



Referat stanowi przyczynek do dyskusji dotyczącej optymalizacji projektowania, wykonawstwa oraz późniejszej eksploatacji układów konstrukcyjnych płyt podpartych lokalnie na słupach. Celem pracy jest wskazanie najefektywniejszego sposobu wzmocnienia połączeń typu płyta-słup. Dokonano przeglądu znanych mechanizmów zniszczenia styku stropu i słupa opartych na Teorii Krytycznej Rysy Ukośnej (ang. Critical Shear Crack Theory – CSCT) [1] oraz pokazano przykłady awarii stref przypodporowych spowodowanych przebiciem.

Stwierdzenie przyczyny uszkodzenia złączy nie jest łatwe. W pracy [2, 3] przedstawiono inżynierską metodę, która pozwala na wskazanie przyczyny rozwoju zarysowania i szerokości rozwarcia rys. Polega ona na określeniu mechanicznego stopnia zbrojenia połączenia.

Dokładniejszą metodą jest zastosowanie nieliniowych analiz, które są stosowane w programach komputerowych wykorzystujących Metodę Elementów Skończonych (MES). Skomentowano skuteczność tych analiz w przewidywaniu obrazu zarysowania oraz nośności połączenia na podstawie przykładów zawartych [4, 5].

W niniejszym referacie opisano także sposoby wzmocnienia węzłów płytowo-słupowych wskazując wady i zalety wybranych metod na podstawie uwarunkowań technicznych odnoszących się do bezpieczeństwa konstrukcji oraz bezpieczeństwa użytkownika, a także opłacalności ekonomicznej.

W praktyce inżynierskiej można spotkać się z wieloma sposobami wzmocnienia istniejących połączeń płyta-słup w stropach bezbelkowych. Celem referatu jest wskazanie najlepszej metody wzmocnienia stref przypodporowych ww. złączy np. w sytuacji zwiększenia wartości obciążenia stropów międzykondygnacyjnych w wyniku zmiany sposobu użytkownika, w przypadku wystąpienia stanu przedawaryjnego lub awarii układu konstrukcyjnego. Wybór ten zostanie dokonany uwzględniając wady i zalety wybranych rozwiązań.

## **Mechanizmy zniszczenia połączeń płyta-słup przez przebicie**

# Problem wzmacniania istniejących płyt żelbetowych

Utworzono: czwartek, 11, lipiec 2019 13:16

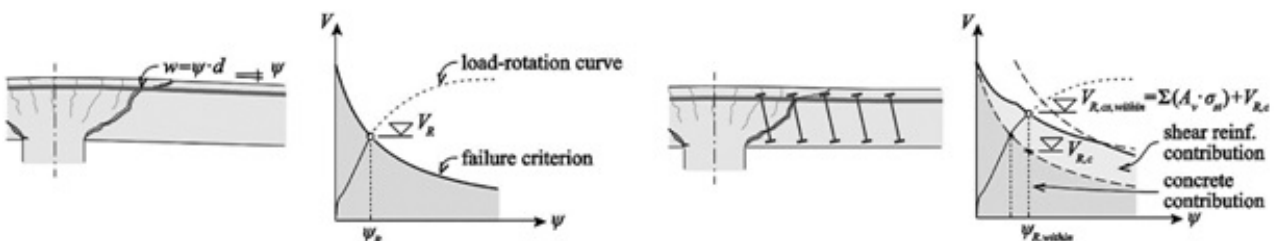
Przedstawione poniżej cztery mechanizmy zniszczenia styku płyty i słupa opisano wykorzystując Teorię Krytycznej Rysy Ukośnej (ang. Critical Shear Crack Theory – CSCT), którą omówiono w [1]. Polega ona na przyjęciu, że wytrzymałość żelbetowej płyty na przebicie bez zbrojenia poprzecznego jest funkcją szerokości krytycznej rysy ukośnej ( $w$ ), która jest proporcjonalna do wysokości efektywnej ( $d$ ) oraz kąta obrotu płyty ( $\psi$ ). Przyrost odkształceń stropu w strefie przypodporowej powoduje rozszerzenie pęknięcia, co skutkuje spadkiem nośności złącza. Teoria ta została rozszerzona przez A. Muttoniego i F. Ruiza także do połączeń, które posiadają zbrojenie poprzeczne na przebicie. Na CSCT oparto procedurę wymiarowania z uwagi na przebicie w Model Code 2010 [6]. Opisu mechanizmów dokonano na podstawie [7].

Pierwszy mechanizm zniszczenia dotyczy połączenia, które nie zawiera zbrojenia poprzecznego na przebicie. Jest to przypadek dotyczący pierwotnej teorii CSCT. Jeżeli siła przebijająca działająca w złączu wywoła przekroczenie granicznej wartości kąta obrotu płyty, to szerokość rozwarcia rysy ukośnej spowoduje utratę nośności połączenia (rys. 1).

Drugi mechanizm zniszczenia wykorzystuje rozszerzoną wersję CSCT, gdyż dotyczy sytuacji, gdy w połączeniu znajduje się zbrojenie poprzeczne pracujące na przebicie.

$$V_{R,cs,within} = V_{R,c} + \sum(A_v \cdot \sigma_{st}) \quad (1)$$

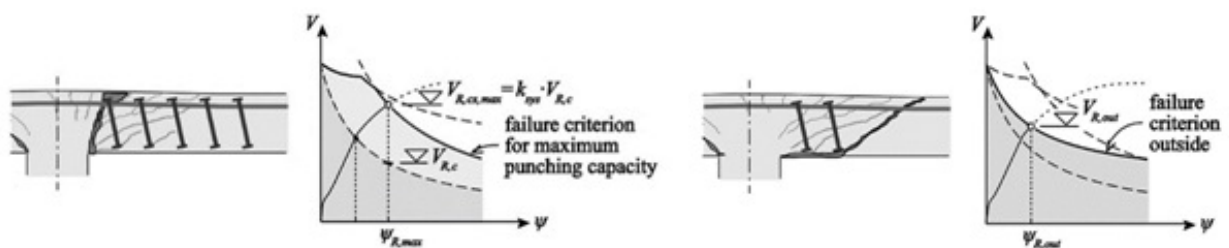
Nośność takiego połączenia, zgodnie ze wzorem (1), stanowi sumę nośności betonu ( $V_{R,c}$ ) i sił w zbrojeniu poprzecznym (suma iloczynów przekroju zbrojenia na przebicie ( $A_v$ ) i występujących w nim naprężeń ( $\sigma_{st}$ )), które zależą od odkształceń spowodowanych obrotem płyty, co wywołuje przyrost rozwarcia rysy ukośnej, przez którą przechodzi zbrojenie poprzeczne. Zniszczenie następuje, gdy kąt obrotu płyty osiągnie graniczną wartość ( $\psi_{R,within}$ ) (rys. 2). Wówczas dochodzi do nagłego wyczerpania nośności betonu, co powoduje pęknięcie stali i/lub utratę zakotwienia zbrojenia poprzecznego.



Rys. 1. (po lewej) Zilustrowanie I mechanizmu zniszczenia wg CSCT [7]  
Rys. 2. (po prawej) Zilustrowanie II mechanizmu zniszczenia wg CSCT [7]

Trzeci mechanizm zniszczenia dotyczy sytuacji, gdy w złączy zastosowano duży stopień zbrojenia na ścinanie przez przebijanie. W takim wypadku dochodzi do zmiężdżenia betonu w obszarze między krawędzią podpory a górnym obszarem zakotwienia pierwszego obwodu zbrojenia poprzecznego (rys. 3). Zatem maksymalna wytrzymałość połączenia nie zależy bezpośrednio od stopnia zbrojenia na przebicie. W niektórych normach (np. Eurokod 2 [8] – współczynnik  $k_{max}$ , Model Code 2010 [6] – współczynnik  $k_{sys}$ ) maksymalną nośność wyraża się jako krotność wytrzymałości betonu na przebicie. Krotność ta zależy od efektywności wzmacniania danego rodzaju zbrojenia na przebicie i zostaje ustalona na drodze badań lub korzysta się z ustalonych wartości zalecanych.

Czwarty mechanizm zniszczenia występuje, gdy w strefie przypodporowej złącza stropu i słupa zastosowano stosunkowo duży stopień zbrojenia poprzecznego na niewielkim obszarze. Wówczas przebicie może wystąpić poza strefą zbrojoną poprzecznie, zaś obszar zbrojony na to zjawisko traktuje się jako strefę podporową (rys. 4).



Rys. 3. (po lewej) Zilustrowanie III mechanizmu zniszczenia wg CSCT [7]

Rys. 4. (po prawej) Zilustrowanie IV mechanizmu zniszczenia wg CSCT [7]

## **Przykłady awarii stropów płaskich płytowo-słupowych**

Wg [9] biorąc pod uwagę typ konstrukcji najczęściej awarii i katastrof budowlanych odnotowano w budynkach o konstrukcji płytowo-słupowej (32%). W tego typu ustrojach newralgiczną strefą jest obszar podparcia płyty na słupie. Problemy dotyczą także stref przęsłowych. Awarie połączeń układów płyta-słup zależą od wielu czynników, które można podzielić na cztery podstawowe grupy: awarie spowodowane błędami projektowymi (np. niewłaściwa analiza pracy konstrukcji, pomyłki w obliczeniach), awarie spowodowane błędami wykonawczymi (np. ułożenie zbrojenia niezgodne z projektem, złe zagęszczenie i/lub niestosowna pielęgnacja mieszanki betonowej), awarie spowodowane niewłaściwą eksploatacją (np. zwiększenie obciążeń i/lub zmiana ich rozkładu, nowe zaburzenia lokalne (otwory), zaniedbania ze strony zarządcy obiektu budowlanego), awarie spowodowane obciążeniami wyjątkowymi (uderzenie, wybuch, pożar, oddziaływania sejsmiczne lub parasejsmiczne). W praktyce przyczyną awarii jest nałożenie się kilku z ww. przyczyn.

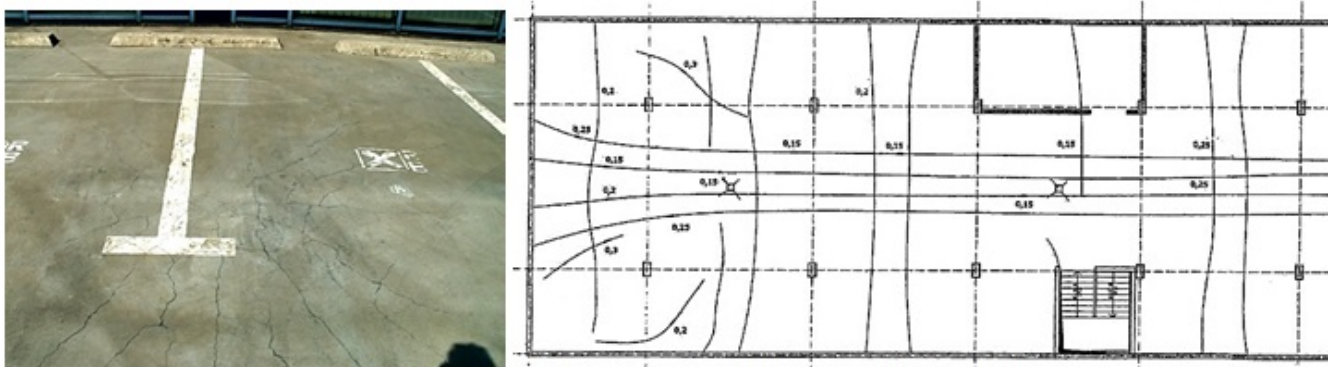
W [10] omówiono jeden z wielu przykładów problemów z konstrukcją płytowo-słupową. Przypadek ten dotyczy budynku biurowego, a dokładniej płyty stropowej nad garażem o średniej grubości 22 cm, która jednocześnie była parkingiem na poziomie terenu. Kłopoty ze wspomnianą płytą miały miejsce od początku jej eksploatacji - liczne zarysowania, których z czasem przybywało (rys. 5), zwiększająca się rozwartość pęknięć (nawet 1,2 mm w strefach podporowych), niewłaściwe odwodnienie płyty - zbyt mały spadek oraz lokalne pochylenia w stronę budynku. Z ustaleń ekspertyzy wynika, że: zbrojenie zginane (górne) w stropie nad wszystkimi słupami wewnętrznymi miało otulinę ok. 13 cm, czyli ułożone było w połowie grubości płyty; nie stwierdzono zbrojenia konstrukcyjnego (górnego) w przęsłach, posadzka była położona bezpośrednio na żelbetowej płycie na równi z poziomem terenu (brak warstw nadających stosowny spadek). Wykonano naprawy zaproponowane przez ekspertów lecz okazały się one nieskuteczne, ponieważ zastosowano niewłaściwe materiały, które raczej zatuszowały, a nie rozwiązały problem. Na dodatek zarządca budynku nie przejawiał woli doraźnej i skutecznej naprawy ww. awarii, a także nie stosował się do wszystkich zaleceń wydanych przez rzeczoznawców wykonujących ekspertyzę.

Przypadek opisany w [11] dotyczy stropu płytowo-słupowego garażu podziemnego o grubości 35 cm (znajdującego się poza obrysem budynku), który znalazł się w stanie przedawaryjnym już w czasie realizacji robót. Uszkodzenie polegało na zarysowaniu się płyty (rys. 6) - został przekroczony stan graniczny użyteczności (SGU) (maks. rozwartość rys. wynosiła 0,45 mm). Analizowaną płytę wykonano w okresie zimowym (najniższa zanotowana temperatura wynosiła -23oC) i rozdeskowano ją po 12 dniach. Poza tym podczas wykonywania prac budowlanych opisywana płyta

# Problem wzmacniania istniejących płyt żelbetowych

Utworzono: czwartek, 11, lipiec 2019 13:16

służyła jako składowisko materiałów budowlanych. Jeździły po niej samochody ciężarowe oraz koparko-ładowarka, której masa została błędnie oszacowana przez nadzór budowy (nie uwzględniono jej ładunku). Biorąc powyższe fakty pod uwagę można przypuszczać, że na stan przedawaryjny stropu złożyło się: nieuwzględnienie przez projektanta obciążeń pozastatycznych (skurcz i wpływ temperatury), wystąpiły obciążenia, których wartości nie zostały zawarte w projekcie; brak odpowiednich warunków do dojrzewania betonu oraz zaniechanie stosownej pielęgnacji ułożonej mieszanki betonowej; zbyt szybkie rozszalowanie płyty.



Rys. 5. (po lewej) Zarysowanie widoczne nad słupem [10]

Rys. 6. (po prawej) Układ rys na fragmencie analizowanej płyty [11]

## Określanie nośności złączy i przyczyny zarysowań stref podporowych

Nośność na przebicie płyt żelbetowych zależy m.in. od wielkości stopnia zbrojenia zginanego nad podporą w tych elementach. Fakt ten został uwzględniony w procedurach wymiarowania z uwagi na przebicie w niektórych normach – np. w Eurokodzie 2 (EN 1992-1-1) [8]. W pracach [2, 3] pokazano inżynierską metodę, dzięki której możliwe jest przedstawienie nośności na przebicie w funkcji mechanicznego stopnia zbrojenia ( $\sigma_{yk}/f_{ck}$ ). Parametr ten, zwany również mocą zbrojenia, służy także do analizy rozwoju rys i ich szerokości. Wyróżnia się trzy zakresy wartości określające zachowanie styku płyty stropowej i słupa w stanie

granicznym nośności:

- mechanizm typu zginanie:

$$\frac{\rho_l \cdot f_{yk}}{f_{ck}} \leq 0,15$$

- mechanizm typu zginanie-ściananie:

$$0,15 < \frac{\rho_l \cdot f_{yk}}{f_{ck}} < 0,30$$

- mechanizm typu zginanie-ściananie:

$$\frac{\rho_l \cdot f_{yk}}{f_{ck}} \geq 0,30$$

Pierwszy mechanizm odznacza się wyraźną sygnalizacją osiągnięcia stanu granicznego nośności poprzez rysy o dużej szerokości. Dochodzi do uplastycznienia zbrojenia zginanego w obszarze podporowym, natomiast beton w strefie ściskanej w pobliżu obwodu słupa ulega zmiążdżeniu i następuje przebicie.

Drugi mechanizm nie ma dominującego oddziaływania, zatem nie można stwierdzić, czy powstające zarysowania są spowodowane tylko zginaniem bądź ściananiem. Sygnalizacja wyczerpywania nośności połączenia poprzez zarysowanie nie jest tak wyraźna jak w pierwszym przypadku.

Trzeci mechanizm charakteryzuje się wysokim stopniem zbrojenia głównego. Zniszczenie styku jest niesygnalizowane i jest wynikiem czystego ścianania. W takim przypadku zbrojenie zginane w strefie przysłupowej połączenia nie uplastycznia się, a szerokość rozwarcia rys nie przekracza raczej 0,3 mm.

Warto wspomnieć, że między obrazem zarysowania strefy podporowej a wyężeniem złącza płytowo-słupowego nie ma związku, co stwierdzono w [12]. Oznacza to, że nie można określać poziomu wyężenia złącza na podstawie samej obserwacji rys, czego najlepszym przykładem jest wyżej opisany mechanizm typu ściananie.

Sposobem na dokładne określenie nośności złącza oraz przewidzenie obrazu zarysowania strefy podporowej jest wykorzystanie analiz nieliniowych. Można je przeprowadzić za pomocą zaawansowanych programów komputerowych opartych na Metodzie Elementów Skończonych (MES). W artykułach [4, 5] opisano nieliniowe analizy dotyczące połączeń płyta-słup izolowanych próbek. W [5] próbki posiadały zbrojenie poprzeczne na przebicie, zaś w [4] takiego zbrojenia nie przewidziano. Do analiz MES wykorzystano model zniszczenia plastycznego betonu, który został skalibrowany na podstawie badań laboratoryjnych próbek bez zbrojenia

poprzedniego oraz dostosowany do sytuacji, gdy takie zbrojenie zostało zastosowane. Obie analizy przedstawione w [4, 5] wykazały zadawalającą zgodność dot. przewidywania nośności połączeń oraz obrazu zarysowań w porównaniu z identycznymi próbkami przetestowanymi w laboratorium.

## **Przegląd metod wzmacniania stref podporowych**

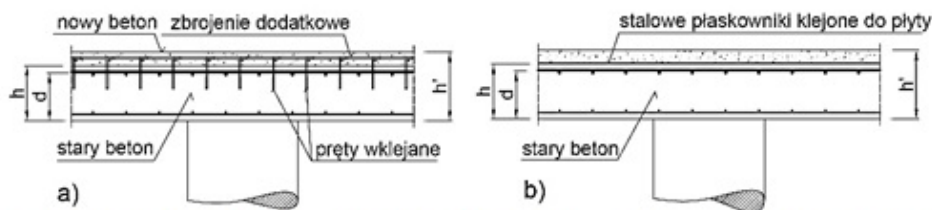
W połączeniach wrażliwych na ścinanie przez przebijanie, jeżeli na etapie projektowania nośność betonu na przebicie nie jest wystarczająca, stosuje się wzmocnienie w strefie podporowej w postaci zbrojenia poprzecznego. Na placach budów spotyka się wiele rodzajów zbrojeń na przebicie – np. strzemiona (pojedyncze, zamknięte, wielokrotne), drabinki, pręty odgięte, trzpienie (bolce) dwugłówkowe (wymienione rodzaje zbrojeń opisano w [13]). O nośności złącza decydują parametry wytrzymałościowe stali zbrojeniowej, stopień zbrojenia głównego i poprzecznego, poprawność zakotwienia zbrojenia na przebicie, wymiary geometryczne płyty (wysokość użyteczna przekroju –  $d$ ), przekroju słupa (bok –  $c$  lub średnica –  $D$ ).

W istniejących płaskich stropach podpartych słupami w przypadku zwiększenia wartości obciążenia płyty w wyniku zmiany sposobu użytkowania lub już w sytuacji wystąpienia stanu przedawaryjnego albo awarii układu konstrukcyjnego może się okazać, że konieczne jest wzmocnienie strefy przypodporowej złącza płyty i słupa. Poniżej przedstawiono przegląd wybranych wzmocnień uwzględniających uwarunkowania techniczne odnoszące się do bezpieczeństwa konstrukcji i bezpieczeństwa użytkowania oraz uwzględniono ich opłacalność ekonomiczną.

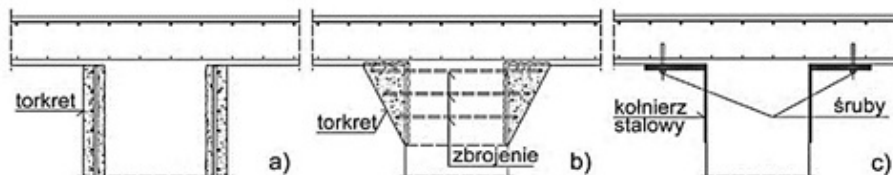
Pierwszą opisaną metodą jest wzmocnienie poprzez zwiększenie stopnia zbrojenia zginanego w połączeniu. Na górnej powierzchni płyty zostaje ułożone dodatkowe zbrojenie w postaci stalowych prętów (rys. 7a), stalowych płaskowników montowanych do płyty za pomocą wklejanych śrub lub klejone bezpośrednio do płyty wraz z dodatkowym mocowaniem śrubami (rys. 7b), a następnie układana jest warstwa nadbetonu. Jest to relatywnie łatwy i skuteczny sposób wzmocnienia (wzrost nośności o 40-60% w zależności od sposobu mocowania płaskowników – wg badań opisanych w [3]). Konieczny jest dostęp do górnej powierzchni stropu. Zaletą jest utrzymanie bezpieczeństwa konstrukcji podczas montażu – brak znaczącej ingerencji we wnętrze płyty.

Drugą przedstawioną metodą wzmocnienia stref podporowych połączeń płyta-słup jest zwiększenie wymiarów słupa. W pracy [2] pokazano trzy możliwości: zwiększenie wymiarów na całej wysokości słupa (rys. 8a), poszerzenie słupa jedynie w obszarze styku ze stropem (rys. 8b), klejony stalowy kołnierz do płyty i kolumny (rys. 8c). Aby zastosować ten rodzaj wzmocnienia konieczny jest dostęp do dolnej powierzchni stropu. Należy zaznaczyć, że przy tej metodzie wzmocnienia należy uwzględnić w wartości naprężeń granicznych na obwodzie kontrolnym stosunek wysokości użytecznej płyty ( $d$ ) do wymiaru poprzecznego słupa ( $c$ ). Wynika to z obserwacji, że powyżej pewnej granicznej wartości obwodu słupa nie zwiększa się już nośność strefy przysłupowej na przebicie. Wg [3] ten rodzaj wzmocnienia charakteryzuje się niską skutecznością (dwukrotne zwiększenie wymiaru słupa

skutkuje wzrostem nośności na przebicie o 20%).



Rys. 7. Wzmocnienie w formie nadbetonu: a) z dodatkową siatką prętów, b) ze stalowymi płaskownikami [3]

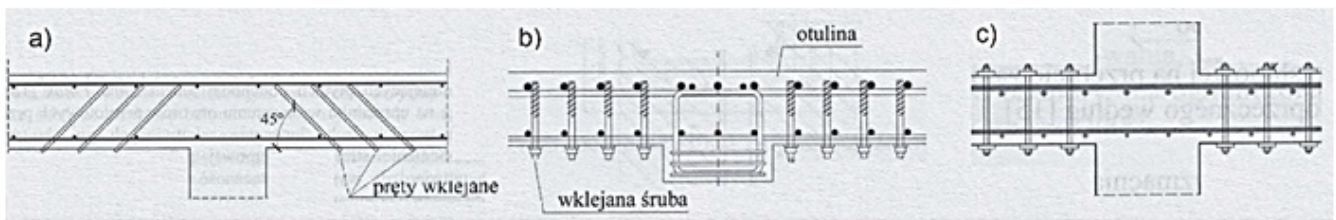


Rys. 8. Zwiększenie wymiarów słupa jako wzmocnienie strefy podporowej złącza (opis w tekście) [3]

Kolejnym opisanym sposobem jest wzmocnienie z wykorzystaniem zbrojenia poprzecznego. W [2] wyszczególniono trzy rozwiązania - zbrojenia poprzeczne wklejane pod kątem 45o (rys. 9a), płyta ze zbrojeniem poprzecznym w formie śrub TSM prostopadłych do zbrojenia głównego (rys. 9b), stalowe bolce kotwione po obu stronach stropu (rys. 9c). W pierwszych dwóch przypadkach konieczny jest dostęp do dolnej, natomiast w trzecim do górnej i dolnej powierzchni płyty. Co do efektywności zbrojenia poprzecznego wklejanego pod kątem 45o w płytę, zdania są podzielone, gdyż wg autorów [14] wzrost nośności wynosi 55%, zaś autor [3] uważa, że jest to ok. 20%. Lepszą efektywnością wg [3] cechuje się zbrojenie poprzeczne w formie śrub, ponieważ wynosi ona od 29 do 53% w zależności od sposobu montażu i średnicy śrub. Przy montażu zbrojenia poprzecznego do istniejącej płyty istnieje niebezpieczeństwo przecięcia prętów zbrojeniowych w płycie, co wpływa na

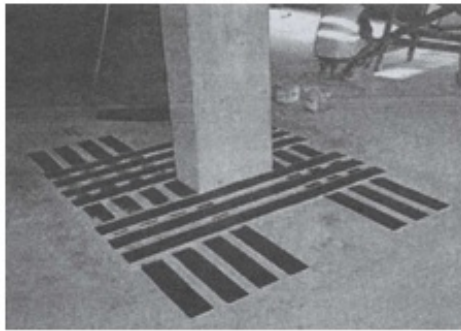


bezpieczeństwo konstrukcji.



Rys. 9. Wzmocnienie połączenia z wykorzystaniem dodatkowego zbrojenia poprzecznego (opis w tekście) [2]

Ostatnim przedstawionym rodzajem wzmocnienia są taśmy i maty wykonane z kompozytów zbrojonych włóknami (ang. Fibre Reinforced Plastic – FRP). Rozróżnia się trzy główne typy kompozytów FRP, które spotyka się w materiałach do wzmocnienia w budownictwie – tj. kompozyty zbrojone włóknami węglowymi (CFRP), szklanymi (GFRP) i aramidowymi (AFRP). Głównymi zaletami materiałów wykonanych z FRP są: bardzo wysoka wytrzymałość na rozciąganie, niski ciężar własny, doskonałe cechy zmęczeniowe, nieznaczne zwiększenie wymiarów elementu wzmocnionego, szybki i tani montaż. Wg [15] do wzmocnień płyt stropowych (na momenty dodatnie i ujemne) najlepiej nadają się taśmy i maty CFRP, które są montowane do przygotowanej powierzchni płyty za pomocą kleju (rys. 10). Efektywność tej metody wzmocnienia wg [3] jest niższa od klasycznych stalowych płaskowników. Przyczynami tego najprawdopodobniej jest to, że materiały CFRP mają niski moduł odkształcalności oraz charakteryzują się małym przekrojem poprzecznym taśm dostępnych na rynku. Ponadto przy wystąpieniu rysy ukośnej, taśmy CFRP odspajają się od wzmocnianej powierzchni płyty. Wadą jest też wysoki koszt materiału.



Rys. 10. Wzmocnienie taśmami CFRP strefy przypodporowej połączenia płyta-słup [16]

## Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w referacie mechanizmy zniszczenia połączenia płytowo-słupowego na podstawie CSCT wyczerpują wszystkie możliwości dotyczące sposobów destrukcji tych złączy. Projektowanie elementów z uwagi na przebieg powinno uwzględniać omówione cztery tryby zniszczenia.

Przyczyny stanów przedawaryjnych lub awarii złączy płytowo-kolumnowych można podzielić na cztery kategorie: błędy projektowe, błędy wykonawcze, niewłaściwa eksploatacja, wystąpienie obciążeń wyjątkowych. Przedstawione przykłady awarii w stropach płytowo-słupowych pokazują, że najczęściej ich powody dot. kombinacji ww. kategorii, co potwierdzają opisane w niniejszej pracy przykłady. Często proste błędy i niedopatrzenia skutkują problemami, których rozwiązanie jest kłopotliwe i kosztowne.

Mechaniczny stopień zbrojenia (moc zbrojenia) uwzględnia wpływ ilości zbrojenia zginanego na nośność złącza stropu i słupa. Oprócz tego parametr ten umożliwia analizę rozwoju rys i ich szerokości. Znając wartość mocy zbrojenia można określić

oddziaływanie dominujące - mechanizm (tj. zginanie i/lub ścinanie) za pomocą ustalonych przedziałów wartości w stanie granicznym nośności. Znajomość mechanizmu, który występuje w danym przypadku pozwala oszacować stan bezpieczeństwa konstrukcji oraz konsekwencje awarii. Dokładnym sposobem wyznaczenia nośności połączenia i przewidywania obrazu zarysowania połączeń płyta-słup są nieliniowe analizy wykonywane za pomocą zaawansowanych programów komputerowych. Na podstawie podanego w tej pracy przykładu okazuje się, że takie analizy przynoszą zadawalające rezultaty.

Znając czynniki, które decydują o nośności stref podporowych złączy płytowo-słupowych można wywnioskować, co można zmienić w istniejącej konstrukcji, aby zwiększyć wytrzymałość ww. połączeń. W niniejszym referacie dokonano przeglądu wybranych metod wzmocnień stref przysłupowych omawianych styków pod względem uwarunkowań technicznych i efektywności działania. Przy wyborze metody wzmocnienia złącza w niniejszej pracy przyjęto, że wzmocnienie jest koniecznością, a zatem aspekt ekonomiczny pełni drugorzędną rolę, gdyż priorytet stanowi bezpieczeństwo konstrukcji oraz bezpieczeństwo użytkowania. Dlatego też w referacie nie uwzględniono kwestii ekonomicznych w zakresie wyboru metody wzmacniania stref podporowych połączeń płytowo-słupowych.

Każdy przypadek połączenia wymaga indywidualnego podejścia, aby wybrać najlepszy sposób wzmocnienia. Zgodnie z dokonany przeglądem wydaje się, że najskuteczniejszym sposobem wzmocnienia złącza płytowo-słupowego jest zwiększenie stopnia zbrojenia zginanego w połączeniu za pomocą stalowych płaskowników (wzrost nośności na przebicie wyniósł 58% dla płaskowników klejonych i jednocześnie zamocowanych śrubami).

## **Bibliografia**

- [1] Muttoni A., Punching Shear Strength of Reinforced Concrete Slabs without Transverse Reinforcement, *ACI Structural Journal/July-August 2008*, s. 440-450.
- [2] Urban T., Wzmacnianie konstrukcji żelbetowych przez konstrukcję żelbetową, *XXIX Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji*, 26-29 marca 2014, tom III, s. 389-456, Szczyrk 2014.
- [3] Urban T., Diagnostyka i wzmacnianie płyt żelbetowych na przebicie, *Przegląd Budowlany 11/2008*, s. 33-40.
- [4] Genikomsou A.S., Polak M.A., Finite element analysis of punching shear of concrete slabs using damaged plasticity model in ABAQUS, *Engineering Structures 98 (2015)*, s. 38-48.
- [5] Genikomsou A.S., Polak M.A., Finite-Element Analysis of Reinforced Concrete Slabs with Punching Shear Reinforcement, *Journal of Structural Engineering*, vol. 142, Issue 12, 2016.
- [6] Model Code 2010. Final draft. Bulletin 65 FIB, March 2012.
- [7] Einpaul J., Brantschen F., Ruiz M.F., Muttoni A., Performance of Punching Shear Reinforcement under Gravity Loading: Influence of Type and Detailing, *ACI Structural Journal*, July-August 2016, s. 827-846.
- [8] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2 Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.

# Problem wzmacniania istniejących płyt żelbetowych

Utworzono: czwartek, 11, lipiec 2019 13:16

- [9] Runkiewicz L., Sieczkowski J., Analiza najczęściej popełnianych błędów projektowych w konstrukcjach żelbetowych, Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, 6-9 marca 2018, tom I, s. 63-85, Szczyrk 2018.
- [10] Kałuża M., Kubica J., Hulimka J., Historia wzmocnień i napraw żelbetowego stropu nad garażem, XXVII Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane, 20-23 maja 2015, s. 617-624, Międzyzdroje 2015.
- [11] Przybysz P., Szulborski K., Stany awaryjne stropów ustrojów płytowo-słupowych na przykładzie stropu garażu podziemnego, XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane, 21-24 maja 2013, s. 721-726, Międzyzdroje 2013.
- [12] Starosolski W., Analiza obliczeniowa – poszukiwanie rezerw, Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, 26-29 marca 2014, tom III, s. 217-298, Szczyrk 2014.
- [13] Burdziński M., Kozłowski M., Przebieg w połączeniach typu płyta-słup – przegląd poszczególnych rodzajów zbrojenia oraz metod wymiarowania w świetle wybranych norm projektowych, IX Ogólnopolska Konferencja Budowlana Studentów i Doktorantów EUROINŻYNIER, Kraków 2019.
- [14] Hassanzadeh G., Sundqvist H., Strengthening of Bridge Slabs on Columns. Nordic Concrete Research [online], 1998, s. 12, (dostęp: 27.10.2003), [www.itn.is/ncr/publications/pub-21.htm](http://www.itn.is/ncr/publications/pub-21.htm), 1998.
- [15] Bartosik T., Kałuża M., Wzmacnianie konstrukcji z betonu materiałami na bazie włókien węglowych, szklanych i aramidowych, rodzaje produktów, zasady projektowania, technologia wykonywania i kontrola jakości robót, Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, 8-11 marca 2006, tom I, s. 1-38, Szczyrk 2006.
- [16] Bartosik T., Kałuża M., Wzmacnianie żelbetowych konstrukcji budowlanych materiałami CFRP, wybrane przykłady realizacji, Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, 10-13 marca 2010, tom IV, s. 271-292, Szczyrk 2010.

*Marcin Burdziński*

*Budownictwo, II stopień, III semestr, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska*

*Opiekun Naukowy: dr hab. inż. Maciej Niedostatkiwicz, prof. nadzw. PG*



# Problem wzmacniania istniejących płyt żelbetowych

Utworzono: czwartek, 11, lipiec 2019 13:16

---

Portal edroga.pl był patronem medialnym tego wydarzenia.