

Zbigniew PAJĄK
POLITECHNIKA ŚLĄSKA,
GLIWICE

PRZEBICIE W KONSTRUKCJACH ŻELBETOWYCH

Streszczenie. Referat prezentuje przegląd krajowych osiągnięć w zakresie analizy zjawiska przebiccia w żelbetowych płytach. Na podstawie bibliografii prac autorów krajowych opisano badania doświadczalne, przedstawiono analizę nośności i zarysowania przy przebicciu żelbetowych płyt, omówiono metody obliczeniowe i przedyskutowano także zalecenia normowe. W podsumowaniu wskazano kierunki przyszłych badań dotyczących przebiccia.

1. WSTĘP

Zjawisko przebiccia żelbetowych płyt w wyniku obciążenia siłą skupioną działającą na niewielkim polu stało się szczególnie istotne z chwilą wprowadzenia do budownictwa szkieletowych konstrukcji płytowo-słupowych. Początkowo, problem przebiccia podejmowano przy zagadnieniach projektowania płyt lub stóp fundamentowych pod słupami lub płyt mostowych obciążonych siłami skupionymi. Dla tych konstrukcji możliwe było jednak bardzo ostrożne podejście, gdyż grubość płyt nie rzutowała na ekonomikę rozwiązań. W ustrojach płytowo-słupowych dążenie do możliwie małej grubości płyt jest postulatem zasadniczym. Jak wykazały badania modelowe stropów takich konstrukcji, obciążanych równomierne na całej powierzchni aż do zniszczenia, strefy przypodporowe są newralgicznymi ich punktami. Problem przebiccia stał się więc przedmiotem licznych badań i analiz prowadzonych za granicą, a w ostatnich latach, również szeroko i w Polsce.

W ogólnym przypadku w strefach połączeń płyt ze słupami możliwy jest dwojaki mechanizm zniszczenia:

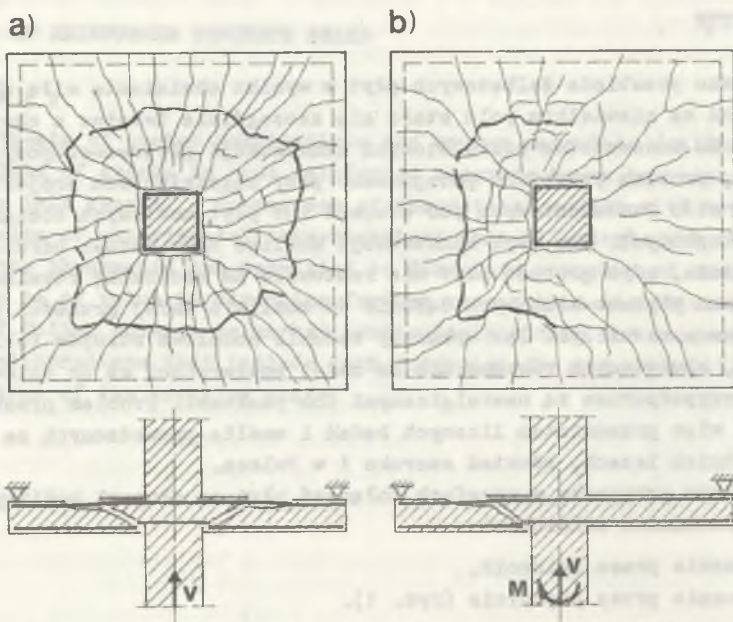
- zniszczenie przez zginanie,
- zniszczenie przez przebiccie (rys. 1).

Nośność żelbetowych płyt na zginanie w strefach podporowych można stosunkowo łatwo określić na podstawie teorii linii załomów. Znane są liczne rozwiązania zarówno dla prostych modeli, jak i całych ustrojów, przy różnych rodzajach obciążeń.

Dla przebiccia do dnia dzisiejszego nie udało się, pomimo licznych badań, ustalić uogólnionego modelu teoretycznego. Stan wyłączenia w strefie pod-

porowej uzależniony jest bowiem od wielu współzależnych między sobą parametrów. Przy obecnym stanie wiedzy najlepiej można oceniać nośność na przebicie żelbetowych płyt, różnymi wzorami półempirycznymi, które jednak często mają ograniczony obszar zastosowań. Syntetyczne ujęcie problemów przebicia ujęto w dokumentach ACI [92] oraz CEB [71]. W kraju obszerne monograficzne podsumowanie stanu wiedzy z zakresu przebicia obejmujące okres do 1978 r. zawiera praca [6], poświęcona ustrojom płytowo-słupowym. Uaktualnione i uzupełnione wydanie tej pracy rozszerzone o stan wiedzy do 1981 r., ukazało się w RFN [7]. Znaczną uwagę najnowszym osiągnięciom z zakresu oceny nośności stref podporowych konstrukcji płytowo-słupowych poświęcono także w [16].

Niniejszy raport powstał w ramach działań III Grupy Roboczej Sekcji Konstrukcji Betonowych Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej przy Polskiej Akademii Nauk. Konsultantem naukowym był prof. dr hab. inż. Włodzimierz Starosolski z Politechniki Śląskiej, a recenzentem prof. zw.dr hab. inż. Tadeusz Godycki-Ćwirko z Politechniki Gdańskiej, którym dziękuję za pomoc i cenne uwagi przy opracowaniu ostatecznej wersji raportu.



Rys. 1. Obraz zarysowania przy przebicciu:
a) obciążenie osiowe, b) obciążenie mimośrodkowe

Fig. 1. Crack pattern at punching shear:
a) axial load, b) eccentric load

2. BADANIA DOŚWIADCZALNE

Zagadnienie przebicia żelbetowych płyt było przedmiotem licznych badań prowadzonych od 1948 r., głównie w Stanach Zjednoczonych, Szwecji, RFN, a także w Anglii, w ZSRR, Australii i Izraelu. Zbadano łącznie kilkaset modeli w skali naturalnej lub zmniejszonej, odwzorowujących połączenie słupa z płytą fundamentową lub stropową. Zrealizowane badania pozwalają w różnym stopniu (w zależności od liczby prób) na ocenę wpływu na nośność przy przebicciu szeregu czynników, takich jak: wytrzymałość betonu, rodzaj betonu (beton zwykły, niektóre typy betonów lekkich), stopień zbrojenia rozciąganego płyt i sposób jego rozmieszczenia, kształt poprzecznego przekroju słupa, proporcje wymiarów płyty i słupa, kształt modeli (połączenia wewnętrzne, skrajne i narożne), mimośród siły przebijającej, sposób obciążenia (obciążenie statyczne, dynamiczne, wielokrotnie zmienne, długotrwałe), schemat statyczny badań, sprzężenie płyt, różne rodzaje zbrojenia poprzecznego (strzemiona, wkładki odgięte, szkielety zbrojeniowe, stalowe płyty, kołnierze, głowice i inne), oraz otwory w płycie w strefie podporowej.

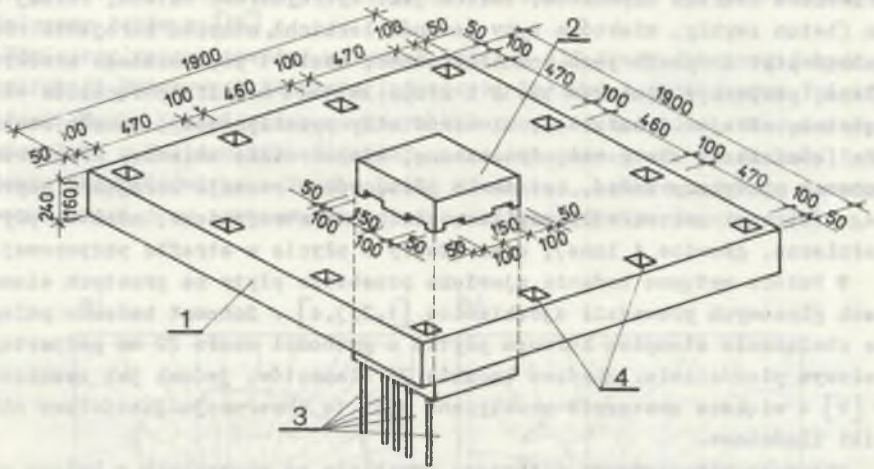
W Polsce wstępne badania zjawiska przebicia płyty na prostych elementach gipsowych prowadził Ajdukiewicz [1,2,3,4]. Schemat badania polegał na obciążeniu stemplem kołowym płytki o grubości około 22 mm podpartej na kołowym pierścieniu. Zbadano łącznie 75 elementów, jednak jak zaznaczono w [2] - większe znaczenie praktyczne mają tu obserwacje jakościowe niż wyniki ilościowe.

Pierwsze ekperymenty dotyczące przebicia na elementach z betonu przeprowadzili w 1964 r. Korpys [45] oraz w 1971 r. Starosolski, Badora, Kliczszewicz [76] w związku z realizacją budynków o wypychanych kondygnacjach [45,46,47]. Dalsze prace kontynuowano w dwóch ośrodkach naukowych - Politechnika Śląska [79] i Politechnika Łódzka [70]. Do końca 1987 r. zbadano 176 modeli żelbetowych połączeń płyty ze słupem oraz 3 modele ustrojów płytowo-słupowych. Większość eksperymentów przeprowadzono na modelach w skali naturalnej i dotyczyły one mimośrodowego przebicia modeli płyt w strefie słupów wewnętrznych lub skrajnych. Wielkość prostych kwadratowych lub prostokątnych płyt modeli przyjmowano z warunku, by linia ich podparcia sięgała co najmniej linii zerowych momentów zginających w ustroju płytowo-słupowym. Dla obciążenia równomiernie rozłożonego na płycie linię zerowych momentów aproksymować można kwadratem, o długości boku równym $2/5$ rozstawu osiowego słupów. Taki kształt modeli przyjmowano najczęściej w badaniach przebicia za granicą [15]. Oprócz kompleksowych badań obejmujących liczne serie modeli (12 - 40 szt.), zrealizowano także szereg prac jednostkowych (krótkie serie modeli) dotyczących nietypowych przypadków przebicia, związanych najczęściej z próbami wdrożenia konkretnych rozwiązań projektowych. Syntetyczne zestawienie badań przebicia płyt zrealizowanych w kraju zawiera tablica 1 [65]. Szczegółowe dane odnośnie

do programów tych badań, konstrukcji modeli, wyników pomiarów i analiz zebrano w pracy [70].

2.1. Przebicie w strefie podpór wewnętrznych

Najliczniejszą jednorodną serię badań modeli połączeń wewnętrznych obejmującą łącznie 45 modeli w skali 1:1 przedstawiono w [41] i [76]. Dotyczyły one szczególnego rozwiązania połączenia, polegającego na wbetonowaniu prefabrykowanego słupa w wykonaną później płytę bez stosowanego w takich przypadkach przepuszczenia wkładek zbrojeniowych płyty przez słup (rys. 2).



Rys. 2. Model w badaniach [41]:

- 1) płyta żelbetowa, 2) słup prefabrykowany, 3) pręty zbrojenia słupa, 4) otwory kotwiczne

Fig. 2. Model used in the investigations [41]:

- 1) reinforced concrete slab, 2) precast column, 3) reinforcement of column, 4) anchoring holes

Podstawową zmienną w badaniach była wytrzymałość betonu na ściskanie. Stosowano beton lekki z kruszywa agloporytowego. Pozostałymi zmiennymi były: ilość i sposób rozmieszczenia zbrojenia w płycie, zbrojenie poprzeczne w postaci zamkniętych strzemion z drutu $\phi 4,5$ lub $\phi 6$ mm, proporcje wymiarów płyty i słupa, mimośród siły przebijającej. Modele osiowo obciążone uległy zniszczeniu przez przebicie, natomiast w mimośrodowo obciążonych obserwowano zniszczenie typu ścinanie - skręcenie. Wyniki badań, w konfrontacji z innymi badaniami modeli połączeń wewnętrznych, cechują się na ogół dobrą zgodnością z wynikami znanych metod chliczeniowych. Można stąd wyciągnąć pośrednio wniosek, że sposób konstrukcyjnego ukształtowania połączenia nie miał istotnego wpływu na nośność w porównaniu z modelami monolitycznymi (jednoczesne wykonanie płyty i słupa). Potwierdzenie tego wniosku znalazło miejsce w badaniach [43,44], które dotyczyły

Zestawienie badań modeli połączeń płyta - słup

lp	źródło rok	schemat badania	n	uwagi, wymiary
POŁĄCZENIA WEWNĘTRZNE				
1	[45] 1964		3	$h=0,1$; $l=0,6$; $c=0,2$; $e=0,43$ [m] słup prefabrykowany, styk wypełniony zaprawą
2	[76] 1971		15 (12)	$h=0,16, (0,24), (0,28)$; $l=1,7$; $c=0,45$; $e=0+0,75$ [m] $\mu_a=0,3+1,29\%$ $\bar{R}_b=11+30$ [Mpa], beton lekki, słup prefabrykowany
3	[19] 1974		4 (11)	$h=0,15$; $l=1,7$; $c=0,45$; $e=0+0,75$ [m] $\mu_a=0,5+1,5\%$; $\bar{R}_b=28+32$ [Mpa]
4	[44] 1975		10	$h=0,1$; $l=0,94$; $c=0,2$ [m] $\mu_a=0,98\%$ $\bar{R}_b=20+34$, słup prefabrykowany, - 8 elementów
5	[41] 1976		30	$h=0,16, (0,24)$; $l=1,7$; $c=0,45$; $e=0+0,75$ [m] $\mu_a=0,35+1,29\%$; $\bar{R}_b=12+30$ [Mpa], beton lekki, słup prefabrykowany
6	[68] 1977		6	$h=0,26$; $l=1,9$; $c=0,24$; $\mu_a=1,35\%$ $\bar{R}_b=21+28$ [Mpa], 4 modele ze wspornikami
7	[87] 1978		8 (4)	$h=0,16$; $l=1,7$; $c=0,25$; $e=0+0,25$ [m], $\mu_a=1,0\%$ $\bar{R}_b=12+23$ [Mpa] słup jednostronny, dwustronny, płytka stalowa
8	[80] 1979		3	$h=0,22$; $l=2,25$; $c=0,4$; $\mu_a=1,0\%$; $\bar{R}_b=20+30$ [Mpa], stalowy kotnierz
9	[28] 1979		4	$h=0,16$; $l=1,7$; $c=0,25$; $\mu_a=0,94\%$ $\bar{R}_b=30+37$ [Mpa], sprężenie-3 elementy
10	[25,28,29] 1980		12 (8)	$h=0,16$; $l=1,7$; $c=0,25$; $e=0+0,25$ [m] $\mu_a=0,5 (1,0)\%$; $\bar{R}_b=14+19$ [Mpa] wkłady stalowe - 9 elementów
11	[22,23] 1981 [50]1984 [24]1986		19 10	$h=0,16$; $l=1,7$; $c=0,25$; $e=0+0,25$ [m] $\mu_a=1,0 (1,5)\%$; $\bar{R}_b=12+25$ [Mpa], różne typy zbrojenia poprzecznego, obciążenie cykliczne - 3 elementy
12	[85] 1984		6	$h=0,16$; $l=1,7$; $c=0,25$; $\mu_a=1,0 (1,25)\%$ $\mu_m=0+1,0\%$; $\bar{R}_b=19+27$ [Mpa], zbrojenie drułem ciętym - 4 elementy
13	[81] 1985		3	$h=0,16$; $l=1,8$; $c=0,45$; $\bar{R}_b=42+53$ [Mpa] prasowany beton lekki, płyty i słupy prefabrykowane
14	[88] 1985		6	$h=0,16$; $l=1,8$; $c=0,25$; $\mu_a=1,0 (1,25)\%$ $\bar{R}_b=23+34$ [Mpa] połączenie prefabrykowane- 3 elementy, styk wypełniony zaprawą, obciążenia cykliczne - 3 elementy
POŁĄCZENIA SKRAJNE I Z DUŻYMI OTWORAMI				
15	[86] 1980		14 (3)	$h=0,16$; $l=1,7$; $c=0,25$; $e=0+0,75$ [m] $\mu_a=1,0\%$; $\bar{R}_b=12+20$ [Mpa] $w=0, (0,16), (0,82)$
16	[69] 1980		6 (3)	$h=0,175$; $l=2,25 \times 1,75$; $c=0,3+0,35$, $e=0+0,75$ [m]; $\mu_a=0,75\%$; $\bar{R}_b=15+37$ [Mpa], wkłady stalowe i strzemiona
17	[64] 1982		24 16	$h=0,2$; $l=2,25$; $c=0,4$; $e=0+0,25$ [m] $\mu_a=0,9+1,3\%$; $\bar{R}_b=21+44$ [Mpa], różne typy otworów
18	[8] 1985		3	$h=0,16$; $l=1,8+0,9$; $c=0,45$; $\bar{R}_b=47+52$ [Mpa], prasowany beton lekki, płyty i słupy prefabrykowane

n = liczba elementów

razem n = 176

* w nawiasach liczba modeli obciążanych osiowo - e=0

\bar{R}_b - wytrzymałość średnia betonu, μ_a - stopień zbrojenia płyty

wyjaśnienia wpływu sposobu ukształtowania bocznych powierzchni prefabrykowanego słupa na nośność przy osiowym przebicciu połączeń omawianego typu. Zbadano w tym celu 10 żelbetowych modeli z betonu zwykłego w skali 1:2 i wykazano, że sposób konstrukcyjnego połączenia płyty ze słupem (modele z prefabrykowanym słupem oraz modele monolityczne) nie miał wpływu na nośność przy obciążeniu statycznym. Taki sam wniosek uzyskano w badaniach [88], których celem było sprawdzenie koncepcji złącza typu dyblowego - prefabrykowana płyta i słup.

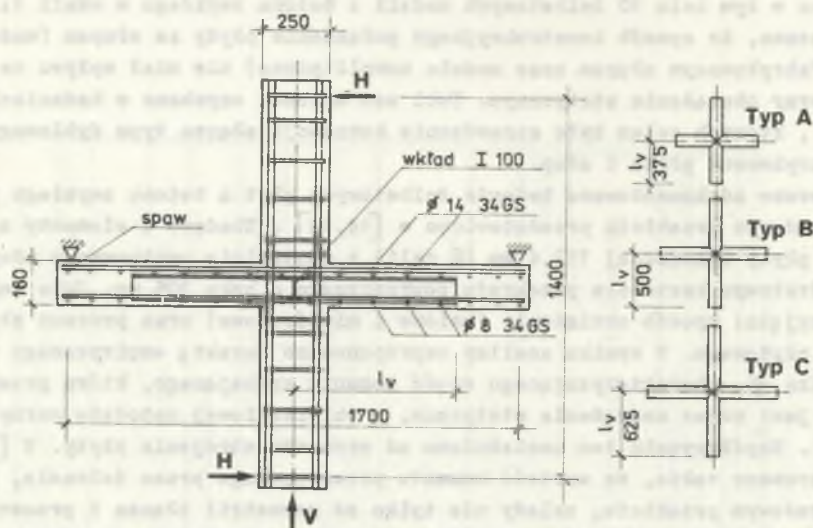
Szeroko udokumentowane badania żelbetowych płyt z betonu zwykłego przy mimośrodowym przebicciu przedstawiono w [14, 19]. Zbadano 4 elementy o grubości płyty wynoszącej 152,4 mm (6 cali) z centralnie usytuowanym słupem o kwadratowym kształcie przekroju poprzecznego o boku 305 mm. Jako zmienne przyjęto: sposób obciążenia (osiowe i mimośrodowe) oraz procent zbrojenia płytowego. W wyniku analizy zaproponowano korektę empirycznego współczynnika η , charakteryzującego część momentu zginającego, która przenoszona jest przez naprężenia statyczne, w obliczeniowej metodzie normy [89]. Współczynnik ten uzależniono od procentu zbrojenia płyty. W [19] zasugerowano także, że wartość momentu przenoszonego przez ścinanie, przy mimośrodowym przebicciu, zależy nie tylko od geometrii złącza i procentu zbrojenia, ale także od średnicy wkładek, wartości otuliny, wielkości mimośrodów i innych czynników.

Badania monolitycznych złączy płytowo-słupowych ze sztywnym zbrojeniem poprzecznym przedstawiono w pracy doktorskiej [53] i opublikowano w [25, 26, 29, 52]. Obejmowały one 12 modeli w skali naturalnej, zgrupowanych w trzech seriach. Parametrami zmiennymi były: procent zbrojenia wlotkiego, sposób obciążenia oraz wysięg ramion sztywnego wkładu poza lico słupa (rys. 3). Modele wykonano z betonu zwykłego. Sztywne zbrojenie zastosowano w postaci stalowego wkładu w formie spawanego krzyża z I 100. W badaniach wykazano, że zbrojenie sztywne powoduje, w stosunku do modeli bez zbrojenia sztywnego:

- zmniejszenie naprężeń w zbrojeniu prętowym w licu słupa,
- zmniejszenie ugięć i rozwarcia rys o około 40%,
- wzrost siły niszczącej od 10% do 40% dla modeli obciążonych osiowo i od 40% do 70% dla obciążenia mimośrodowego.

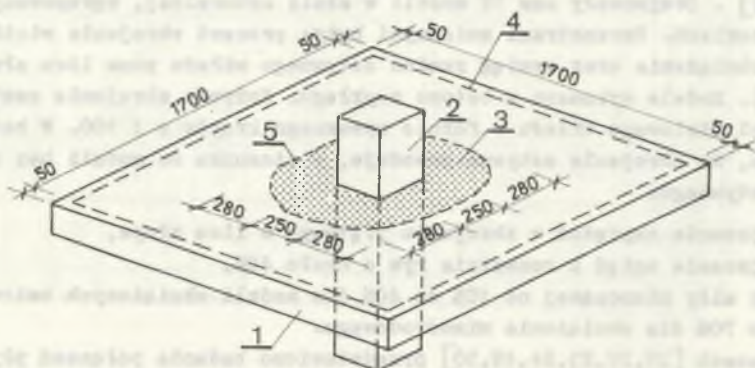
W pracach [20, 22, 23, 24, 49, 50] przedstawiono badania połączeń płytowo-słupowych mające na celu wyjaśnienie wpływu zbrojenia poprzecznego. Zbadano łącznie 19 modeli, w których parametrami zmiennymi były: rodzaje, ułożenie, zakotwienie zbrojenia poprzecznego i sposób obciążenia (osiowe i mimośrodowe). W badaniach wykazano, że zbrojenie poprzeczne skutecznie współpracuje w przenoszeniu ścinania w stosunkowo cienkich płytach pod warunkiem dobrego jego zakotwienia. Najbardziej efektywne okazało się stosowanie tzw. króciaków, tj. cienkich plastrów wyciętych z dwuteownika oraz stalowych listew z dyblami - wzrost nośności w porównaniu z elementami bez zbrojenia poprzecznego o około 50%. W [23] stwierdzono także, że

wraz ze wzrostem mimośrodowość siły przebijającej skuteczność zbrojenia poprzecznego maleje.



Rys. 3. Modele w badaniach [25]

Fig. 3. Models used in the investigations [25]



Rys. 4. Model w badaniach [85] :

- 1) płyta żelbetowa, 2) słup, 3) strefa drutobetonu, 4) linia podpór, 5) siatka

Fig. 4. Model used in the investigations [89] :

- 1) reinforced concrete slab, 2) column, 3) area of steel fiber reinforced concrete, 4) support line, 5) metal lath

W [86] zrelacjonowano badania 6 modeli wewnętrznego połączenia płyty ze słupem, z tym że w 4 modelach zastosowano w płycie wokół słupa beton

z dodatkiem ciętego drutu (rys. 4). Zniszczenie modeli bez mikrobrojenia następowało przez ścinanie, natomiast modele z mikrobrojeniem niszczyły się przez zginanie.

Jednym z kontrowersyjnych zagadnień w badaniach modeli połączeń płyto-wo-słupowych jest wpływ na nośność sposobu przekazywania obciążenia na płytę stropową. Wyjaśnieniu tego zagadnienia poświęcono badania [87] zrealizowane na 8 żelbetowych modelach. Obciążenie w postaci siły przebijającej i momentu zginającego przekazywano na płytę trzema sposobami: jedynie przez stalową płytkę, jednostronny odcinek słupa i dwustronny odcinek słupa. W badaniach nie stwierdzono wyraźnego wpływu sposobu przekazania obciążenia na wartość graniczną siły przebijającej. Sposób przyłożenia obciążenia nie pozostawał jednak bez wpływu na morfologię rys.

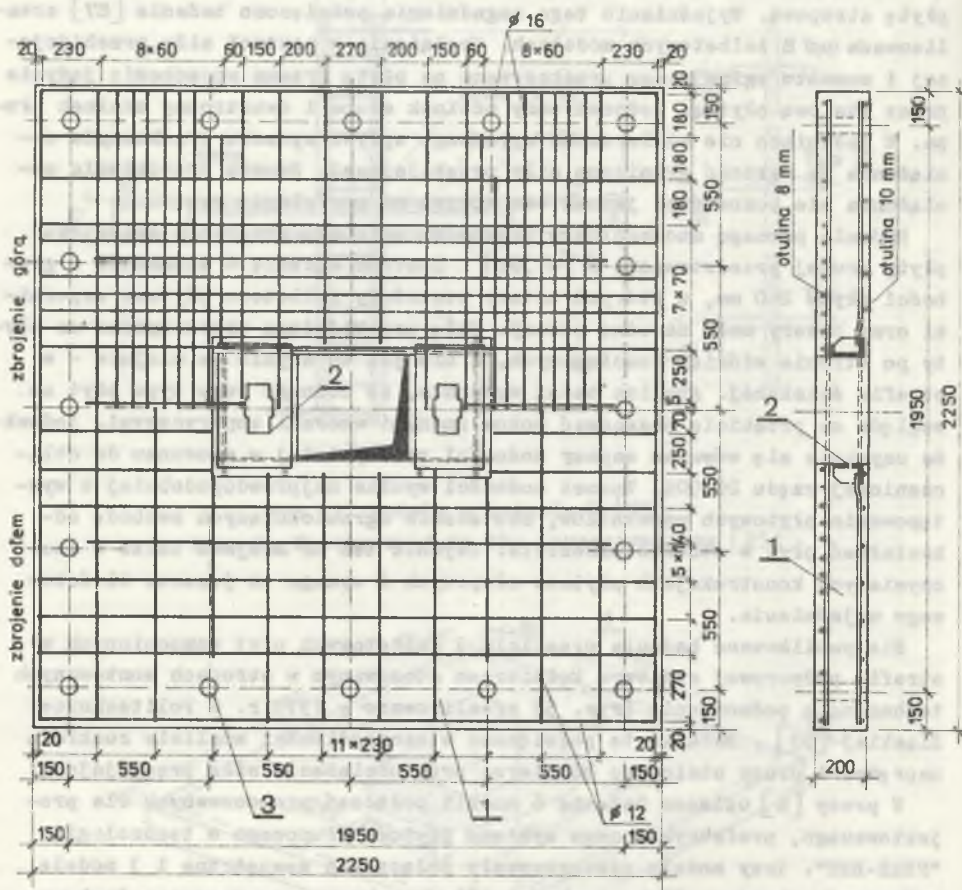
Badania pewnego szczególnego przypadku osłowego przebiecia żelbetowej płyty grubej przedstawiono w [67,68]. Zbadano łącznie 6 elementów o grubości płyty 260 mm, z których cztery posiadały żelbetowe płytowe wsporniki oraz cztery małe narożne otwory. Siłę przebijającą przekazywano na płyty po stronie włókien rozciąganych, a nie jak to zwykle ma miejsce - w strefie ściskanej. Analiza badań wykazała, że nośność tego typu płyt ze względu na przebiecie oszacować można znanymi wzorami empirycznymi, jednakże uzyskuje się wówczas zapasy nośności rzeczywistej w stosunku do obliczeniowej rzędu 20-90%. Wzrost nośności wynika najprawdopodobniej z występowania płytowych wsporników, skutecznie ograniczających swobodę odkształceń płyt w strefie przebiecia. Czynnikiem ten ma miejsce także w rzeczywistych konstrukcjach płytowo-słupowych i wymaga on jeszcze ilościowego wyjaśnienia.

Nie publikowane badania przebiecia 3 żelbetowych płyt wzmocnionych w strefie podporowej stalowym kołnierzem stosowanym w stropach montowanych technologią podnoszenia (rys. 5) zrealizowano w 1979 r. w Politechnice Śląskiej [80]. Badania te poświęcono w szczególności analizie rozkładu naprężeń i pracy stalowego kołnierza przy obciążeniu siłą przebijającą.

W pracy [8] opisano badania 6 modeli połączeń proponowanych dla projektowanego, prefabrykowanego systemu płytowo-słupowego w technologii "PRAS-BET". Trzy modele odwzorowywały połączenia wewnętrzne i 3 modele połączenia skrajne. Płyty grubości 160 mm wykonane z prasowego żupkoporybetonu, posiadały jedynie konstrukcyjne zbrojenie siatkowe (ϕ 4,5 mm co 200 mm) i podpierane były w narożach na słupach w kształcie krzyża. Proces niszczenia modeli charakteryzował znaczny przyrost przemieszczeń przy dużych rozwarciach rys w stykach prefabrykatów płytowych. Ostatecznie jednak płyty niszczyły się przez ścinanie.

Jedynie badania sprężonych połączeń płytowo-słupowych przedstawiono w [27,28]. Zbadano 4 modele (3 sprężone, 1 bez sprężenia), przy osiowym przebieciu. Płyty sprężano w dwu prostopadłych kierunkach 7 splotami 7 ϕ 2,5 mm. W dwóch modelach stosowano prostoliniowy przebieg kabli, a w 1 - przebieg krzywoliniowy. Stwierdzono, że sprężenie doprowadziło do

wzrostu nośności złączy o 60% w wypadku prostoliniowego przebiegu cięgien i o 45% dla cięgien biegnących krzywoliniowo. Wykazano także, że istotnym pozytywnym efektem sprężenia było znaczne, aż trzykrotne zmniejszenie ugięć.



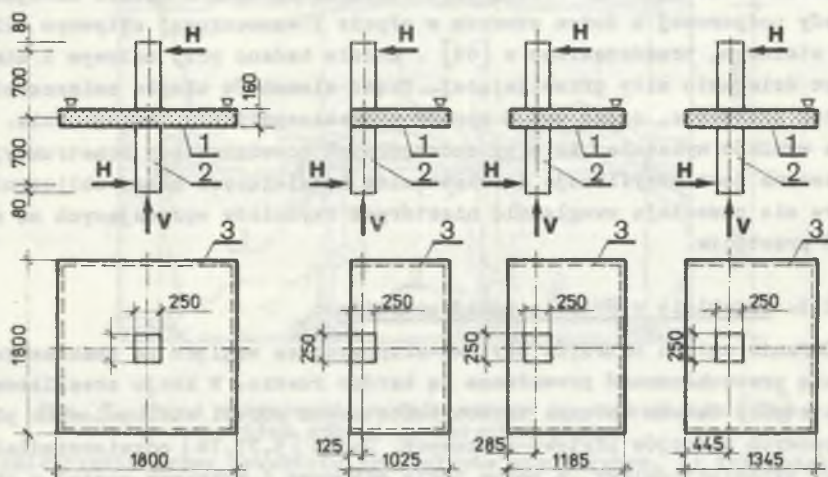
Rys. 5. Zbrojenie płyt w badaniach [80]

Fig. 5. Reinforcement of slabs used in the investigations [80]

2.2. Przebieg w strefie podpór skrajnych i modeli z dużymi otworami

Znaczącą serię modeli połączeń skrajnych (rys. 6) zrealizowano w ramach pracy doktorskiej [83] i opublikowano w [32,82,84,85]. Zasadniczym celem tych badań było określenie wpływu wysięgu płyty poza obrys zewnętrzny słupa, na nośność połączenia przy przebiciu - wpływ ten nie był dotychczas przedmiotem badań. Zbadano łącznie 13 modeli połączeń skrajnych w skali 1:1 (grubość płyty 160 mm) oraz 4 modele połączeń wewnętrznych, stanowiące

płaszczyznę odniesienia dla modeli złączy skrajnych. Głównym parametrem zmiennym był wysięg płyty poza lico słupa. Efekt ten badano dla różnych wartości mimośrodowo siły przebijającej. Dodatkowo, dla serii z mimośrodem $e = 250$ mm analizowano wpływ wykonanej, ukrytej belki żelbetowej wzdłuż swobodnej krawędzi płyty. Wykazano, że zastosowanie przewieszenia płyty poza obrys słupa wpływa korzystnie na wzrost nośności złączy. Przy wysięgu równym dwukrotnej grubości płyty nośność złącza jest już porównywalna z nośnością odpowiadającą złączu wewnętrznemu. Stwierdzono także istotny wpływ sposobu zakotwienia zbrojenia przy krawędzi zewnętrznej na nośność, określając współczynnik charakteryzujący ten parametr w zaproponowanej metodzie obliczeniowej. Nie zauważono wpływu ukrytej belki krawędziowej na nośność przy przebiciu, ze względu na jej nieznaczne zbrojenie. Belka ukryta, była zbrojona jedynie 4 wkładkami $\phi 16$ mm i strzemiętami $\phi 6$ mm co 130 mm.



Rys. 6. Modele w badaniach [86] :

1) płyta żelbetowa, 2) słup, 3) linia podpór

Fig. 6. Models used in the investigations [86] :

1) reinforced concrete slab, 2) column, 3) support line

Dla wyjaśnienia wpływu dużych otworów w strefie podporowej na nośność osiowo i mimośrodowo obciążanych, wewnętrznych połączeń płytowo-słupowych, poświęcono badania [62], opublikowane w [61,64,66]. Zbadano łącznie 24 żelbetowe modele w skali 1:1, zgrupowane w 3 seriach. Seria I (9 modeli) dotyczyła modeli z różnym układem otworów (otwory boczne jednostronne, dwustronne i narożne) obciążanych siłą przebijającą w osi słupa. W serii II (7 modeli) badano wpływ zbrojenia poprzecznego w postaci ciągłych strzemięt pionowych także przy obciążeniu osiowym. Serię III (8 modeli) stanowiły modele obciążone siłą przebijającą na mimośrodku $e = 250$ mm.

Najistotniejsze wnioski z badań sformułować można następująco:

- otwory w sposób istotny wpływają na nośność przebiccia, jeżeli znajdują się w odległości mniejszej niż podwójna grubość płyty od lica słupa,
- otwory niesymetrycznie rozmieszczone względem osi słupa wywołują w osiowo obciążonej strefie podporowej stan mimośrodowego przebiccia,
- rozwój zarysowań w otworach oraz mechanizm zniszczenia wykazały wyraźnie na współpracę zbrojenia rozciąganego w przenoszeniu sił w obszarze strefy podporowej (siły klockujące),
- zastosowane zbrojenie poprzeczne efektywnie współpracowało w przenoszeniu naprężeń ścinających. Wzrost nośności na przebiccie strefy podporowej zbrojenia poprzecznie, w stosunku do strefy bez zbrojenia wynosił od 15 + 75% w zależności od intensywności tego zbrojenia i rozmieszczenia otworów.

Badania szczególnego rozwiązania konstrukcyjnego, 6 modeli skrajnej strefy podporowej z dużym otworem w płycie i wzmocnionej sztywnym wkładem stalowym, przedstawiono w [69]. Modele badano przy osiowym i mimośrodowym działaniu siły przebijającej. Część elementów uległa zniszczeniu na skutek przebiccia, część zaś w sposób charakterystyczny dla zginania. Analiza wyników wykazała, że przy szczególnych rozwiązaniach konstrukcyjnych konieczna jest weryfikacja doświadczalna istniejących metod obliczeniowych, które nie pozwalają uwzględnić niektórych czynników wpływających na nośność przebiccia.

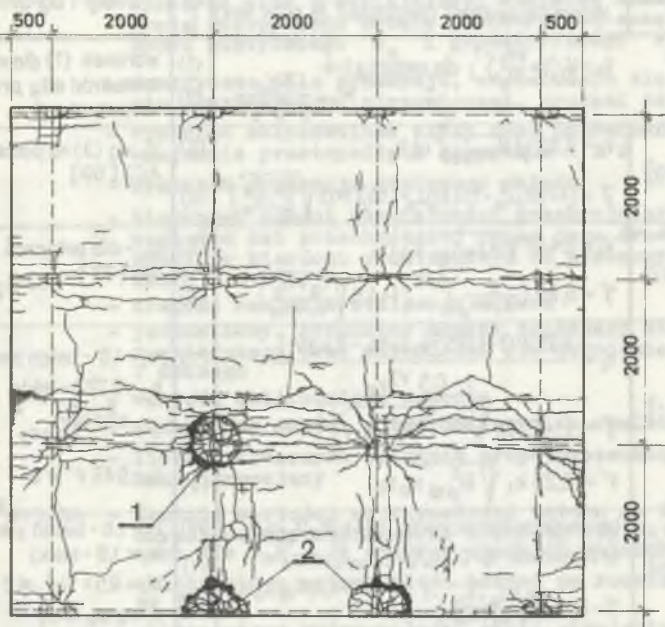
2.3. Przebiccie w świetle badań ustrojów

Badania całych ustrojów płytowo-słupowych ze względu na znaczne koszty i dużą pracochłonność prowadzone są bardzo rzadko. W kraju zrealizowano w ostatnich latach badania trzech żelbetowych modeli wielopolowych płyt stropowych ustrojów płytowo-słupowych. Jeden [9,77,78] odzwierciedlał strop dziewięciopolowy, z pełną płytą stropową i wykonany został w skali 1:3 w stosunku do wymiarów prototypu (grubość płyty 60 mm, siatka słupów 2,0 x 2,0 m). Drugi model [5,39,40], wykonany w skali 1:4, dotyczył stropu kasetonowego, sześciopolowego, o stałej grubości płyty wynoszącej 150 mm. Trzeci [57] znajduje się aktualnie w trakcie badań i dotyczy 4-polowego stropu płaskiego o mieszanych warunkach podparcia.

Wymienione badania ustrojów dotyczyły przede wszystkim pracy płyt w fazie sprężystej i w stanach granicznych po zarysowaniu, a także analizy rozkładów reakcji podporowych, pomiaru ugięć doraźnych i długotrwałych, morfologii rys przy wzrastającym obciążeniu.

W zbadanym modelu płyty pełnej osiągnięto stan zniszczenia przez przebiccie w strefach słupów skrajnych i wewnętrznych (rys. 7). Ze względu na zastosowaną w badaniach małą skalę modelu (grubość płyty 60 mm) porównanie wyników nośności na przebiccie uzyskanych dla ustroju z badaniami prostych modeli jest praktycznie niemożliwe. Jednakże obserwowany rozwój rys i mechanizm zniszczenia ustroju w strefie przysłupowej potwierdzają słuszność

przyjmowanych założeń odnośnie do badań stref podporowych przy przebicciu, realizowanych na prostych modelach złączy płytowo-słupowych.



Rys. 7. Obraz zarysowania modelu stropu po zniszczeniu [78] - widok górnej powierzchni płyty:

- 1) zniszczenie przez przebiccie przy słupie wewnętrznym, 2) zniszczenie przez przebiccie przy słupie skrajnym.

Fig. 7. Crack pattern of a floor model after failure [78] - view of the top surface of the slab:

- 1) punching failure at interior column, 2) punching failure at edge column

3. METODY OBLICZENIOWE

Na podstawie analiz zrealizowanych w kraju badań zaproponowano szereg empirycznych i półempirycznych wzorów dla określania nośności na przebiccie (tablica 2). Wzory te najczęściej stanowią uściślenie, modyfikację lub rozszerzenie znanych metod badaczy zagranicznych. W [19] przedstawiono propozycję uściślenia współczynnika γ w metodzie normy ACI [89] (rys. 8) uzależniając jego wartość od stopnia podstawowego zbrojenia płyty - wzór (4). Współczynnik γ określa część momentu zginającego przenoszonym przez ściananie przy mimośrodowym przebicciu. Weryfikacja tak zmodyfikowanej metody ACI, przeprowadzona w [41], wykazała, że daje ona lepszą zgodność z wyni-

Tablica 2

Zestawienie ważniejszych wzorów autorów krajowych opisujących nośność na przebiecie

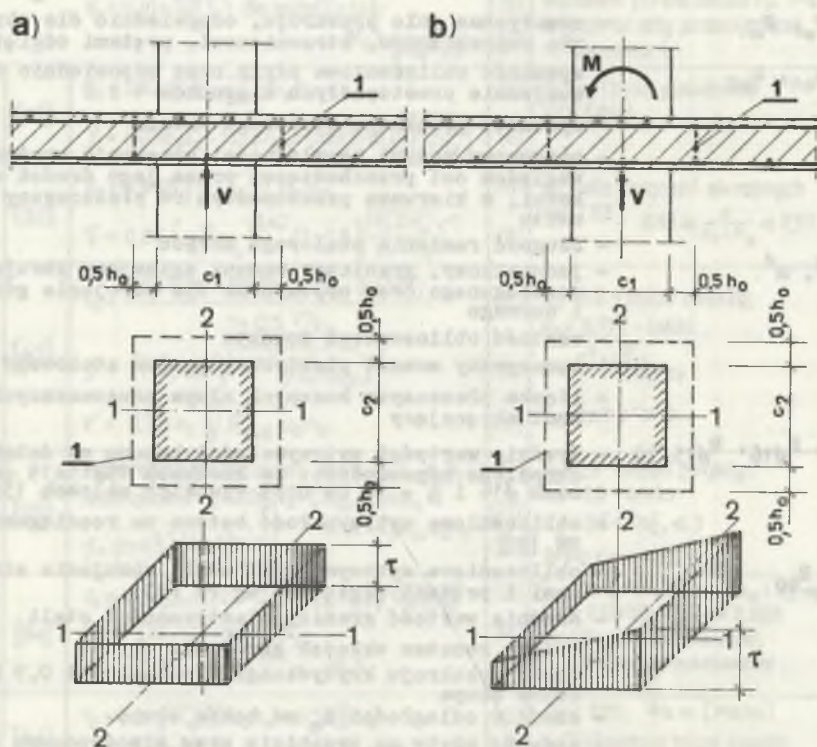
l.p.	Źródło	Wzory obliczeniowe przekształcone do jednolitej postaci (jednostki: m, MPa, MN)	Nr wzoru	Uwagi i ograniczenia
		$V_e = V_0 \left(1 + \frac{eV_0}{M_0}\right)^{-1}$; dla metod l.p.1-4: $M_0 = \frac{I V_0}{\gamma u_0 h_0 b}$	(1) (2)	warunek (1) dla metod l.p. 1÷6 mimośród siły przebijającej w kierunku 1
1	[19]	$V_0 = 0,33 \sqrt{R_{\phi 15/30}} u_0 h_0$ $\gamma = (4758 \mu_a^2 - 133,87 \mu_a + 1,55) \left(1 + 1,5 \sqrt{\frac{c_2 + h_0}{c_1 + h_0}}\right)^{-1}$	(3) (4)	V_0 wg (3) na podstawie ACI [89]
2	[32]	$V_0 = 0,465 \sqrt{R_{\phi 15/30}} u_0 h_0$ $\gamma = 0,85 \left(\frac{e}{c_1 + h_0}\right)^{0,42} \left(1 + 1,5 \sqrt{\frac{c_2 + h_0}{c_1 + h_0}}\right)^{-1}$	(5) (6)	u_0 - dla połączeń skrajnych wg [32] $0,33 \leq \frac{e}{c_1 + h_0} \leq 2,51$
3	[41]	$V_0 = \frac{1,63 V' (1 - 0,075 \frac{e}{h_0}) + (V_s - 0,43 V')}{1 + 0,5 V/V_s}$ $\gamma = \left(1 + 2,126 \sqrt{\frac{c_2 + h_0}{c_1 + h_0}}\right)^{-1}$ $V' = 0,23 k_1 \sqrt[3]{R_{\phi 16}^2} u_0 h_0$	(7) (8) (9)	$k_1 = 1,0$ - beton zwykły; $k_1 = 0,722$ - lekki $c = c_1^2 + c_2^2 / c_1 + c_2$ $V_s - 0,43 V' > 0$
4	[75]	bez zbrojenia poprzecznego: $V_0 = k_1 k_2 R_{bz} u_0 h_0$ ze zbrojeniem: $V_0 = \Sigma R_{as} F_s + \Sigma R_{ao} F_o \sin \alpha_0 \leq$ $\gamma = \left(1 + 1,5 \sqrt{\frac{c_2 + h_0}{c_1 + h_0}}\right)^{-1} \leq 1,4 k_1 k_2 R_{bz} u_0 h_0$	(10) (11) (12)	$k_1 = 1,0$ - beton zwykły; $k_1 < 1,0$ - lekki $k_2 = 0,5 + c_2 / c_1 \leq 1$ przy $c_2 < c_1$
5	[84]	$V_0 = k_2 u_0 h_0 (0,22 + 0,058 \mu_a R_e) \sqrt{R_{\phi 15/30}}$ $M_0 = m (2c_1 + c_2 + \alpha_u h_0) k_z$ $\alpha_u = 15,3 / \left(\frac{e_s - e_p}{c_1}\right)^{2/3} \leq 18,5$	(13) (14) (15)	$k_2 = 0,6 + 0,04 c_2 / c_1$; $c_2 < c_1$; u_0 i k_2 wg [84]; $0,22 + 0,058 \mu_a R_e \leq 0,523$; $k_z = 1,0$ pełne zakotwienie; $k_z = 0,7$ niepełne zakotwienie
6	[64]	$V_0 = 0,3 \sqrt{R_{\phi 15}} u_0 h_0 + 0,53 \frac{d}{s} u_k$ $M_0 = 1,78 \sqrt{R_{\phi 15}} n h_0 (c_1 - \frac{h}{3}) + (m^g + m^d) (c_2 + 6h_0)$	(16) (17)	$d/s \leq 0,25$; d/s w [MN/m] w [64] podano także sposób uwzględnienia V_s
7	[23]	$\left(\frac{V_e - V_s}{V_b}\right)^2 + k \frac{V_e}{M_0} \leq 1$; $k = 1 - 0,5 \frac{e}{c_1} \geq 0,3$ $V_0 = V_b + V_s = 0,3 \sqrt{R_{\phi 15/30}} u_a h_0 + \beta F_p R_e \sin \alpha_0$ $M_0 = 0,3 \sqrt{R_{\phi 15/30}} I / b$	(18) (19) (20) (21)	$\beta = 0,6$ - strzemiona i króciaki I $\beta = 0,55$ - pręty odgięte dodatkowe warunki na u_{α} w [23] I, b dla przekroju krytycznego $u_{\alpha} h_0$
8	[93]	V_0 - wg wzorów (10) i (11) dla $k_1 = k_2 = 1$	(22)	płyty stropowe i stopy fundament. obciążone osiowo z betonu zwykłego
9	[56]	$V_0 = V_b + V_s$; V_b - wg wzoru (13); $V_s = \eta \frac{\Sigma M_{pl}}{l_s - 0,5c}$ $\eta = 0,05 + 0,365 \left(\frac{l_s - 0,5c}{h_s}\right) - 2,3$	(23) (24)	osiowo obciążone złącza wewnętrzne ze zbrojeniem w postaci stalowych głowic

1) wzory do projektowania, 2) w [42,66,84] podano także postacie wzorów do projektowania

Spis oznaczeń do wzorów z tabl. 2

b	- odległość od środka ciężkości przekroju krytycznego do jego boku, mierzona w kierunku mimośrodów e
c_1, c_2	- długość boków prostokątnego słupa, odpowiednio w kierunkach 1 i 2
d	- średnica wkładek zbrojenia rozciąganej płyty
e	- mimośród siły przebiegającej względem środka przekroju zastępczego będący geometryczną sumą mimośrodu statycznego e_s i geometrycznego e_g
F_p, F_s, F_o	- sumaryczne pole przekroju, odpowiednio dla zbrojenia poprzecznego, strzemionami, prętami odgiętymi
h_o, h_{o1}, h_{o2}	- wysokość obliczeniowa płyty oraz odpowiednio dla wzajemnie prostopadłych kierunków 1 i 2
h_s	- wysokość przekroju stalowego wkładu
I	- biegunowy moment bezwładności przekroju krytycznego względem osi przechodzącej przez jego środek ciężkości, w kierunku prostopadłym do płaszczyzny momentu
l_s	- długość ramienia stalowego wkładu
m, m^g, m^d	- jednostkowy, graniczny moment zginający zbrojenia rozciąganego oraz odpowiedni dla zbrojenia górnego i dolnego
M_o	- wartość obliczeniowa momentu
$\sum_{n} M_{pl}$	- sumaryczny moment plastyczny ramion stalowego wkładu
n	- liczba płaszczyzn bocznych słupa przenoszących moment skręcający
$R_{\phi 15}, R_{\phi 16}, R_{\phi 15/30}$	- średnie wartości wytrzymałości betonu na ściskanie określone odpowiednio: na kostkach $15 \times 15 \times 15$ cm, walcach $\phi 16$ i $h = 16$ cm oraz wysokich walcach 15×30 cm
R_{bz}	- obliczeniowa wytrzymałość betonu na rozciąganie wg PN [93]
R_{as}, R_{ao}	- obliczeniowe wytrzymałości stali zbrojenia strzemionami i prętami odgiętymi wg PN [93]
R_e	- średnia wartość granicy plastyczności stali
s	- osiowy rozstaw wkładek zbrojenia płyty
u_o	- obwód przekroju krytycznego w odległości $0,5 h_o$ od boków słupa
u_k	- obwód w odległości h_o od boków słupa
v_e	- nośność płyty na przebiecie przy mimośrodowym obciążeniu
v_o	- nośność płyty na przebiecie przy osiowym obciążeniu ($e = 0$)
v_b, v_s	- siły poprzeczne przenoszone odpowiednio przez beton i zbrojenie poprzeczne
v_z	- nośność płyty na zginanie wyznaczana wg teorii linii załomów
α_o	- kąt odgięcia wkładek
μ_a	- stopień zbrojenia rozciąganej płyty
$\gamma, \beta, \eta, k, k_1, k_2, k_z$	- współczynniki

kami badań (159 modeli) niż metoda normowa. Nieco inną postać współczynnika γ podano w [32] i sprawdzono ją na modelach połączeń skrajnych. Metodę bazującą również na analizie naprężeń stycznych w przekroju krytycznym oddalonym o $0,5 h_0$ od boków słupa (rys. 8) przedstawiono w [41,42] - wzory (1,7,8,9). Nośność przy przebiciu osiowym oblicza się tu ze zmodyfikowanego wzoru Moe'go [59]. Weryfikację tej metody z wynikami badań przedstawia rys. 9.

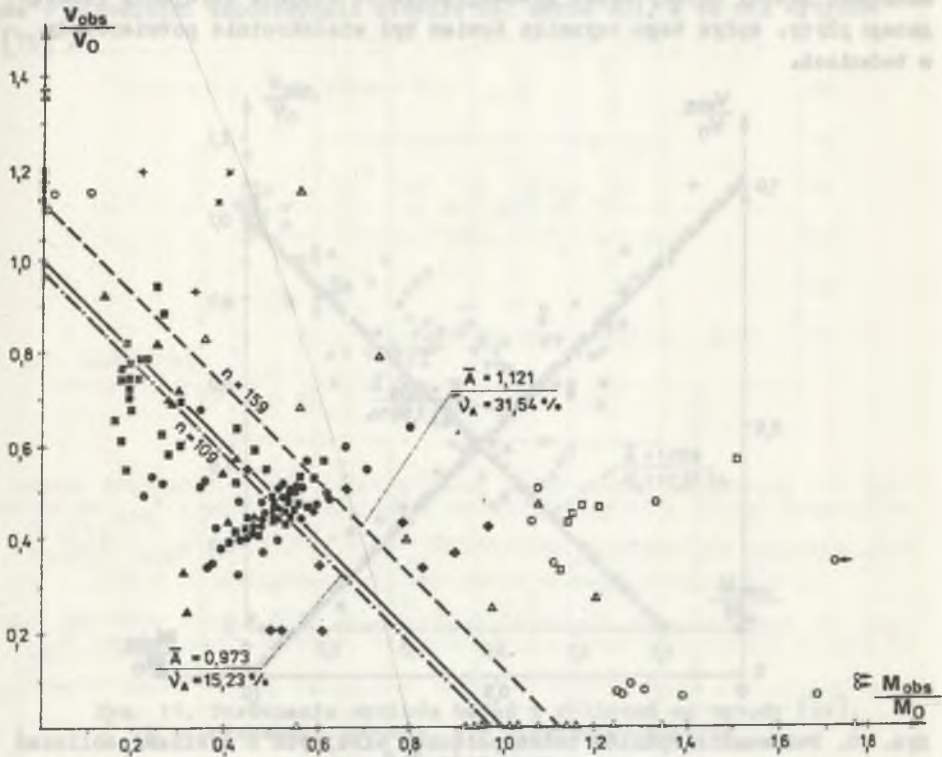


Rys. 8. Naprężenia styczne τ w przekroju krytycznym (1):
a) obciążenie osiowe, b) obciążenie mimośrodowe

Fig. 8. Shearing stress τ in the critical section (1):
a) axial load, b) eccentric load

Dla określenia nośności połączeń wewnętrznych ze zbrojeniem poprzecznym w postaci stalowych krzyżowych głowic - wzory (12,23,24) [56] - wykorzystano dla osiowego obciążenia koncepcję Herzoga [34], a dla mimośrodowego metodę Corleya i Hawkinsa [11]. Podejście Herzoga - zastosowano także dla połączeń skrajnych [84] - wzory (13,14,15), przyjmując jako kryterium mimośrodowego przebicia stan zniszczenia niezależnie od siły przebijającej V i momentu niezrównoważonego M z wykorzystaniem warunku (1) - liniowa zależność interakcji M i V .

Wyrażenia oparte również na analizie stanu zniszczenia pozwalające uwzględnić między innymi wpływ dużych otworów w strefie podporowej przedstawiono w [63,64] - wzory (1,16,17).



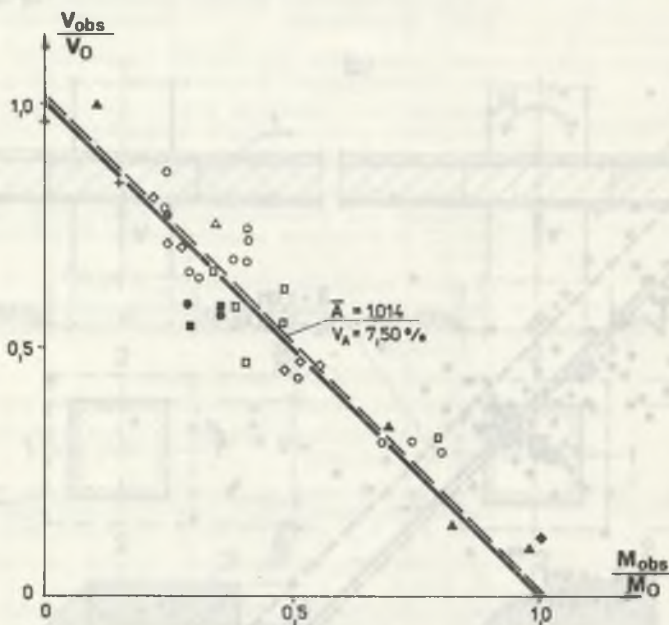
Rys. 9. Porównanie wyników badań z wynikami obliczeń wg metody [41]

Fig. 9. Comparison of test results with the results of calculations according to [41] method

Porównanie metod obliczania nośności połączeń skrajnych oraz połączeń z otworami z wynikami badań przedstawiają rys. 10 i 11. Funkcję interakcji M i V w postaci paraboli 2 stopnia zastosowano do analizy nośności połączeń ze zbrojeniem poprzecznym [23] - wzory (18 - 21). Natomiast w [51] dostosowano metodę analogii belkowej Kanoha i Yoshizaki [37] dla obliczania nośności takich połączeń. Hipotezę Mohra do analizy wyteżenia betonu w strefie przebiecia wprowadził Godycki-Ćwirko [17] .

W krajowych wytycznych [75] projektowania ustrojów płytowo-słupowych dla przebiecia zaadaptowano uniwersalną i wielokrotnie weryfikowaną metodę amerykańskiej normy [89] . Pozwala ona bowiem uwzględnić, w stosunkowo

prosty sposób, szereg możliwych sytuacji projektowych: połączenie wewnętrzne i skrajne, zbrojenie poprzeczne, mimośród siły przebijającej, otwory w strefie podporowej, proporcje wymiarów boków słupa, krzyżowe wkłady. Za mankament metody należy uznać nieuwzględnienie stopnia zbrojenia rozciąganego płyty. Wpływ tego czynnika bowiem był wielokrotnie potwierdzany w badaniach.



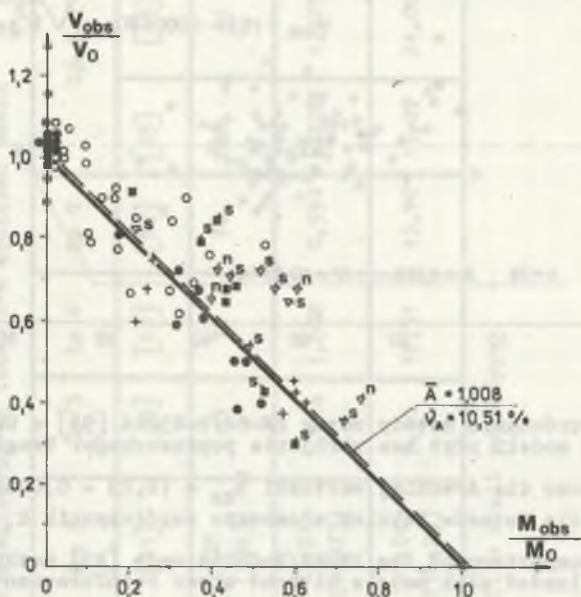
Rys. 10. Porównanie wyników badań połączeń skrajnych z wynikami obliczeń wg metody [84]

Fig. 10. Comparison of the results of edge connections tests with the results of calculations according to [84] method

Opisane wyżej metody ich autorzy porównywali z wynikami badań własnych i obcych. Syntetyczne wyniki tych analiz zawiera tablica 3. Najszerszej zweryfikowano z wynikami badań (159 modeli) metody [19] i [41], a także pośrednio metodę [89].

Zagadnienie przebiecia w ujęciu polskich norm ograniczone było wyłącznie do stóp fundamentowych. Ostatnia wersja normy z 1984 r. [93] dopuszcza stosowanie wzorów (10,11,22) także dla sprawdzania nośności elementów płytowych obciążonych osiowo. Obciążenie mimośrodowe możliwe jest do uwzględnienia, w bardzo uproszczony sposób, wyłącznie dla stóp fundamentowych. Należy zauważyć, że stan osiowego przebiecia w rzeczywistych, monolitycznych konstrukcjach płytowo-słupowych praktycznie nie występuje ze względu na obciążenia poziome lub nierównomierny rozkład obciążeń pionowych w poszczególnych polach stropu.

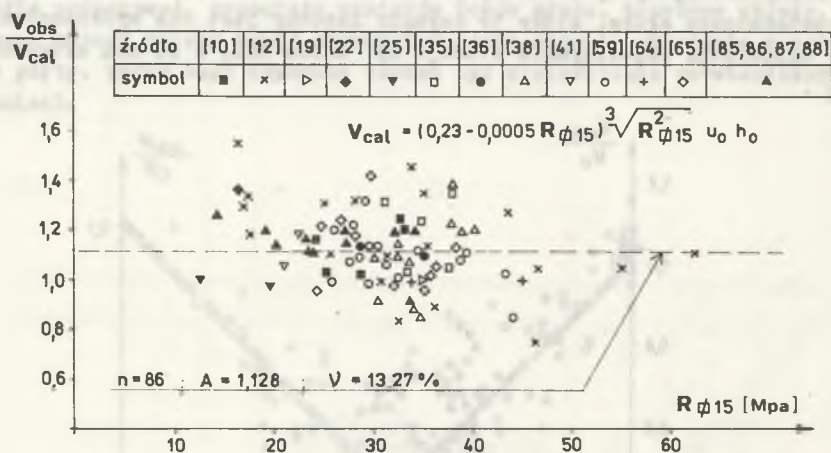
Wzór normy nie ujmuje ponadto wpływu stosunków boków poprzecznego przekroju prostokątnego słupa, który to czynnik istotny jest dla wydłużonych słu-
pów - odpowiedni współczynnik stosuje np. norma ACI, a za nią wytyczne [75] .



Rys. 11. Porównanie wyników badań i obliczeń wg metody [64]:
n - połączenie narożne, s - połączenie skrajne

Fig. 11. Comparison of test results with calculation results
according to [64] method:
n - corner connections, s - edge connections

Na rys. 12 przedstawiono konfrontację wyrażenia normowego - wzór (22) - dla średnich wartości wytrzymałości betonu na rozciąganie (R_{Dz}), z 86 wynikami różnych badań autorów krajowych i zagranicznych [10, 12, 13, 19, 22, 25, 35, 36, 41, 58, 59, 64, 68, 72, 85, 86, 87, 88] w zależności od wytrzymałości betonu na ściskanie R_4 . Rysunek 13 przedstawia zaś podobne sprawdzenie dla elementów zbrojonych poprzecznie w strefie przysłupowej - uzyskuje się tu większe wartości wskaźnika zmienności \checkmark stosunków V_{obs}/V_{cal} . Otrzymane wartości miar statystycznych odpowiadają wartościom uzyskiwanym dla innych metod normowych [6] dla sytuacji osiowego przebiecia. Problemy przebiecia w ujęciu norm zachodnich [90, 91] wnikliwie przeanalizowano w pracach [16, 55]. Zagadnienia konstruowania stref przysłupowych płaskich stropów ustrojów płytowo-słupowych oparte na przepisach normowych oraz doświadczeniach z realizacji różnych obiektów omówiono między innymi w [18, 73, 74, 81] .



Rys. 12. Porównanie metody normy PN-84/B-03264 [93] z badaniami osiowo obciążonych modeli płyt bez zbrojenia poprzecznego. Uwagi: V_{cal} wg wzoru

(10) obliczono dla średniej wartości $\bar{R}_{bz} = (0,23 - 0,0005R_{\phi 15}) \sqrt[3]{R_{\phi 15}^2}$,
2) dla betonów lekkich stosowano współczynnik $k_1 = 0,75$.

Fig. 12. Comparison of the PN-84/B-03264 code [93] method with the tests of axially loaded slab models without shear reinforcement. Notes: V_{cal}

according to the formula (10) has been calculated for the mean value $\bar{R}_{bz} = (0,23 - 0,0005R_{\phi 15}) \sqrt[3]{R_{\phi 15}^2}$; 2) For lightweight concretes, the factor $k_1 = 0,75$ has been used

4. ZARYSOWANIE

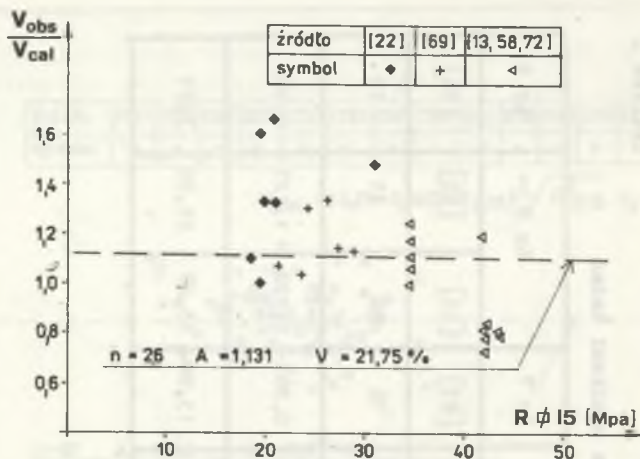
Problemowi zarysowania żelbetowych płyt, na skutek obciążenia ich skupioną siłą przebijającą, poświęcono w literaturze technicznej stosunkowo mniej uwagi niż zagadnieniom nośności. Zrealizowane w kraju i za granicą badania prostych żelbetowych modeli, odzwierciedlających strefę podporową ustrojów płytowo-słupowych, pozwalają obecnie na dobre rozeznanie problemu pod względem jakościowym. Najpełniej udokumentowane wyniki obserwacji rozwoju rys na powierzchniach przebijanych modeli płyt wraz z wynikami pomiaru szerokości ich rozwarcia przy poszczególnych poziomach obciążenia, od chwili pojawienia się pierwszej rysy aż do zniszczenia, zebrano w pracach doktorskich [49,53,62,83]. Wycinkowo, rezultaty tych badań oraz innych znalazły swe odbicie w publikacjach [19,21,25,30,31,64,70,76], w których podano również najważniejsze wnioski dotyczące morfologii rys badanych modeli. Można je krótko ująć w następujący sposób.

Tabela 3

Weryfikacja wzorów obliczeniowych wg tabl. 2 z wynikami badań

Metoda wg Lp. tabl. 2	Lp 1	Lp 2	Lp 3	Lp 5	Lp 6	Lp 7	Lp 8	Lp 9
Zródło	[41]	[32]	[41]	[84]	[62]	[23]	[65]	[56]
Liczba modeli	159 (109) ¹⁾	6	159 (109) ¹⁾	37	71	16	86	21
$A = (V_{obs}/V_{cal})^2$	1,307 (1,200)	0,978	1,121 (0,973)	1,014	1,008	0,994	1,128	1,127
Wskaźnik zmienności v [%]	25,90 (21,80)	5,76	31,54 (15,23)	7,50	10,51	13,90	13,27	24,00
								0,965
								3,21

1) W nawiasach wartości tylko dla modeli w skali prototypu



Rys. 13. Porównanie metody normy [93] z badaniami osiowo obciążonych modeli płyt ze zbrojeniem poprzecznym. V_{cal} wg wzorów (10) i (11) dla średnich wartości: \bar{R}_{bz} , \bar{R}_{ao} , \bar{R}_{as} .

Fig. 13. Comparison of the code [93] method with the tests of axially loaded slab models with shear reinforcement. V_{cal} has been calculated according to the formulae (10) and (11) for the mean values: \bar{R}_{bz} , \bar{R}_{ao} , \bar{R}_{as} .

Pierwsze zarysowania w postaci obwodowych rys pojawiają się przy poziomie 0,10 + 0,20 wartości obciążenia niszczonego. Dalej rozwijają się rysy promieniowe pochodzące od zginania. Przy poziomie obciążenia eksploatacyjnych (około 0,5 obciążenia niszczonego) siatka rys w okolicy słupa jest z reguły dobrze rozwinięta, a jej intensywność zależy od stopnia zbrojenia rozciąganego płyt i sposobu jego rozmieszczenia. Rysy posiadają wówczas stosunkowo nieznaczna rozwartość - $a_{fmax} < 0,3$ mm. Przy dalszym wzroście obciążeń rozwijają się rysy promieniowe, a przy poziomie 0,75 + 0,90 obciążenia niszczonego można zaobserwować pojawianie się rys obwodowych, w dalszych odległościach, od słupa, będących wynikiem ścinania. W momencie zniszczenia, które z reguły ma gwałtowny charakter, obserwuje się wydzielanie z modelu fragmentu płyty ograniczonego powierzchnią zbliżoną do ostrosłupa ściętego o nachyleniu bocznych płaszczyzn wynoszącym 45 + 30°. Obserwacje rys ukośnych, tworzących się wewnątrz płyty, umożliwiają wyłącznie badania płyt z otworami lub połączeń skrajnych. W kraju wyniki takich badań udokumentowano w [64,83]. Stwierdzono, że pierwsze rysy ukośne pojawiały się przy poziomie 0,3 do 0,7 wartości siły niszczonej i rozwijały się stopniowo w kierunku ściskanej strefy płyty. Istotne jest spostrzeżenie, że zniszczenie następowało najczęściej wzdłuż przekroju ukoś-

nego, nie sygnalizowanego wcześniej tworzącą się rysą ukośną. Fakt ten może być wykorzystany w analizie stanu zniszczenia. Zaobserwowano również na bocznych powierzchniach otworów tworzenia się poziomych rys na przedłużeniu rys ukośnych w płaszczyźnie górnego zbrojenia rozciąganego w płycie. Rysy te pojawiły się przy poziomie 0,8 + 0,9 wartości obciążeń niszczących. Świadczą one o skutecznej współpracy zbrojenia poziomego w przenoszeniu sił ścinających w strefie podporowej.

W badaniach stwierdzono jednoznacznie wpływ następujących czynników na charakter obrazu zarysowania:

- ukształtowanie połączenia (wewnętrzne, skrajne, z otworami),
- schemat obciążenia (osiowe, mimośrodowe),
- stopień zbrojenia i sposób jego rozmieszczenia,
- zastosowanie wzmocnienia w postaci stalowych głowic ukrytych w płycie,
- sposób podparcia płyty na obwodzie,
- zbrojenie poprzeczne w postaci wiotkich prętów (szczególnie na rysy ukośne).

Syntetyczne podsumowanie wyników obserwacji morfologii rys w badaniach modeli i porównanie ich z rzeczywistymi konstrukcjami płytowo-słupowymi zawarto w pracach [30,31]. Z porównania tego oraz z krajowych badań modeli całych ustrojów wynika, że rozwój rys w strefach podporowych ustrojów jest analogiczny do obserwowanego w badaniach prostych modeli. Jedynie szerokości rozwarcia rys, przy podobnych momentach zginających, powstałe w modelach, osiągają większe wartości niż w prototypie. Wynika to najprawdopodobniej z ograniczenia swobody odkształceń płyty prototypu w stosunku do możliwości odkształceń prostego modelu, podpartego na obwodzie.

Analizę zagadnień zarysowania w obszarze złączy płyty ze słupem opracowano w [52] i opublikowano w [54]. Prace te omawiają sposób obliczania maksymalnych szerokości rozwarcia rys (a_{fmax}), przy danym poziomie obciążenia, dla osiowego i mimośrodowego przebiecia. Przedstawiony sposób jest adaptacją metody Nawy [60], dokonaną na podstawie empirycznej analizy wyników badań modeli płyt, z których większość posiadała zbrojenie poprzeczne. Wyrażenie na największe rozwarcia rysy w [μm] dla modelu złącza ma postać:

$$a_{fmax} = \beta \sqrt{G} \left[1,8 R_o \bar{K}_a \left(\frac{V}{V_z} - 0,1 \right) - 2,45 \right] \dots \quad (25)$$

natomiast dla ustroju płytowo-słupowego:

$$a_{fmax} = \beta \sqrt{G} \left[1,45 \times 10^3 K_a R_o \left(\frac{V}{V_z} - 0,1 \right) - 2,45 \right] \dots \quad (26)$$

W wyrażeniach (25) i (26):

- G - współczynnik skratowania określony w [54],
- \bar{K}_a - współczynnik określony w [53] zależny od warunków podparcia i obciążenia,
- $K_a = 2,40 \times 10^{-5}$ dla ustroju płytowo-słupowego,
- R_e - granica plastyczności stali zbrojenia,
- V - wartość siły przebijającej,
- V_z - nośność płyty na zginanie wg teorii linii załomów,
- β - współczynnik otulenia określony w [54].

W krajowej Instrukcji [75] szerokość rozwarcia rys prostopadłych do osi elementów zaleca się określić w sposób przyjęty przez normę PN-84/B-03264 [93], oddzielnie dla każdego pasma o stałej intensywności zbrojenia. Jako moment zginający przyjmuje się tu średni moment dla rozważanego pasma i przekroju obliczony wg metody ram zastępczych. Weryfikacji tego sposobu postępowania z wynikami badań dotąd nie przeprowadzono.

5. PODSUMOWANIE I KIERUNKI PRZYSZŁYCH BADAŃ

• W Polsce do końca 1987 r. przeprowadzono łącznie 176 prób przebicia na prostych modelach żelbetowych płyt. Obciążenie mimośrodowe występowało w 88 przypadkach - dla porównania w dostępnej literaturze zagranicznej doszukano się opisów badań około 300 elementów. Znaczącymi osiągnięciami badań zestawionych w tablicy 2 są:

- głębsze rozeznanie zachowania się żelbetowych płyt z betonów lekkich i zwykłych przy mimośrodowym przebiciu,
- określenie wpływu ukształtowania i sposobu wykonania połączenia płyty ze słupem (prefabrykowane, monolityczne) na nośność przebicia,
- określenie wpływu wysięgu wspornika płyty na nośność przebicia w strefie słupów skrajnych,
- rozpoznanie wpływu dużych otworów w strefie podporowej na nośność przy osiowym i mimośrodowym przebiciu,
- uzyskanie dodatkowych danych odnośnie do przebicia płyt ze zbrojeniem poprzecznym w postaci strzemion, prętów odgiętych, "króciaków" dwuteownika oraz stalowych, krzyżowych wkładów - liczba wszystkich zbadanych elementów tego typu, zwłaszcza przy mimośrodowym obciążeniu, jest jeszcze nadal niewystarczająca.

• Zaproponowane przez polskich autorów wyrażenia obliczeniowe dla określenia nośności na przebicie szeroko konfrontowano z wynikami badań własnych i obcych. Uzyskiwane na podstawie analiz wartości miar statystycznych są porównywalne z odpowiednimi wartościami otrzymanymi przez innych autorów, co świadczy pośrednio o wiarygodności zrealizowanych w kraju doświad-

czeń. Przedstawione uściślenia i modyfikacje metod autorów zagranicznych doprowadziły do uzyskania lepszej zgodności wyników badań i obliczeń.

• Eksperymenty i analizy przebiecia przeprowadzone w kraju dotyczyły prawie wyłącznie obciążenia statycznego. Nie analizowano wpływu obciążeń dynamicznych lub wielokrotnie zmiennych (z wyjątkiem kilku przypadków obciążeń powtarzalnych), a także zjawisk mogących występować w konstrukcji po zniszczeniu na skutek przebiecia. Problemy te są szczególnie istotne dla ustrojów projektowanych na terenach aktywnych sejsmicznie i poruszone są między innymi w [13,33,71]. Właściwe skonstruowanie zbrojenia strefy podporowej, uwzględniające zjawiska zachodzące po zniszczeniu, pozwala zabezpieczyć odpowiednio konstrukcję przed katastrofą lawinową. Jak wynika z [33], decydującymi czynnikami są tu: stosowne zbrojenie poprzeczne (strzemiona) wiążące wkładki górne i dolne płyty, ciągłość dolnego zbrojenia płyty przechodzącego przez słup.

• Widoczny jest brak opracowań, zarówno w literaturze krajowej jak i obcej, dotyczących porównania wyników badań uzyskiwanych na prostych modelach w stosunku do rzeczywistych ustrojów. Rozpowszechniony jest pogląd, potwierdzony częściowo w pracy [68], że spodziewane neśności w prototypie będą wyższe od otrzymywanych na modelach. Ilościowe uwzględnienie tego problemu nie jest wyjaśnione i może być przedmiotem przyszłych badań.

• Nie przedstawiono dotąd ani w literaturze zagranicznej, ani w krajowej, uniwersalnej metody opartej na spójnym modelu zniszczenia przy przebieciu, pozwalającej uwzględnić wszystkie czynniki wpływające na nośność strefy podporowej, przy różnych sposobach jej obciążenia i przy wszystkich możliwych typach geometrycznej niesymetrii (strefy skrajne, narożne, wewnętrzne, z otworami itp.). Należy tu nadmienić, że i dla belek ciągłych nie mamy jeszcze rozwiązanego w pełni problemu ścinania przy podporach wewnętrznych, gdzie występują duże momenty zginające.

• Spośród znanych, różnych, obliczeniowych modeli określania nośności przy osiowym przebieciu najlepiej istotę zachodzących zjawisk oddają modele bazujące na analizie pracy stref podporowych w stanie zniszczenia. Sam mechanizm zniszczenia jest dobrze rozpoznany pod względem jakościowym, jednakże jego analityczny opis napotyka na poważne trudności. Wyniki badań nie pozwalają na obiektywne rozgraniczenie, składających się na globalną nośność, współzależnych czynników, takich jak:

- nośność betonu na ścinanie w ściskanej strefie płyty wokół słupa w sytuacji występowania wielokierunkowego, złożonego stanu naprężeń (odpowiednik Q_b w analizie nośności belek przy ścinaniu),
- siła poprzeczna przenoszona przez zbrojenie w strefie rozciąganej, pochodząca z tzw. "efektu klockującego",
- siły tarcia na długości rysy ukośnej,
- siła poprzeczna przejmowana przez zbrojenie przecinające rysę ukośną w połączeniach ze zbrojeniem poprzecznym.

Rozwiązanie takiego modelu i określenie wpływu na nośność przy przebicciu wymienionych czynników powinno być przedmiotem przyszłych badań i analiz teoretycznych.

- Większość prac krajowych i zagranicznych, wpływ mimośrodowej siły przebijającej (stan mimośrodowego przebiccia) uwzględnia przez zastosowanie funkcji interakcji momentu zginającego i siły poprzecznej (M-V). Najczęściej przyjmowano tę funkcję jako liniową. Wyniki badań, zwłaszcza dla złączy skrajnych i narożnych, wskazują, że zależność ta jest raczej krzywoliniowa. W najbliższej przyszłości, w celu uściślenia tego sposobu podejścia, należałoby:

- określić na podstawie analizy teoretycznej i uzupełniających badań eksperymentalnych nośność złączy obciążonych siłą przebijającą na dużych mimośrodkach i obciążanych samym momentem zginającym ($V = 0$). Liczba znanych danych eksperymentalnych z tego obszaru funkcji M-V jest stosunkowo mała,

- opierając się na statystycznej analizie wyników badań dobrać optymalną postać funkcji interakcji M-V.

- W ostatnich latach czynione są również w różnych ośrodkach naukowych (USA, Szwecja, RFN) obiecujące próby nad zastosowaniem elementów skończonych i metod numerycznych do rozwiązania problemu przebiccia żelbetowych płyt [71].

- Stan zarysowania stref podporowych przy przebicciu jest dobrze rozpoznany i udokumentowany pod względem jakościowym. Tylko jedna praca [54] zawiera analizę ilościową tego stanu, poprzez podanie zmodyfikowanej metody Navy dla obliczania maksymalnych szerokości rozwarcia rys. Metodę tę zweryfikowano jednak z nieliczną grupą wyników badań. Opracowanie wiarygodnych metod obliczenia szerokości rozwarcia rys w płytach jest utrudnione, między innymi z uwagi na brak w pełni obiektywnych danych eksperymentalnych.

- Istnieje potrzeba udoskonalenia w przyszłości krajowych przepisów normowych dotyczących przebiccia. Propozycje obliczeniowe winny uwzględniać wpływ procentu zbrojenia płyty oraz proporcji boków słupa na nośność przebiccia. Czynniki te znajdują swe odbicie w większości norm zachodnich [47, 48, 49]. Należy także uzupełnić normę odpowiednimi zaleceniami dla przypadku mimośrodowego przebiccia elementów płytowych.

LITERATURA

- [1] Ajdukiewicz A.: Badania modelowe strefy podporowej płyty kwadratowej punktowo podpartej ze wspornikami. XII Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, t.II, Krynica 1966, s. 21-27.
- [2] Ajdukiewicz A.: Przyczynek do zagadnienia przebiccia płyty z materiału kruchego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Budownictwo, 1967, z. 21, s. 3-15.

- [3] Ajdukiewicz A.: Strefa punktowego podparcia płyty żelbetowej. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1968, 281 s.
- [4] Ajdukiewicz A.: Analiza doświadczalna stanu zginania w otoczeniu quasi-punktowego podparcia płyty. AIL, t.II, 1971, z. 1, s. 63-82.
- [5] Ajdukiewicz A., Kliszczewicz A.: Tests to destruction of six-panel waffle slab supported on columns. 10-th Conference on "Our World in Concrete and Structures". Singapore, vol. 4, sierpień 1985, s. 179-188.
- [6] Ajdukiewicz A., Starosolski W.: Żelbetowe ustroje płytowo-słupowe. Arkady, Warszawa 1981, 415 s.
- [7] Ajdukiewicz A., Starosolski W.: Stahlbeton-Platten-Stützen-Systeme. Ernst u. Sohn, Berlin 1984, 438 s.
- [8] Badura J.: Badania nośności na ścinanie prefabrykowanych płyt stropowych podpartych w narożach. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Budownictwo, 1985, z. 60, s. 9-15.
- [9] Badura J., Mazanowska J., Starosolski W.: Badanie reakcji podporowych w żelbetowym ustroju płytowo-słupowym. Materiały III Konf. Nauk. "Konstrukcje szkieletowe ...", część I, Bydgoszcz 1982, s. 54-60.
- [10] Corley W.G., Hawkins N.M.: Shearhead reinforcement for slabs. ACI Journal, 1968, nr 10, s. 811-824.
- [11] Corley W.G., Hawkins N.M.: Moment transfer to columns in slabs with shear reinforcement. SP-42 Shear in reinforcement concrete, ACI, Detroit 1974, s. 847-879.
- [12] Elstner R.C., Hognestad E.: Shearing strength of reinforced concrete slabs. ACI Journal, 1956, nr 2, s. 29-50.
- [13] Ghali A., Elmasri M.Z., Dilger W.: Punching of flat plates under static and dynamic horizontal force. ACI Journal, 1976, nr 10, s. 566-572.
- [14] Godycki-Ćwirko T.: Strefa podporowa płaskiego żelbetowego stropu bezgłowicowego. XX Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 1974, s. 75-87.
- [15] Godycki-Ćwirko T.: Złącza płyt ze słupami w monolitycznych budynkach żelbetowych. Inżynieria i Budownictwo, 1975, nr 11, s. 477-482.
- [16] Godycki-Ćwirko T.: Mechanika betonu, Arkady, Warszawa 1982. 343 s.
- [17] Godycki-Ćwirko T.: Wytężenie betonu w strefie przebiccia w świetle hipotezy Mohra. AIL, t. XXX, 1984, z. 2-3, s. 337-351.
- [18] Godycki-Ćwirko T., Andrzejewski L., Pakuła J.: Monolityczne budynki mieszkalne o konstrukcji płytowo-słupowej. Materiały XV Konferencji Problemowej w Kołobrzegu, Gdańsk-Kołobrzeg 1978, s. 39-41.
- [19] Godycki-Ćwirko T., Dilger W.H., Ghali A.: Behaviour of reinforced concrete slab - column connections subjected to static loadings. AIL, 1977, z. 2, s. 145-171.
- [20] Godycki-Ćwirko T., Jaworska A.: Efektywność zbrojenia poprzecznego w przysłupowej strefie płaskiego stropu żelbetowego. XXIV Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, t.II, Krynica 1978, s. 107-114.
- [21] Godycki-Ćwirko T., Jaworska A., Kozicki J., Urban T.: Wytężenie zarysowania i nośność płaskich bezbelkowych stropów monolitycznych w świetle badań eksperymentalnych. Materiały XV Konferencji Problemowej w Kołobrzegu, Gdańsk-Kołobrzeg 1978, s. 35-37.
- [22] Godycki-Ćwirko T., Kosińska A.: Punch failure of concrete flat plates with shear reinforcement. AIL, t. XXVI, 1980, z. 3, s. 559-576.
- [23] Godycki-Ćwirko T., Kosińska A.: Stan graniczny mimośrodowego przebiccia złączy płyta-słup ze zbrojeniem poprzecznym. IiB, 1982, nr 6, s. 102-104.

- [24] Godycki-Ćwirko T., Kosińska A.: Nowy rodzaj zbrojenia poprzecznego w strefie przebicia płaskich stropów. XXXII Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, t. II, Krynica 1986, s. 91-95.
- [25] Godycki-Ćwirko T., Kozicki J.: Flat plates with shearhead reinforcement. AIL, t. XXIV, 1978, z. 4, s. 483-497.
- [26] Godycki-Ćwirko T., Kozicki J.: Reinforced and prestressed concrete slab - column connections with shearhead. Kongres FIP, 1978.
- [27] Godycki-Ćwirko T., Kozicki J.: Sprężone złącza płytowo-słupowe. XXV Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 1979, s. 115-123.
- [28] Godycki-Ćwirko T., Kozicki J.: Shearing strength of partly prestressed concrete slab - column connections under concentrated loads. The Ninth International Congress of the FIP, Stockholm 1982.
- [29] Godycki-Ćwirko T., Kozicki J.: Eccentrically loaded interior slab-column connections with shearhead reinforcement. *Materiaux et Constructions*, 1984, nr 98, s. 145-148.
- [30] Godycki-Ćwirko T., Kozicki J., Urban T.: Morfologia rys płaskich stropów bezgrzybkowych. XXVI Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 1980, s. 61-67.
- [31] Godycki-Ćwirko T., Kozicki J., Urban T.: Morfologia rys krzyżowozbrojonych bezbelkowych stropów żelbetowych. IIB, 1981, nr 7-8, s. 250-256.
- [32] Godycki-Ćwirko T., Urban T.: Prodavlivanie železobetonnych bezbażocznych perekrytij w zone krajnih kołonn. *Beton i Železobeton*, 1980, nr 4, s. 35-37.
- [33] Hawkins N.M., Mitchell D.: Progressive collapse of flat plate structures. *ACI Journal*, 1979, nr 7, s. 775-808.
- [34] Herzog M.: Wichtige Sonderfälle des Durchstanzens von Stahlbeton - und Spannbetonplatten nach Versuchen. *Der Bauingenieur*, 1974, nr 9, s. 333-342.
- [35] Hognestad E., Elstner R.C., Hanson J.A.: Shear strength of reinforced structural lightweight concrete slab. *ACI Journal*, 1964, nr 6, s. 643-656.
- [36] Ivy Ch.B., Ivey D.L., Buth E.: Shear capacity of lightweight concrete flat slabs. *ACI Journal*, 1969, nr 6, s. 490-493.
- [37] Kanoh Y., Yoshizaki S.: Strength of slab - column connections transferring shear and moment. *ACI Journal*, 1979, nr 3, s. 461-479.
- [38] Kinnunen S., Nylander H.: Punching of concrete slabs without shear reinforcement. *Transactions of the Royal Institute of Technology, Stockholm* 1960, nr 158, 112 s.
- [39] Kliszczewicz A.: Stany graniczne żelbetowego stropu kasetonowego w ustroju płytowo-słupowym wybranego typu. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1983, 183 s.
- [40] Kliszczewicz A.: Doświadczalna ocena nośności żelbetowego stropu kasetonowego. XXX Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, T.II, Krynica 1984, s. 113-118.
- [41] Kliszczewicz R.: Nośność żelbetowych połączeń płyty ze słupem na mimośrodowo przebiecie. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1976, 190 s.
- [42] Kliszczewicz R.: Obliczanie żelbetowych połączeń płyty ze słupem przenoszących moment i siłę przebijającą. XXIII Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, t. II, Krynica 1977, s. 89-95.
- [43] Kliszczewicz R., Pająk Z., Starosolski W.: Nośność połączenia płyty ze słupem pod obciążeniem osiowym w zależności od sposobu ukształtowania połączenia. XXII Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, t. II, Krynica 1976, s. 151-160.

- [44] Kliszczewicz R., Pająk Z., Starosolski W.: Badania nośności połączenia płyty ze słupem prefabrykowanym przy obciążeniu osiowym. AIL, 1977, z. 4, s. 409-418.
- [45] Korpys K.: Sprawozdanie z badań próbnych połączeń stropu i słupa budynku szkieletowego, realizowanego metodą wypychania kondygnacji. Zakład Badań i Doświadczeń Śląskiego Zarządu Budownictwa Miejskiego, wrzesień 1964, 11 s.
- [46] Korpys K.: Realizacja budynku eksperymentalnego o wypychanych kondygnacjach. IiB, 1970, nr 4, s. 153-155.
- [47] Korpys K.: Budynek zrealizowany w technologii wypychanych kondygnacji. ZN Politechniki Śląskiej, Budownictwo, z. 62, Gliwice 1985, s. 53-59.
- [48] Korpys K.: Realizacja 12-kondygnacyjnego budynku o wypychanych kondygnacjach. IiB, 1972, nr 10, s. 383-385.
- [49] Kosińska A.: Wpływ zbrojenia poprzecznego na nośność złączy płytowo-słupowych. Praca doktorska, Politechnika Łódzka, Łódź 1981, 220 s.
- [50] Kosińska A.: Złącza płyta-słup z belkowym zbrojeniem poprzecznym poddane różnym rodzajom obciążenia. XXX Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, t. II, Krynica 1984, s. 125-130.
- [51] Kosińska A.: Metoda analogii belkowej w zastosowaniu do oceny nośności mimośrodowego przebicia płyt. XXXI Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, t. II, Krynica 1985, s. 133-138.
- [52] Kozicki J.: Złącza płytowo-słupowe ze sztywnym zbrojeniem. XXIV Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, t. II, Krynica 1978, s. 165-173.
- [53] Kozicki J.: Stan naprężeń, morfologia rys i nośność złączy płytowo-słupowych o sztywnych głowicach. Praca doktorska, Politechnika Łódzka, Łódź 1980, 184 s.
- [54] Kozicki J.: Obliczanie rozwarcia rys w obszarze przysłupowym ustrojów płytowo-słupowych. IiB, 1981, nr 7-8, s. 305-307.
- [55] Kozicki J., Urban T.: Przebicie płaskich stropów w ujęciu norm niektórych krajów zachodnich. IiB, 1985, nr 4, s. 175-179.
- [56] Kozicki J.S., Urban T.: Analiz niesuszczącej sposobności żelazobetonnych pieriekrytij w zonie coprjażenia płyty s kałonnoj. Beton i Żelazobeton, 1983, nr 5, s. 42.
- [57] Kozicki J., Urban T.: Modelowe badanie ugięć stropu płytowo-słupowego pod obciążeniem doraźnym i długotrwałym. XXXII Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, t. II, Krynica 1986, s. 115-120.
- [58] Langohr P.H., Ghali A., Dilger W.H.: Special shear reinforcement for concrete flat plates. ACI Journal, 1976, nr 3, s. 141-146.
- [59] Moe J.: Shearing strength of reinforced concrete slabs and footings under concentrated loads. Bulletin D47, Portland Cement Association, Illinois, 1961, 130 s.
- [60] Nawy E.G., Blair K.W.: Further studies on flexural crack control in structural slab systems. W zbiorze SP-30. Cracking, deflection and ultimate load of concrete slab systems. American Concrete Institute, 1974.
- [61] Pająk Z.: Badanie wpływu otworów na nośność żelbetowych połączeń płytowo-słupowych. XXVII Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, t. II, Krynica 1981, s. 193-201.
- [62] Pająk Z.: Strefa podporowa konstrukcji płytowo-słupowych osłabiona otworami. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1982, 144 s.
- [63] Pająk Z.: Nośność na przebicie stref podporowych ustrojów płytowo-słupowych osłabionych pionowymi otworami. XXIX Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, t. II, Krynica 1983, s. 121-126.
- [64] Pająk Z.: Przebicie żelbetowych płyt z dużymi otworami. AIL, t. XXXII, 1986, z. 2, s. 245-262.

- [65] Pająk Z.: Polskie badania przebicia żelbetowych płyt. IiB, 1986, nr 9, s. 346-351.
- [66] Pająk Z.: Strefa podporowa z otworami w stropach ustrojów płytowo-słupowych. IiB, 1986, nr 3, s. 111-115.
- [67] Pająk Z., Kliszczewicz R., Starosolski W.: Szczególny przypadek przebicia żelbetowych płyt. XXIII Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, t. II, Krynica 1977, s. 127-133.
- [68] Pająk Z., Kliszczewicz R., Starosolski W.: Badanie na przebicie grubych płyt żelbetowych. ZN Politechniki Śląskiej, Budownictwo, Gliwice 1985, z. 60, s. 41-49.
- [69] Pająk Z., Starosolski W.: Badanie szczególnego rozwiązania konstrukcyjnego skrajnej strefy podporowej stropu płytowo-słupowego. XXVI Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, t. III, Krynica 1980, s. 171-178.
- [70] Praca zbiorowa pod red. Starosolskiego W.: Badania żelbetowych ustrojów płytowo-słupowych. PWN, Studia z Zakresu Inżynierii, Warszawa 1987.
- [71] Regan P.E., Braestrup M.W.: Punching shear in reinforced concrete. Bulletin d'Information nr 168, CEB, styczeń 1985, 232 s.
- [72] Seible F., Ghali A., Dilger W.H.: Preassembled shear reinforcing units for flat plates. ACI Journal, 1980, nr 1/2, s. 28-35.
- [73] Starosolski W.: Kształtowanie ustrojów płytowo-słupowych. Prace Centralnego Ośrodka Badawczo-Projektowego Budownictwa Ogólnego, 1977, nr 1-2.
- [74] Starosolski W.: Monolityczne ustroje płytowo-słupowe. Materiały XV Konferencji Problemowej w Kołobrzegu, Gdańsk-Kołobrzeg 1978, s. 119-123.
- [75] Starosolski W., Ajdukiewicz A., Kliszczewicz R., Pająk Z.: Wytyczne projektowania monolitycznych ustrojów płytowo-słupowych. COBPBO, Warszawa 1984, 110 s.
- [76] Starosolski W., Badora T., Kliszczewicz R.: Badania połączenia płyty ze słupem obciążonego siłą i momentem. XVIII Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 1971, s. 419-427.
- [77] Starosolski W., Badura J., Góra J.: Proces niszczenia ustroju płytowo-słupowego. XXIX Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 1983, s. 161-168.
- [78] Starosolski W., Badura J., Góra J.: Doświadczalna analiza pracy ustroju płytowo-słupowego pod obciążeniem doraźnym. AIL, t. XXX, 1984, z. 2-3, s. 493-514.
- [79] Starosolski W., Kliszczewicz R., Pająk Z.: Prace Instytutu Konstrukcji Budowlanych w zakresie ustrojów płytowo-słupowych. COiB, Biuletyn Informacyjny o Budownictwie, Budownictwo Ogólne, 1986, nr 4, s. 15-50.
- [80] Starosolski W., Pająk Z.: Badania strefy podporowej stropów budynków mieszkalnych realizowanych metodą podnoszenia. Praca badawcza Instytutu Konstrukcji Budowlanych Politechniki Śląskiej, Gliwice, listopad 1979.
- [81] Starosolski W., Mazanowska J.: Konstrukcja strefy podporowej stropów monolitycznych w ustrojach płytowo-słupowych. IiB, 1978, nr 7, s. 257-262.
- [82] Urban T.: Zagadnienie przebicia żelbetowych płaskich stropów w strefie słupów skrajnych. XXV Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 1979, s. 335-341.
- [83] Urban T.S.: Nośność graniczna krawędziowych złączy żelbetowych w monolitycznych konstrukcjach płytowo-słupowych. Praca doktorska, Politechnika Łódzka, Łódź 1980, 176 s.
- [84] Urban T.: Nośność na przebicie płaskich stropów w strefie słupów skrajnych. IiB, 1981, nr 7-8, s. 265-268.

- [85] Urban T.: Badania żelbetowych złączy płytowo-słupowych z dodatkiem drutu ciętego w strefie przysłupowej. IiB, 1984, nr 10, s. 390-393.
- [86] Urban T.: Badania nośności żelbetowych płaskich stropów w strefie słupów skrajnych. ZN Politechniki Łódzkiej, Budownictwo, 1984, z.33, s. 169-191.
- [87] Urban T., Godycki-Ćwirko T.: Wpływ geometrii modeli na nośność monolitycznych złączy płyta-słup. XXIV Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 1978, s. 263-270.
- [88] Urban T., Kozicki J.: Prefabrykowane złącza płyta-słup w świetle badań eksperymentalnych. XXXI Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 1985, s. 223-228.
- [89] ACI Committee 318: Building code requirements for reinforced concrete (ACI 318-83). American Concrete Institute, Detroit 1983.
- [90] British Standard Code of Practice CP 110. The structural use of concrete. British Standards Institution, London 1972.
- [91] DIN 1045: Beton - und Stahlbetonbau - Bemessung und Ausführung. Deutsche Normen, styczeń 1972.
- [92] Jointe ASCE-ACI Task Committee 426: The shear strength of reinforced concrete members-slabs. Journal of the Structural Division, Proceedings of the ASCE, vol. 100, 1974, nr ST 8, s. 1543-1591.
- [93] PN-84/B-03264. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.

ПРОДАВЛИВАНИЕ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Резюме

В статье представляется обзор достижений в отрасли анализа продавливания в железобетонных конструкциях в Польше. На базе работ польских авторов описаны экспериментальные исследования, дан анализ несущей способности и трещин при продавливании железобетонных плит. Оговорены расчетные методы и нормативный материал. В заключении указаны направления будущих исследований касающихся продавливания.

PUNCHING SHEAR IN REINFORCED CONCRETE

Summary

The paper presents a review of home achievements in the scope of analysis of the phenomenon of punching shear in reinforced concrete slabs. On the base of bibliography of the works by home authors the experimental investigations are described, the analysis of load carrying capacity and cracking resistance of reinforced concrete slabs at punching is presented, and the calculation methods and also code rules are discussed. The aims of the future research on punching shear are mentioned in the recapitulation of the paper.