty: Przedłożyć informację opisującą metody wykonywania otworów, proponowany do zastosowania produkt, pełny opis procedury montażu, data szkolenia przez Producenta i lista pracowników Wykonawcy, którzy zostaną przeszkoleni w technologii wklejania prętów zbrojeniowych na żywice
- B. Dokumenty Odbiorowe:
- Przedłożyć następujące dokumenty / protokoły:
1. Dokumenty / protokoły kontraktowe dla zastosowanych materiałów zgodnie z rozdziałem Dokumenty Odbiorowe.
  2. Wyniki testów polowych zgodnie z Rozdziałem 3.03

### 1.03 ZAPEWNIENIE JAKOŚCI

- A. Szkolenie Montażysty: Należy przeprowadzić kompleksowe szkolenie Montażysty przez Producenta lub przedstawiciela Producenta dla [Wykonawcy] [Montażysty] danego projektu.
1. Szkolenie powinno stanowić kompleksową prezentację procedury wklejania prętów zbrojeniowych na żywicę, m.in.:
    - a. Procedura wykonywania otworów (wiercenia)
    - b. Przygotowanie otworu i sposób jego czyszczenia
    - c. Technika dozowania żywicy iniekcyjnej oraz szkolenie z obsługi/konserwacji dozowników
    - d. Przygotowanie prętów zbrojeniowych i montaż w otworze
    - e. Obciążenie próbne

*Uwaga dla specyfikującego: Uzupełnij poniższy paragraf, by spełnić wymagania projektu i lokalnych przepisów (np. ustawa „Prawo budowlane”). Skoordynuj z rozdziałem 1.02.A umieszczonym powyżej.*

### 1.04 DOSTAWY, PRZECHOWYWANIE I SPOSÓB UŻYTKOWANIA

- A. Ogólne: Należy zachować zgodność z wymaganiami Rozdziału: Przechowywanie i użytkowanie produktu. Należy przechowywać opakowania foliowe/kartridże zgodnie z zaleceniami Producenta.

## Część 2 – PRODUKTY

### 2.01 MATERIAŁY

- A. Pręty zbrojeniowe wklejane na żywice:

*Uwaga dla specyfikującego: Należy zweryfikować poniższy paragraf dla zapewnienia zgodności z wymaganiami projektu. Należy skoordynować terminologię używaną na Rysunkach dla innego typu zbrojenia, zbrojenia powlekanego, stali nierdzewnej, itd. Należy wziąć pod uwagę szczególne warunki w przypadku możliwości wystąpienia korozji wżerowej.*

1. Przygotowane pręty zbrojeniowe: gatunek stali 500, żywica wysokowytrzymała, pręty żebrowane typu 2 zgodnie z Eurokodem 2. Wymiar zgodnie z wskazaniami na Rysunkach.
- B. System wklejania iniekcyjnego prętów:
1. System 2-składnikowych ładunków foliowych/kartridży iniekcyjnych zawierający szybkowiążącą żywicę hybrydową, pozbawioną styrenu i nieprzyjemnych odorów, mieszaną w stosunku 3:1 do zakotwień w betonie np. Hilti HIT-HY 150.
  2. System 2-składnikowych ładunków foliowych/kartridży iniekcyjnych zawierający wysokowytrzymałą, wolnowiążącą, pozbawioną nieprzyjemnych odorów żywicę epoksydową mieszaną w stosunku 3:1 do zakotwień w betonie np. Hilti HIT-RE 500.
  3. Data produkcji i termin przydatności do zastosowania muszą być wyraźnie wyeksponowane na opakowaniu

dla łatwego odczytu, a mieszanie składników żywicy podczas dozowania powinno się odbywać w mikserze statycznym.

4. W przypadku, gdy informacje o producencie nie zostały podane na opakowaniu wyrobu, biorąc pod uwagę konieczność zapewnienia zgodności z wymaganiami i akceptacji Architekta / Inżyniera Kontraktu, należy zapewnić następujące dokumenty:
  - a. Zaaprobowany zamiennik wg. wytycznych Rozdziału – Procedury zamiany produktów musi być zgodny z wymogami i posiadać wszelkie niezbędne dokumenty potwierdzające przeprowadzenie odpowiednich testów.

## Część 3 – WYKONAWSTWO

### 3.01 MONTAŻ

#### 1 Pręty zbrojeniowe wklejane na żywice:

*Uwaga dla specyfikującego: Należy sprawdzić, czy występują jakiegokolwiek ograniczenia użytkowania sprzętu wierzącego na danym projekcie.*

1. Otwory należy wiercić z użyciem wiertarek elektro-pneumatycznych wyposażonych w wiertła z końcówkami z węglików spiekanych [lub jeśli to wymagane, za pomocą wiertnic wyposażonych w wiertła diamentowe]. Wiertła muszą mieć średnicę odpowiadającą wymogom producenta systemu iniekcyjnego. Wszystkie otwory należy wiercić prostopadle do powierzchni betonu, chyba, że na Rysunkach pokazano inny sposób.
  - a. Otwory wiercone techniką diamentową: W przypadku, gdy pręty zbrojeniowe mają być wklejane w otwory wykonane wiertnicą z wiertłem diamentowym, należy użyć odpowiedniej żywicy (wolnowiążącej epoksydowej) zaaprobowanej przez Inżyniera oraz zastosować wiertła o średnicy zgodnej z wymaganiami producenta.
  - b. Zabetonowane elementy: Należy zidentyfikować rozmieszczenie zbrojenia oraz innych zabetonowanych elementów przed przystąpieniem do wykonania otworów dla prętów. Konieczne jest wypracowanie staranności w wykonywaniu otworów dla uniknięcia uszkodzeń istniejącego zbrojenia lub innych zabetonowanych elementów. W przypadku natrafienia podczas wiercenia na zbrojenie lub inne zabetonowane elementy należy powiadomić Inżyniera kontraktu/Kierownika budowy. Należy również zwrócić uwagę na konieczność uniknięcia uszkodzeń kabli lub strun (konstrukcje sprężone), przewodów elektrycznych, przewodów instalacji wodociągowej i telekomunikacyjnej oraz gazowej.
  - c. Nośność podłoża: Jeśli nie określono inaczej, nie należy wykonywać otworów w betonie, aż do osiągnięcia [70%] \_\_\_\_ nośności obliczeniowej.
  - d. Należy przeprowadzić montaż prętów zbrojeniowych zgodnie z instrukcją producenta systemu.
2. Montaż prętów zbrojeniowych z zastosowaniem dwuskładnikowych ładunków foliowych/kartridży:
  - a. Przed montażem należy wyczyścić wszystkie otwory zgodnie z zaleceniami producenta, by usunąć luźne elementy i zwierciny.
  - b. Należy usunąć z otworu wodę w ten sposób, by osiągnąć warunki kotwienia w suchym otworze.
  - c. Należy zapewnić właściwe wymieszanie składników żywicy, stosując mieszacz statyczny dostarczony przez producenta systemu.
  - d. Należy dozować żywicę do otworów począwszy od ich dna, przesuwając się w kierunku powierzchni w taki sposób, by uniknąć powstania przestrzeni z powietrzem w objętości żywicy. Podczas dozowania żywicy do otworów głębszych niż 30cm należy zastosować specjalną końcówkę (dyszę) iniekcyjną dla zapewnienia poprawności operacji.
  - e. Do otworu należy zadozować odpowiednią porcję żywicy dla zapewnienia jego wypełnienia aż do powierzchni betonu (po osadzeniu pręta).
  - f. Przed wprowadzeniem go do otworu, na pręcie należy zaznaczyć głębokość zakotwienia. Następnie wprowadzić pręt do otworu płynnym ruchem wkręcającym (śrubowym).
  - g. Należy unieruchomić pręty w otworze w optymalnej pozycji. Dla zastosowań stropowych („nad głową”) należy zastosować elementy klinujące pręty np. gwoździe.
  - h. Konieczne jest pozostawienie żywicy i nie obciążanie prętów przed upłynięciem czasu utwardzania podanego przez producenta.

3. Należy wziąć pod uwagę zalecenia producenta odnośnie temperatur występujących podczas montażu prętów za pomocą dwuskładnikowej żywicy.

### 3.02 NAPRAWA WADLIWYCH POŁĄCZEŃ

- A. Należy usunąć i ponownie zainstalować pręty osadzone w niewłaściwych miejscach lub pręty osadzone nieprawidłowo, jeśli Inżynier nie wydał innych instrukcji. Otwory pozostałe po usuniętych prętach należy wypełnić żywicą iniekcyjną. Wklejone pręty, które nie przeszły pozytywnie testów nośności również uznaje się za wykonane nieprawidłowo.

### 3.03 KONTROLA JAKOŚCI NA BUDOWIE (TESTOWANIE PRÓBNE)

*Uwaga dla specyfikującego: Wykonywanie testów na budowie jest powszechnie stosowaną metodą sprawdzenia prawidłowości funkcjonowania systemów kotwiących. Dla zapewnienia właściwego poziomu kontroli jakości, przedstawiciel producenta lub inspektor nadzoru występujący z upoważnienia Zamawiającego przy udziale przedstawiciela producenta powinien przeprowadzić testy połączeń. Należy pamiętać o dopasowaniu wymagań testowania dla zapewnienia ich zgodności z wymaganiami projektu oraz lokalnych przepisów. Do testów należy wybrać procentowo określoną ilość kotew. Mniejsze ilości zainstalowanych prętów lub bardziej odpowiedzialne zastosowania mogą upoważniać do wykonania testów dla większej procentowo grupy zamocowań i bardziej rygorystycznego podejścia do nieprawidłowo wykonanych połączeń. Należy sprawdzić, czy głębokości zakotwienia i wartości obciążeń testowych są pokazane na Rysunkach.*

Dla każdego przypadku osadzania prętów powinien być przyjęty program testów dopuszczających. Liczba prób wymaganych dla odpowiednich wielkości próby zamocowań powinna odpowiadać warunkom podanym w Tabeli 1.

Tabela 1

| Wielkość próby | Liczba testów do przeprowadzenia |
|----------------|----------------------------------|
| >99            | 10 %                             |
| 100 – 500      | Jak w Tabeli 2                   |

Tabela 2

| Kolejna faza testów | % testów w badanej próbie | Dopuszczalna ilość zniszczeń w próbie | Działanie po stwierdzeniu awarii próbki     | Po przeprowadzeniu <b>trzech</b> testów z pozytywnymi wynikami. |
|---------------------|---------------------------|---------------------------------------|---|---|
| 1                   | 10%                       | 0 ( zero)                             | Zasięgnij porady odpowiedzialnego inżyniera | Powrót do fazy 2 testowania                                     |
| 2                   | 5%                        | 0 ( zero)                             | Powrót do fazy 1                            | Powrót do fazy 2 testowania                                     |
| 3                   | 2%                        | 0 ( zero)                             | Powrót do fazy 1                            | Kontynuuj fazę 3 testowania                                     |

- A. Testowanie: [2%] [10%] [25%] \_\_\_\_ z każdego typu i średnicy prętów powinno być próbnie obciążone przez [przedstawiciela producenta] / [niezależne laboratorium testowe]. Jeśli [jakikolwiek] / [więcej niż 10%] \_\_\_\_ testowanych prętów nie spełni określonych wymogów nośności podanych na Rysunkach, należy wykonać testy wszystkich pozostałych prętów takiej samej średnicy i typu, chyba, że Inżynier zalecił inną procedurę.

1. Obciążenia testowe należy przykładać za pomocą kalibrowanych siłowników hydraulicznych. Przeszczeczenie wklejonych prętów pod obciążeniem testowym nie powinno przekroczyć wartości  $\sigma/10$ , gdzie  $\sigma$  jest nominalną średnicą pręta.

- B. Minimalna głębokość zakotwienia, obciążenia testowe muszą odpowiadać pokazanym na Rysunkach.

## 3.04 Wartości obciążeń testowych

*Uwaga dla specyfikującego: Intencją wykonania obciążenia testowego prętów wklejanych na żywicę jest wychwytywanie znaczących problemów montażowych, takich jak częściowe lub całkowite niezwiązanie żywicy. Nie ma ono na celu sprawdzenia wartości obliczeniowych nośności połączeń. Inne ograniczenia odnośnie przemieszczeń mogą zostać przyjęte w zależności od wielkości obciążeń testowych lub innych wymagań danego zastosowania.*

## B. Kontrola jakości na budowie

1. Obciążenia testowe należy przykładać za pomocą kalibrowanych siłowników hydraulicznych. Przemieszczenie wklejonych prętów pod obciążeniem testowym nie powinno przekroczyć wartości  $\delta/10$ , gdzie  $\delta$  jest nominalną średnicą pręta.
2. Jeśli Rysunki nie podają innych zaleceń, minimalne głębokości zakotwień i obciążenia testowe należy przyjmować z poniższej Tabeli 3.

*Uwaga dla specyfikującego: Obciążenia testowe wyszczególnione w poniższej Tabeli opierają się na mniejszej wartości spośród: 50% wartości niszczącej połączenia na żywicę w betonie klasy C20/25 lub 75% wartości nośności stali pręta (granicy plastyczności) dla prętów klasy 500 (np. stal BSt500 wg. DIN 488). Dane przedstawione w Tabeli są ważne dla systemów iniekcyjnych opartych na szybkowiążącej żywicy hybrydowej Hilti HIT-HY 150 i wolnowiążącej żywicy epoksydowej Hilti HIT-RE 500. Wartości głębokości kotwienia dla rozciągania opierają się na Podręczniku Techniki Kotwienia B2.11 wydanym przez Hilti dla zbrojenia wklejanego na żywicę, dla przypadków obciążeń z wąskimi podporami przy odległości od krawędzi  $\geq 4 \delta$  i rozstawie prętów  $\geq 8 \delta$  (warunek odłupania betonu). Obciążenia testowe dla płytszego zakotwienia, ale nie mniejszego niż zakotwienie minimalne mogą być obliczone w sposób proporcjonalny.*

Tabela 3

| Pręt zbrojeniowy żebrowany typu 500<br>Iniekcyjny System Kotwienia: szybkowiążąca żywica hybrydowa Hilti HIT-HY 150 i wolnowiążąca żywica epoksydowa Hilti HIT-RE 500. |  |   |                              |   |                              |
|--|--|---|------------------------------|---|------------------------------|
| Średnica pręta<br>$\varnothing$  | Głębokość zakotwienia pręta w normalnym betonie (C20/25)   |   |                              |   |                              |
|  | Minimalna głębokość zakotwienia<br>$10 \times \varnothing$ | Szybkowiążąca żywica hybrydowa Hilti HIT-HY 150   |                              | Wolnowiążąca żywica epoksydowa Hilti HIT-RE 500   |                              |
|  |  | Długość zakotwienia dla rozciągania<br>$l_{inst}$ | Wartość obciążenia testowego | Długość zakotwienia dla rozciągania<br>$l_{inst}$ | Wartość obciążenia testowego |
| mm   | mm   | mm  | kN                           | mm  | kN                           |
| 10   | 100  | 180   | 27                           | 170   | 27                           |
| 12   | 120  | 260   | 46                           | 220   | 46                           |
| 16   | 190  | 360   | 69                           | 270   | 69                           |
| 20   | 240  | 500   | 108                          | 340   | 108                          |
| 22   | 265  | 580   | 131                          | 370   | 131                          |
| 25   | 300  | 700   | 169                          | 420   | 169                          |
| 28   | 335  | -   | -                            | 540   | 212                          |
| 32   | 385  | -   | -                            | 670   | 277                          |
| 40   | 480  | -   | -                            | 980   | 434                          |

Notatki



Notatki

# HILTI

Hilti Ferroskan  
**PS 200**



## **Lokalizacja i analiza zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych**

**Hilti. Doskonałość. Niezawodność.**

## Wykrywanie i analizowanie zbrojenia przy użyciu systemu Hilti Ferroscan



Spękana płyta trójwarstwowa wraz z warstwą fakturową



Kotwa elewacyjna HWB Hilti

Lokalizowanie i pomiar średnicy prętów zbrojeniowych oraz określanie grubości otuliny betonowej na placu budowy może stanowić duży problem. Hilti oferuje system, który pozwala na wykonanie wszystkich tych zadań oraz dodatkowo umożliwia np. wyznaczenie bezpiecznej pozycji do wiercenia otworów przelotowych, dokonywanie analiz statycznych lub wielkopowierzchniowych pomiarów grubości otuliny betonowej w prosty sposób, ale przy zachowaniu maksymalnej możliwej dokładności.

Ciekawym przykładem jest zastosowanie systemu Ferroscan Hilti do oceny stanu technicznego zbrojenia warstwy fakturowej oraz jej połączenia z warstwą nośną płyt warstwowych stosowanych w budownictwie wielkopłytkowym.

Zgodnie z zaleceniami zawartymi w instrukcji ITB nr 360/99 i 374/2002 przed wykonaniem termomodernizacji budynku wykonanego w technologii wielkiej płyty należy dokonać oceny stanu technicznego płyt elewacyjnych. Ocena powinna zawierać m.in. ocenę stanu zbrojenia warstwy fakturowej (otulina zbrojenia, średnica i rozstaw prętów) a także ocenę ilości oraz stanu szpilek i wieszaków wraz z prętami kotwiącymi.




Na ścianie elewacyjnej zaznacza się miejsca, w których zgodnie z dokumentacją techniczną powinny znajdować się wieszaki i szpilki. Następnie wykorzystując system Ferroscan Hilti rejestruje się obrazy zbrojenia. Na podstawie wykonanych obrazów można rozpoznać położenie zbrojenia warstwy fakturowej, rodzaj i liczbę wieszaków oraz miejsce położenia szpilek. Możliwość dokładnej lokalizacji prętów zbrojeniowych oraz wieszaków i szpilek przy pomocy systemu Ferroscan Hilti umożliwia wykonanie odkrywek w celu stwierdzenia stanu korozyjności wieszaków i materiału z jakiego zostały one wykonane. Z uwagi na stan techniczny budynków wykonywanych z płyt prefabrykowanych często zachodzi konieczność zabezpieczenia i naprawy elementów ściennych. W tym celu wykorzystuje się system elewacyjnych kotew wklejanych HWB Hilti.

Celem tej broszury jest zapoznanie użytkownika z możliwościami zastosowania systemu Hilti Ferroscan. Zawarto w niej także odpowiedzi na pytania zadawane przez naszych Klientów i porady, jak rozwiązywać pojawiające się na budowie konkretne problemy.





## Typowe dziedziny zastosowania systemu Hilti Ferroskan

|                                  |  <p>Weryfikacja zbrojenia</p>  |  <p>Pomiar grubości otuliny betonowej</p>   |  <p>Wiercenie bez ryzyka natrafienia na zbrojenie</p>  |
|----------------------------------|---|---|---|
| Zadanie                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zmiana sposobu użytkowania budynków kiedy ich projekty nie są dostępne</li> <li>• Odbiór techniczny betonowych elementów prefabrykowanych</li> <li>• Kontrola zbrojenia przed rozpoczęciem modernizacji budowli</li> <li>• Pozycjonowanie zbrojenia łączącego</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Odbiór robót budowlanych</li> <li>• Wielkopowierzchniowe pomiary grubości otuliny betonowej przy modernizowaniu budowli</li> <li>• Kontrola jakości</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wiercenie udarowe lub diamentowe bez kosztownych problemów związanych z natrafieniem na zbrojenie</li> <li>• Eliminowanie niebezpieczeństwa przecięcia prętów zbrojeniowych istotnych z punktu widzenia statyki budowli</li> <li>• Zwiększanie trwałości użytkowej narzędzi roboczych</li> </ul> |
| Jakie informacje należy uzyskać? | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Usytuowanie prętów zbrojeniowych</li> <li>• Grubość otuliny betonowej (c)</li> <li>• Średnica prętów (<math>\phi</math>)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grubość otuliny betonowej (c)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Usytuowanie prętów zbrojeniowych</li> </ul>  |
| Sposoby skanowania               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Skanowanie obrazów</li> <li>• Skanowanie szybkie w celach kontrolnych</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Skanowanie szybkie</li> <li>• Skanowanie obrazów w trudnych sytuacjach</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Skanowanie szybkie</li> <li>• Skanowanie obrazów przy wykonywaniu otworów przełotowych</li> </ul>  |
| Typowe obiekty                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Budynki przemysłowe, stropy, podciągi, podpory hal itd.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mosty, tunele, garaże podziemne itd.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zamocowania seryjne, szyby wentylacyjne, przepusty itd.</li> </ul>   |

## Ferrosan PS 200

Przenośny system do wykrywania prętów zbrojenio-  
wych w betonie



### Obszary zastosowań

- Weryfikowanie zbrojenia. Lokalizowanie prętów zbrojeniowych przy braku projektów budowlanych, przy odbiorze robót budowlanych, przed rozpoczęciem renowacji budynków lub przy zmianie obciążenia konstrukcji.
- Pomiar grubości otuliny betonowej: informacja o grubości otuliny betonowej na dużych powierzchniach przy odbiorze prac budowlanych, przed rozpoczęciem renowacji lub przy kontroli jakości.
- Wiercenie bez ryzyka natrafienia na zbrojenie: unikanie przecięcia nośnych prętów zbrojeniowych lub natrafienia na zbrojenie, co zawsze wiąże się z dodatkowymi kosztami.

### Zalety

- Natychmiastowe dokładne zobrazowanie przebiegu zbrojenia – obraz o wysokiej rozdzielczości.
- Obliczanie głębokości osadzenia zbrojenia i oszacowanie średnicy w różnych punktach obrazu.
- Łatwe określanie średniej grubości otuliny betonowej na dużych powierzchniach.
- Ograniczenie zużycia wiertel diamentowych/udarowych i samych elektronarzędzi przez unikanie przewiercania zbrojenia. Szybsze wiercenie, co jest szczególnie istotne przy wykonywaniu otworów seryjnych.
- Wiercenie bez ryzyka natrafienia na nośne pręty zbrojeniowe, co jest kosztowne i może doprowadzić do zmniejszenia nośności konstrukcji.
- Bezprzewodowe połączenie między monitorem i skanerem. Nie ma żadnych przewodów, które mogą ograniczać ruch lub utrudniać pracę.
- System obejmuje wydajne oprogramowanie komputerowe dla przeprowadzania analiz w biurze i łatwego przygotowywania raportów.





## Ferrosan PS 200

Przenośny system do wykrywania prętów zbrojeniowych w betonie

### Zakres pomiarowy i dokładność detekcji (mm) Skanowanie obrazów

|                    |    | Głębokość |    |    |    |     |     |     |     |     |
|--------------------|----|-----------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Średnica zbrojenia |    | 20        | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 |
|                    | 6  | ±2        | ±3 | ±3 | ±4 | ±5  | 0   | X   | X   | X   |
|                    | 8  | ±2        | ±2 | ±3 | ±4 | ±5  | 0   | 0   | X   | X   |
|                    | 10 | ±2        | ±2 | ±3 | ±4 | ±5  | 0   | 0   | X   | X   |
|                    | 12 | ±2        | ±2 | ±3 | ±4 | ±5  | ±10 | 0   | X   | X   |
|                    | 14 | ±2        | ±2 | ±3 | ±4 | ±5  | ±10 | 0   | 0   | X   |
|                    | 16 | ±2        | ±2 | ±3 | ±4 | ±5  | ±10 | ±12 | 0   | X   |
|                    | 20 | ±2        | ±2 | ±3 | ±4 | ±5  | ±10 | ±12 | 0   | X   |
|                    | 25 | ±2        | ±2 | ±3 | ±4 | ±5  | ±10 | ±12 | 0   | X   |
|                    | 28 | ±2        | ±2 | ±3 | ±4 | ±5  | ±10 | ±12 | 0   | X   |
|                    | 30 | ±2        | ±2 | ±3 | ±4 | ±5  | ±10 | ±12 | 0   | X   |
|                    | 36 | ±2        | ±2 | ±3 | ±4 | ±5  | ±10 | ±12 | ±13 | 0   |

### Szybkie skanowanie z rejestracją (zapamiętywanie)

|                    |    | Głębokość |    |    |    |     |
|--------------------|----|-----------|----|----|----|-----|
| Średnica zbrojenia |    | 20        | 40 | 60 | 80 | 100 |
|                    | 6  | ±1        | ±1 | ±2 | ±4 | ±5  |
|                    | 8  | ±1        | ±1 | ±2 | ±4 | ±5  |
|                    | 10 | ±1        | ±1 | ±2 | ±4 | ±5  |
|                    | 12 | ±1        | ±1 | ±2 | ±4 | ±5  |
|                    | 14 | ±1        | ±1 | ±2 | ±4 | ±5  |
|                    | 16 | ±1        | ±1 | ±2 | ±4 | ±5  |
|                    | 20 | ±1        | ±1 | ±2 | ±4 | ±5  |
|                    | 25 | ±1        | ±1 | ±2 | ±4 | ±5  |
|                    | 28 | ±1        | ±1 | ±2 | ±4 | ±5  |
|                    | 30 | ±1        | ±1 | ±2 | ±4 | ±5  |
|                    | 36 | ±1        | ±1 | ±2 | ±4 | ±5  |

Średnica zbrojenia jest znana. Wartość oznacza dokładność pomiarów głębokości w mm.

0 – na tej głębokości zbrojenie można zlokalizować, ale nie da się określić grubości otuliny betonowej.

X – na tej głębokości zbrojenia nie daje się zlokalizować.

Obowiązuje dla prętów zbrojeniowych według normy DIN 488.

### Dane techniczne

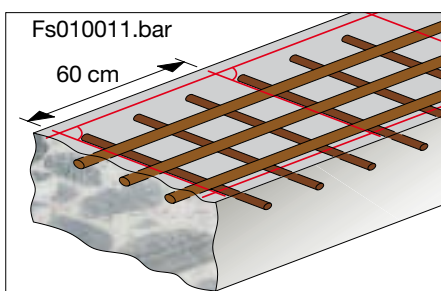
|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Pojemność pamięci skanera        | do 9 obrazów zbrojenia i do 30 m długości skanowania szybkiego.   |
| Pojemność pamięci monitora / typ | wymienna karta multimedialna 32 MB (150 obrazów zbrojenia lub 75 szybkich skanów).                              |
| Czas pracy na akumulatorach      | przeciętnie 8 godzin  |
| Klasa ochrony                    | IP 54 według normy IEC 529  |
| Temperatura pracy                | od -10°C do +50°C   |
| Wymiary / masa skanera           | 128 x 132 x 132 mm / 1,4 kg   |
| Wymiary / masa monitora          | 264 x 152 x 57 mm / 1,4 kg  |
| Minimalne wymagania systemowe    | Microsoft® Windows 98, 16 MB RAM, 8 MB wolnego miejsca na dysku twardym, napęd CD-ROM, złącze USB wersji V 1.1. |



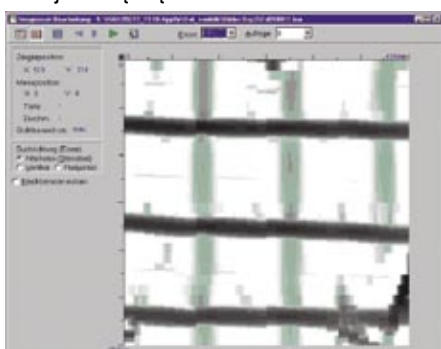


## Weryfikacja zbrojenia

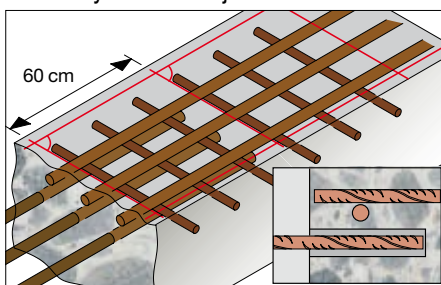
### Pozycjonowanie zbrojenia łączącego



Zbrojenie łączące



Dokładny obraz zbrojenia Fs010011. bar



Zbrojenie łączące

### Sytuacja wyjściowa

Zgodnie z postanowieniami dopuszczenia REBAR należy zaznaczyć zbrojenie na elemencie budowlanym, gdy z dokumentacji nie wynika, gdzie i jakie pręty zbrojeniowe się znajdują.

### Sposób postępowania

Z reguły położenie zbrojenia określa się metodą szybkiego skanowania „wykrywania” i zaznacza się je ołówkiem. Najpierw zaleca się przeprowadzić skanowanie obrazów, aby uzyskać ogólny pogląd, jak przebiega zbrojenie. Podobnie zbadać obszar późniejszego połączenia prętów zbrojeniowych przy pomocy skanowania obrazów.

### Interpretacja wyników pomiarów

Przy kotwieniu prętów zbrojeniowych trzeba znać położenie zbrojenia poprzecznego i podłużnego.

Zbrojenie poprzeczne nie powinno przeszkodzić przy wierceniu otworów, gdyż z reguły jest ono usytuowane powyżej zbrojenia podłużnego.

W tym jednak przypadku zbrojenie poprzeczne znajduje się pod zbrojeniem podłużnym. Szczególną uwagę należy tutaj zwrócić na zapewnienie wystarczającej odległości wierconych otworów od krawędzi elementu budowlanego.





Notatki



# Hilti. Doskonałość. Niezawodność.

Hilti (Poland) Sp. z o.o. | Puławska 491 | 02-844 Warszawa

TeleCentrum Hilti 0-801 888 801 | **T** 0-22 320 56 00 | **F** 0-22 320 56 01 | [www.hilti.pl](http://www.hilti.pl) | [klient@hilti.pl](mailto:klient@hilti.pl)