



# Kierunki rozwoju badań płyt i belek żelbetowych

Mgr inż. Marcin Samborski, Politechnika Lubelska

## 1. Wprowadzenie

Początek konstrukcji żelbetowych szacuje się na lata 1870–1900. Pierwsze badania konstrukcji żelbetowych, w tym płyt monolitycznych rozwijały się głównie we Francji od 1900 r. Ówczesne badania obejmowały swoim zakresem zagadnienia związane z nośnością na ścinanie i zginanie, przyczepnością stali do betonu oraz pomiarem zarysowań i ugięć. Od tamtego momentu kierunki doświadczalnych badań konstrukcji żelbetowych uległy zmianie. Obecnie prowadzone są liczne badania w zakresie nośności na przebicie, stosowania zbrojenia rozproszonego i bazaltowego, nośności w warunkach pożaru lub innych sytuacji wyjątkowych. Ponowienie badań z zakresu nośności płyt na ścinanie i zginanie przy zastosowaniu udoskonalonych metod pomiarowych może dostarczyć nowych wniosków.

## 2. Początki konstrukcji żelbetowych

Pierwszą konstrukcją żelbetową była tódź wykonana przez Francuza Lembot'a, zajmującego się ówczesnie ogrodnictwem. Około 1861 roku pojawiły się w jego wykonaniu pierwsze donice i szczelne zbiorniki na wodę. System, jaki zapoczątkował francuski ogrodnik, zyskał miano systemu Monier'a, a od 1875 roku konstrukcje żelbetowe znalazły się w centrum zainteresowania ówczesnych nauk doświadczalnych i teoretycznych.

Technologią konstrukcji żelbetowych zainteresowały się duże przedsiębiorstwa początkowo na terenie Niemiec i Francji, a z czasem także na terenie Stanów Zjednoczonych. Przyjmuje się, że badania przeprowadzone i opublikowane w 1877 roku przez niemiecką firmę Freytag u.Heidsohuck (obecnie Wayss u.Freytag) były jednymi z pierwszych programów badawczych dotyczących konstrukcji żelbetowych. W 1875 roku na terenie Stanów Zjednoczonych rozpoczęto badania konstrukcji żelbetowych niezależnie od systemu Monier'a. Dwanaście lat później w Stanach Zjednoczonych powstał pierwszy most żelbetowy wykonany przez firmę Ransome & Smith Co. Po opublikowaniu badań doświadczalnych wykonanych w 1877 roku przez Amerykanina T.P. Haytta pracującego w Londynie, coraz więcej uczonych wzięło udział w badaniach laboratoryjnych i teoretycznych konstrukcji żelbetowych.

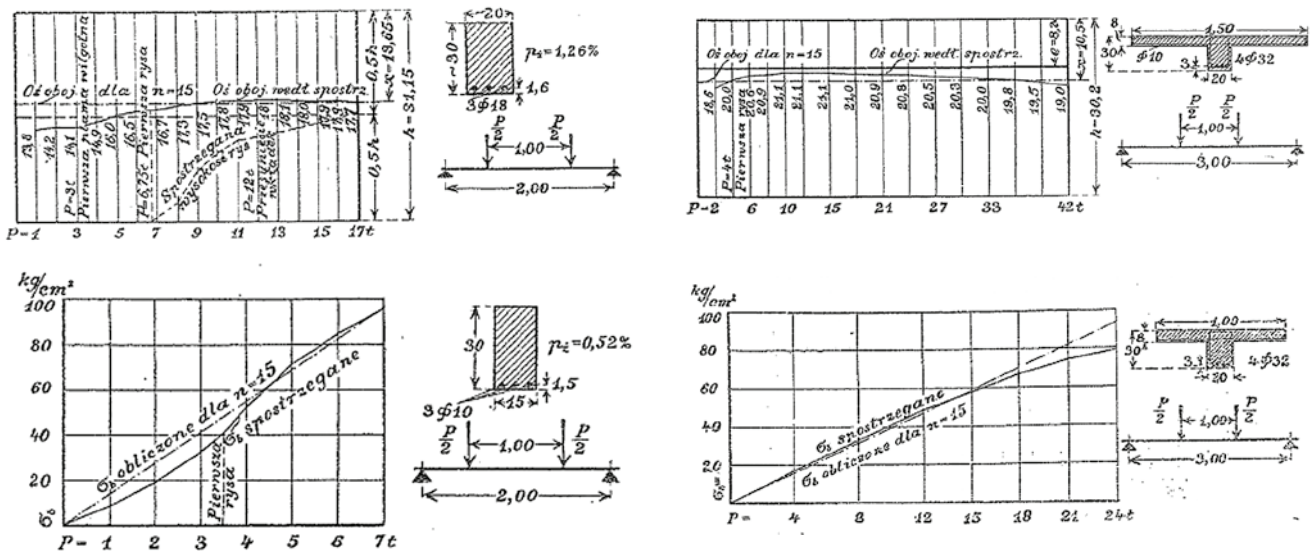
### 2.1. Przegląd badań

Współcześnie dużo uwagi poświęcono badaniom płyt żelbetowych na przebicie. Pierwsze z nich prowadzone były już od 1948 r. głównie na terenie Stanów Zjednoczonych, Szwecji, Niemiec (dawniej RFN), Anglii, Rosji (dawniej ZSRR), Australii i Izraela. Programy obejmowały swoim zakresem setki modeli wykonywanych w rzeczywistej oraz pomniejszonej skali. Początkowo były to tylko połączenia słupa ze stopą fundamentową, jednak wraz z rozpowszechnieniem układu płytowo-słupowego, w centrum zainteresowań układały się badania związane z przebicciem stropów żelbetowych [1].

Pionierem w polskich badaniach dotyczących przebiccia był Ajdukiewicz badający przebicie płytek gipsowych. W 1964 roku Korpys [2] po raz pierwszy na terenie kraju przeprowadził badania płyt żelbetowych na przebicie, a kilka lat później w 1971 r. badania prowadzili Starosolski, Badora i Kliszczewicz [3].

Od roku 1964 obserwuje się wyraźnie mniejszą liczbę prowadzonych badań płyt i belek żelbetowych obciążonych tradycyjnie. Należy zauważyć, że współcześnie najpowszechniejsze są badania płyt żelbetowych poddanych działaniu pożaru, wybuchu lub z zastosowaniem zbrojenia rozproszonego. W centrum zainteresowania znalazły się także betony ultrawysokowartościowe oraz zbrojenie kompozytowe.

Badania poświęcone dynamicznym obciążeniom pochodzącym od siły wybuchu przeprowadzono m.in. na terenie Australii i Chin. Płyty zbrojone tradycyjnie oraz niezbrojone z betonu ultrawysokowartościowego poddane sile wybuchu opisano w pracy [4]. Szerszy zakres badań dotyczący wyłącznie płyt niezbrojonych z betonu ultrawysokowartościowego opisano w [5]. W Chinach wykonano podobne badania, ale zamiast zbrojenia tradycyjnego wykorzystano pręty bazaltowe [6]. Badania o podobnym zakresie zostały również przeprowadzone na terenie kraju. W pracy [7] opisano wyniki badań wydzielonych elementów w komorach wybuchowych oraz wielkogabarytowych obiektów przeznaczonych do rozbiórki. Wpływ obciążenia dynamicznego po wstępnym obciążeniu statycznym opisano w [8]. W pierwszej fazie płyty obciążane były stale rosnącym obciążeniem statycznym, po czym wykonano próby dynamiczne z wykorzystaniem ładunków wybuchowych. Uzyskane wyniki z siły wybuchu były dodatkowo porównywane z uderzeniem siłą punktową.



Rys. 1. Elementy przeznaczone do badań wraz z wynikami [2]

Obecnie szeroko prowadzone są badania z zastosowaniem zbrojenia rozproszonego. Prace przeprowadzone w Polsce obejmowały sprawdzenie wpływu zawartości zbrojenia rozproszonego na charakter zarysowań oraz zniszczenia płyt zginanych [9, 10]. Badania wykonane były również za granicą i dotyczyły stosowania włókien stalowych. Uzyskane wyniki pozwoliły na ustalenie rozwoju zarysowań oraz sposobu zniszczenia płyty zginanej w przypadku stosowania zbrojenia rozproszonego [11].

### 2.2. Badania doświadczalne płyt – rok 1915

O początkach polskiej literatury żelbetowej w 1915 roku Maksymilian Thulie napisał [12]:

„Oprócz małej książeczki p. Jurkowskiego niema w polskiej literaturze technicznej żadnego dzieła, omawiającego teorię żelbetu...” oraz dalej „Przedmiot starałem się wyłożyć wedle obecnego stanu nauki, uwzględniając jednak zawsze sposób obliczenia przepisany rozporządzeniami ministeryalnemi w Austrii, Prusiech i Rosyi. Dzieło to wykończyłem i oddałem do druku w czasie wojny. Czytelnik zechce wybaczyć tą okolicznością papier nie zupełnie jednolity. Pracę tę oddaję do użytku inżynierom polskim i proszę o tak przychylnie przyjęcie, jakiem cieszyły się inne me dzieła”.

W opracowaniu [12] podano metodologię obliczeń płyt jednokierunkowo i dwukierunkowo pracujących ze wskazaniem aspektów wpływających na ekonomiczność kształtowania geometrii i zbrojenia ustroju. Nie wyszczególniono jednak badań doświadczalnych prowadzonych ówczesnie.

Treść zawarta w pracy [12] jednoznacznie wskazuje, że w tamtym okresie badania poświęcone elementom żelbetowym prowadzone były głównie za granicą, a istniejący stan wiedzy w kraju nie został uporządkowany w formie pisemnej.

### 2.3. Badania doświadczalne płyt – rok 1925

Jeden z pierwszych programów badań belek i płyt żelbetowych został wykonany przez Bacha, a opisany w [13]. Ówczesne badania belek i płyt żelbetowych miały na celu kontrolę stosowanych w tym czasie metod obliczeniowych dla racjonalnego rozmieszczenia zbrojenia. Każdorazowo belki obciążane były dwiema siłami skupionymi w odległości jednego metra od siebie. Elementy poddane badaniom wraz z uzyskanymi wynikami przedstawiono na rysunku 1.

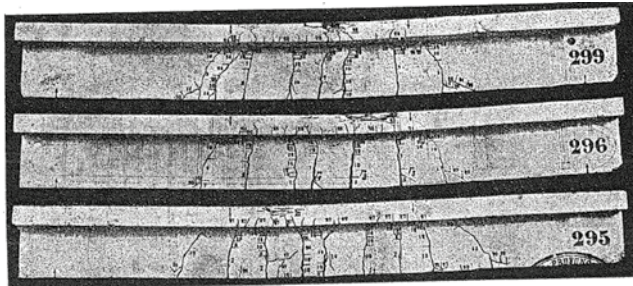
W pracy [13] opisano przebieg zarysowań w trakcie niszczenia wraz z wyszczególnieniem czynników wpływających na rozwój zarysowań. W trakcie badań opisano istotny wpływ warunków środowiska i składu mieszanki betonowej na rozwój zarysowań.

Racjonalne rozmieszczenie prętów zbrojenia możliwe było dzięki obserwacjom pierwszych zarysowań na powierzchni belki oraz momentu jej zniszczenia. Belki przechowywane w środowisku wilgotnym, wykazywały mokre plamy na powierzchniach zarysowanych.

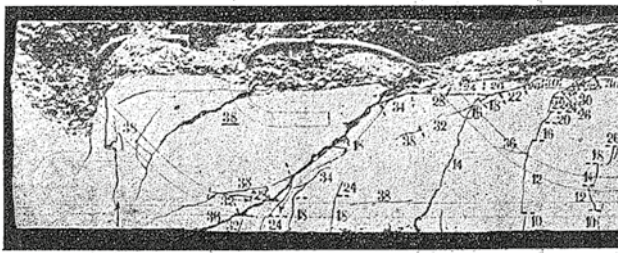
Dalszy rozwój zarysowań występował najintensywniej w obszarach zawilgoceń. Badania [13] wykazały, że znacznie szybciej dochodziło do rozwoju zarysowań w strefie rozciąganej w elementach przechowywanych w warunkach suchych niż mokrych.

Obserwacje badań pozwoliły także na stwierdzenie, że zarysowania powstają jako pierwsze w strefach najbardziej oddalonych od prętów zbrojenia, a ich dalszy rozwój skierowany jest ku prętom. W związku z tym szczególnie narażone na silny rozwój zarysowań są elementy o małej liczbie prętów w strefie rozciąganej. Wniosek ten jest zgodny ze współcześnie znanym faktem, że korzystniejsze ze względu na zarysowanie jest rozmieszczenie większej liczby prętów o mniejszej średnicy niż mniejszej liczby prętów o średnicy większej.

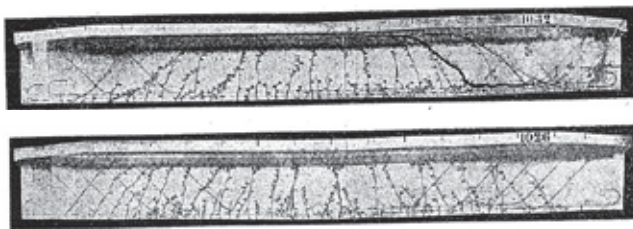




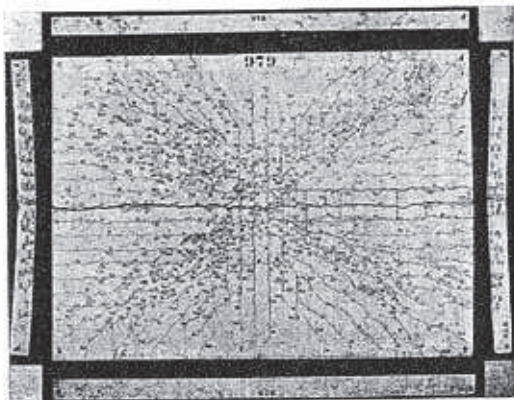
**Rys. 2.** Obraz zarysowań trzech belek zginanych [2]



**Rys. 3.** Zniszczenie belki zginanej na skutek niedostatecznego zbrojenia poprzecznego [2]

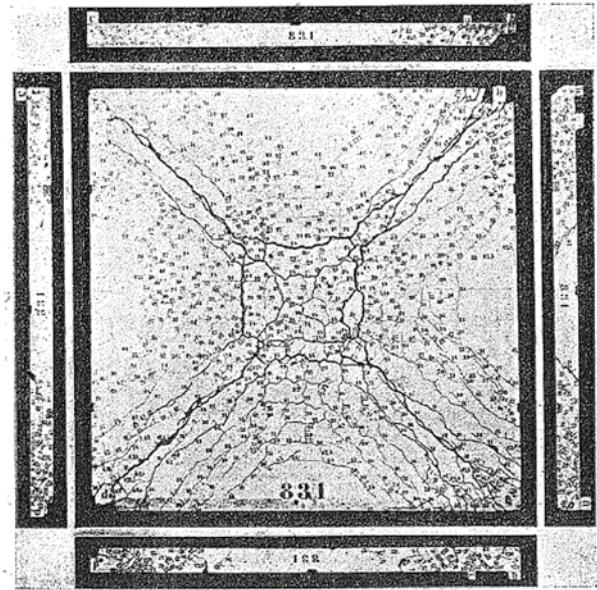


**Rys. 4.** Obraz zarysowań belek zginanych bez wystarczającego zbrojenia poprzecznego [2]



**Rys. 5.** Zarysowanie dolnej powierzchni płyty jednokierunkowej, wolnopodpartej [2]

Program badań przeprowadzony przez Bacha obejmował również swoim zakresem analizę wpływu składu mieszanki betonowej oraz wieku betonu na pojawienie się pierwszych zarysowań. Jednoznacznie stwierdzono, iż zwiększenie zawartości wody w mieszance betonowej powoduje przyspieszenie rozwoju zarysowań. Autor badań opisał zaobserwowany mechanizm zniszczenia belek zginanych w następujący sposób. Elementy



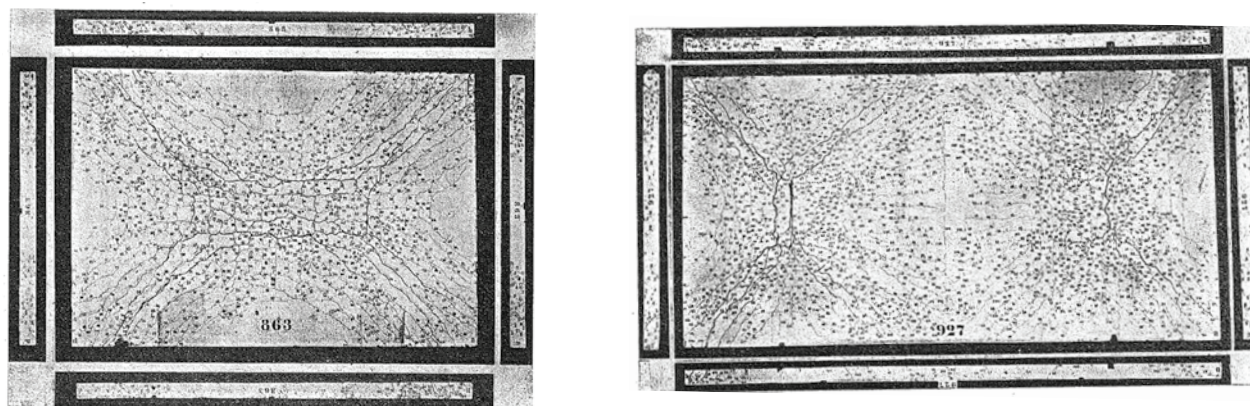
**Rys. 6.** Zarysowanie dolnej powierzchni płyty opartej obwodowo [2]

belkowe ulegają zniszczeniu w chwili przekroczenia granicy plastyczności zbrojenia. Zarysowania, które pojawiły się wcześniej w strefie rozciąganej, ulegają znacznemu powiększeniu ze względu na gwałtowne odkształcenia stali. Zarysowania strefy rozciąganej przechodzą do strefy ściskanej betonu, powodując przy zwiększaniu obciążenia zjawisko miążdżenia tej strefy. Obraz zniszczeń opisanych przez autora został udokumentowany na rysunku 2.

Inny mechanizm zniszczenia zaobserwowano w belkach wykonanych z niskiej klasy betonu lub przy nadmiernej ilości zbrojenia. Wyczerpanie nośności pochodziło od utraty wytrzymałości betonu na ściskanie w strefie ściskanej.

Badania przeprowadzone przez Bacha obejmowały również sprawdzenie belek, których wyczerpanie nośności następuje wskutek działania sił poprzecznych. Obraz zniszczenia belki o niedostatecznym zbrojeniu ukośnym przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Zarysowania ukośne początkowo rozwijały się w osi obojętnej, a następnie wydłużały ukośnie ku podporom i środkowi belki. Największą tendencję do rozwoju rys ukośnych miały belki o zbyt dużym rozstawie zbrojenia odgiętego. W przypadku prawidłowego rozmieszczenia prętów odgiętych, wyczerpanie nośności belki następowało wraz z osiągnięciem granicy plastyczności zbrojenia podłużnego. Badania zawarte w pracy [13] obejmowały swoim zakresem również płyty żelbetowe oparte na dwóch krawędziach (jednokierunkowo pracujące). Autor stwierdza, że zniszczenie tych elementów jest spowodowane przez silny rozwój zarysowań w miejscu maksymalnego momentu zginającego. Na podstawie przeprowadzonych badań autor postawił tezę, że szerokość płyty jednokierunkowej nie wpływa znacząco na wielkość obciążenia przy zniszczeniu, a istotne znaczenie ma





**Rys. 7.** Obraz zarysowań płyt prostokątnych opartych na wszystkich krawędziach [2]

zbrojenie rozciągane, zarówno dla rozwoju pierwszych zarysowań jak i momentu zniszczenia. Autor stwierdził ponadto, że charakter zniszczenia płyty pracującej jednokierunkowo jest zbliżony do utraty nośności belek wolnopodpartych. Obraz zarysowań zniszczonej płyty pracującej jednokierunkowo przedstawiono na rysunku 5. Fotografii wykonaną w trakcie badań przedstawia rysunek 5, który wyraźnie wskazuje, że tylko środkowa część płyty opartej na dwóch krawędziach ma podobny obraz zarysowań do elementów belkowych, a wraz z oddalaniem się od osi płyty zarysowania pokrywają się z dwusiecznymi kątów naroży płyty.

Zakres badań obejmował także sprawdzenie rozwoju zarysowań w płytach wolnopodpartych na wszystkich krawędziach. Obraz zarysowań płyty kwadratowej wspartej na wszystkich krawędziach ukazano na rysunku 6, natomiast płyty oparte na wszystkich krawędziach o geometrii zbliżonej do prostokąta na rysunku 7.

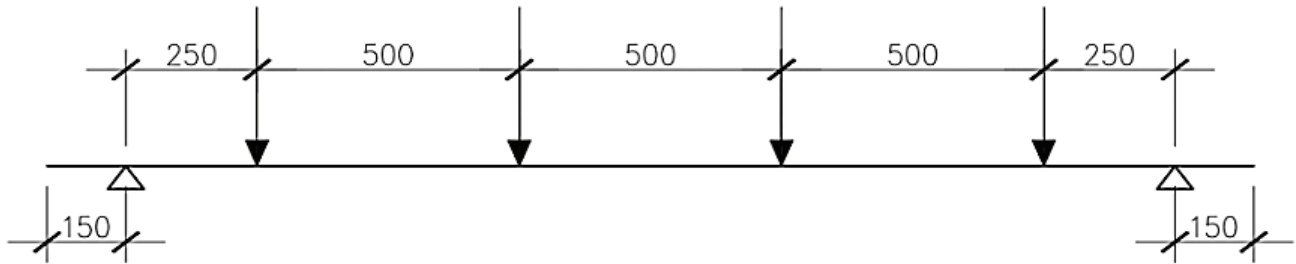
Podsumowując, w płytach kwadratowych opartych na czterech krawędziach, zarysowania przebiegają wzdłuż przekątnych, natomiast w płytach prostokątnych opartych na czterech krawędziach przebieg rys jest równoległy do dłuższego i krótszego boku, jednak nie w środku długości płyty, lecz w przekrojach przebiegających przez wierzchołek trójkąta, jaki powstanie w wyniku podzielenia kąta w narożu na dwie równe części.

#### 2.4. Badania doświadczalne płyt – rok 1931

W 1931 r. w Laboratorium Wytrzymałości Materiałów Politechniki Warszawskiej przeprowadzono badania nad korzyściami płynącymi ze stosowania stali Istege przy zbrojeniu elementów płytowych i belkowych [14]. Stal Istege była zbrojeniem przetworzonym, którego granica plastyczności (ówcześnie nazywana granicą ciastkowatości) ulega zwiększeniu w wyniku wcześniejszego wydłużenia (przetworzenia) zbrojenia o wartość ok. 6% długości pierwotnej. Proces przetworzenia polega na śrubowym skręcaniu dwóch prętów jednakowej średnicy. W tamtym okresie większość zniszczeń w konstrukcjach żelbetowych wywołana była wyczerpaniem

nośności zbrojenia, tak więc przystąpiono do przeprowadzenia szerokiego zakresu badań nad stalą o podwyższonej wytrzymałości. Badania obejmowały swoim zakresem porównanie nośności na zginanie elementów, zbrojonych stalą Istege oraz prętami gładkimi. Badaniom opisanym w [14] poddano elementy belkowe i płytowe, swobodnie podparte, obciążone parą sił skupionych. Badania umożliwiły wyciągnięcie następującego wniosku. Zastosowanie stali przetworzonej umożliwiło zmniejszenie pola przekroju zbrojenia o 33% względem elementów zbrojonych stalą gładką.

Wskutek zwiększenia obciążenia elementów zaobserwowano następującą zależność. Zarysowania pojawiły się jako pierwsze w elementach zbrojonych stalą Istege, jednak były one inne od zarysowań, jakie uzyskano w elementach zbrojonych prętami gładkimi. W pierwszym przypadku zarysowania pojawiły się w formie włoskowatych pęknięć i były trudne do zlokalizowania. Wraz ze zwiększaniem obciążenia, szerokości rozwarcia zwiększały się bardzo powoli, posiadając niemal do samego końca charakter rys włoskowatych. Wnioskowano, iż wynika to z dużej przyczepności stali Istege do betonu. W drugim przypadku początkowo włoskowate zarysowania prawie natychmiast po pojawieniu przekształciły się w szerokie i otwarte szczeliny, ponieważ pręty gładkie nie miały wystarczającej przyczepności do betonu. Reasumując wnioski zawarte w [14], zastosowanie stali skręconej (Istege) zapewniało lepsze warunki przyczepności zbrojenia, dzięki czemu rozwój zarysowań był bardziej równomierny (przybierał prawie od samego początku charakter zarysowań włoskowatych). W przypadku stosowania stali gładkiej poślizg w warstwie kontaktowej z betonem spowodował gwałtowne przekształcenie włoskowatych zarysowań w szerokie pęknięcia. Innym istotnym wnioskiem jest rozkład naprężeń w strefie ściskanej betonu. Zaobserwowano, że w przypadku stali gładkiej szerokie pęknięcia powodowały załamanie elementu przy obciążeniu niszczącym i zmiążdżenie strefy ściskanej betonu. Rozkład naprężeń ściskających w przypadku zastosowania stali przetworzonej



Rys. 8. Schemat statyczny elementów poddanych badaniom w [4]



Rys. 9. Przekrój badanych elementów wraz z wykorzystanym zbrojeniem [4]

był równomierny i następował w wielu punktach jednocześnie, a przy obciążeniu niszczącym nie zaobserwowano miażdżenia betonu.

Istotne różnice zaobserwowano przy pomiarze ugięć. Okazało się, że wartości ugięcia elementu zbrojonego stalą Istege były znacznie większe od elementu zbrojonego stalą gładką. Fakt ten może zostać wytłumaczony dwójako. Ze względu na zastosowanie mniejszego pola przekroju wartości naprężeń przypadające na poszczególne pręty były wyższe. Ponadto wartości wydłużenia stali Istege są o ok. 90% większe od zbrojenia gładkiego.

### 2.5. Badania doświadczalne płyt – rok 1936, 1937

Badaniami w latach 30. XX wieku szeroko zajmowały się niemieckie ośrodki badawcze. Wzmiankę o prowadzonym programie badań nad rozwojem zarysowań w elementach belkowych i płytowych można znaleźć w „Przeglądzie Budowlanym” z 1936 r. [15]. Jak wspomina autor artykułu, w tym okresie najszerzej omawianym tematem w literaturze inżynierskiej w Niemczech był rozwój zarysowań w elementach żelbetowych.

Stan wiedzy w roku 1936 r. pozwalał na stwierdzenie, że zarysowania w konstrukcjach żelbetowych są nieuniknione. Ówczesnie dokonano podziału na zarysowania **szkodliwe** i **nieszkodliwe**. Już wtedy postawiono tezę, że rysami szkodliwymi nazywamy te, których szerokość umożliwi swobodny wpływ czynników atmosferycznych na korozję zbrojenia. Rysy szkodliwe charakteryzowała przyjęta ówczesnie umowna granica 0,3 mm rozwartości rysy. Jednocześnie uznano, że bardziej korzystnym rozwojem zarysowań jest ten o większej liczbie pojedynczych rys na elemencie, a o równomiernym i ograniczonym rozwarciu niż ten, w którym liczba zarysowań jest ograniczona, jednak ich szerokości kwalifikują zarysowania jako szkodliwe. Uznano także, że zarysowania rozłożone w sposób uporządkowany umożliwiają bardziej równomierne wykorzystanie strefy ściskanej betonu.

W opracowaniu [15] przytoczone zostały wyniki badań Grafa przeprowadzone w Stuttgarcie. Program badań obejmował sprawdzenie rozwoju zarysowań w płytach o schemacie przedstawionym na rysunku 8 i przekroju pokazanym na rysunku 9.

Badania przeprowadzone w Stuttgarcie [15] pozwoliły na wyciągnięcie wniosku, że szerokość rozwarcia rys jest tym mniejsza, im większa jest liczba prętów oraz że wartość zarysowań jest mniejsza dla stali o powierzchni profilowanej. Drugi z wymienionych czynników ówczesnie był uzyskany przez zastosowanie stali Istege.

### 2.6. Badania doświadczalne płyt – rok 1968

Szerokie badania nad płytami żelbetowymi pojawiły się w roku 1968. Zostały one przeprowadzone na terenie Francji, w Centre d'Essais des Structures (CES). Autorem badań byli E. Absi oraz A. M. Brandt. Zarówno wyniki jak i część analityczna została szczegółowo omówione w pracy [16].

Badaniom poddano płyty kwadratowe oparte swobodnie na obwodzie za pośrednictwem plastikowych przewodów o średnicy ok. 3 cm, wypełnionych zaprawą z cementu glinowego.

Do badań wykorzystano łącznie osiem płyt o zróżnicowanym rozmieszczeniu i przekroju zbrojenia. Pozostałe właściwości jak wytrzymałość betonu na ściskanie i rozciąganie, wiek i granice sprężystości nie różniły się od siebie w znaczącym stopniu.

Podczas badań wykorzystano płyty o identycznych wymiarach, tj. 2,5x2,5x0,1 m. Elementy były poddane obciążeniu równomiernie rozłożonemu za pośrednictwem poduszki gumowej pod ciśnieniem wody. Kierunek obciążenia zwrócony był ku górze.

Celem badań było dokonanie następujących pomiarów:

- pomiar ugięć przy użyciu niwelatora optycznego,
- pomiar odkształceń betonu na powierzchni ściskanej i rozciąganej przy użyciu tensometra oporowego,





- pomiar rozwarcia rys na powierzchni rozciąganej za pomocą mikroskopu.

Pomiaru dokonano dla wzrastającego obciążenia od 10 kN/m<sup>2</sup> do 125 kN/m<sup>2</sup>. Dokładne wyniki ww. pomiarów odnaleźć można w pracy [16]. Autorzy w sposób istotny wskazują na wykryte w trakcie badań zależności między odkształceniami betonu, stali i ugięciami a początkiem zjawisk zarysowania betonu i uplastycznienia zbrojenia.

### 3. Podsumowanie

Przeprowadzone studium literaturowe wskazuje na wyraźną zmianę kierunku badań płyt i belek żelbetowych od 1875 roku do chwili obecnej. Początki badań płyt i belek żelbetowych dotyczyły głównie nośności na zginanie, ścinanie oraz rozwoju zarysowań. Z czasem wzrosło zainteresowanie przyczepnością stali do betonu oraz wpływem rodzaju zastosowanego zbrojenia na nośność badanych elementów.

Na początku XX wieku pojawił się jeden z pierwszych opisów mechanizmu zniszczenia belek wskutek zginania oraz ścinania. Programy badawcze prowadzone na początku wieku obejmowały również swoim zakresem płyty, dostarczając kluczowych informacji nt. mechanizmu zniszczenia tych elementów. Autorzy badań postawili ówczesnie istotną tezę, stwierdzając, że praca jednokierunkowo zbrojonej płyty wolnopodpartej jest zbliżona do pracy jednoprzęsłowych belek swobodnie podpartych. Obraz zarysowań uzyskany w trakcie badań wskazuje jednak na odmienny charakter pracy tych elementów. Wraz ze zwiększaniem szerokości płyty zarysowania występujące na jej powierzchni wykształcają się nie tylko w osiach głównych płyty, ale również wzdłuż dwusiecznych kątów. Prawidłowym stwierdzeniem jest jednak fakt, że praca środkowego pasma jednokierunkowej płyty jest zbliżona do zachowania jednoprzęsłowej belki swobodnie podpartej. Opracowane wyniki badań w tamtym okresie, nie pozwoliły jednak na wyszczególnienie wymiarów płyty jednokierunkowo pracującej, dla której charakter zarysowań oraz zniszczenie jest takie jak dla belek.

Po 1970 roku można zaobserwować wyraźnie mniejsze zainteresowanie badaniami płyt i belek żelbetowych w zakresie podstawowych zagadnień związanych ze ścinaniem, zginaniem i rozwojem zarysowań. Współcześnie badania prowadzone są głównie w zakresie stosowania zbrojenia rozproszonego, betonów wysokowartościowych i wyrobów kompozytowych, a także nośności elementów w sytuacji pożaru i pod obciążeniem dynamicznym.

Już na początku XX wieku uzyskano wyniki, które pozwoliły stwierdzić, że istnieje pewien wymiar przekroju poprzecznego płyty, dla którego przyjęcie metodologii obliczeń jak dla belek może być niepoprawne. W opracowaniu [17] przeanalizowano aktualnie stosowane definicje płyt i belek żelbetowych oraz postawiono tezę, iż

brak jednoznacznie obowiązującego podziału na płyty i belki może prowadzić do błędnej metody wymiarowania i kształtowania zbrojenia w elemencie.

Biorąc pod uwagę fakt, że w ciągu ostatnich 60 lat metody pomiarowe oraz stanowiska badawcze uległy unowocześnieniu, można stwierdzić, iż ponowienie badań w zakresie zginania i ścinania płyt i belek żelbetowych może dostarczyć nowych wniosków i pomóc w usystematyzowaniu definicji belki i płyty.

**W artykule wykorzystano archiwalne rysunki**

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Pająk Z., Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 69, Przebieg w konstrukcjach żelbetowych, Politechnika Śląska, Gliwice, 1990
- [2] Korpys K., Sprawdzanie z badań próbnych połączeń stropu i słupa budynku szkieletowego, realizowanego metodą wypychania kondygnacji, Zakład Badań i Doświadczeń Śląskiego Zarządu Budownictwa Miejskiego, str. 11, 1964
- [3] Starosolski W., Badora T., Kliszczewicz R., Badania połączenia płyty ze słupem obciążonego siłą i momentem, XVIII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, str. 419–427, 1971
- [4] Jun L., Chengqing W., Hong H., Investigation of ultra-high performance concrete slab and normal strength concrete slab under contact explosion, *Engineering Structures* 102/2015, str. 395–408
- [5] Jun L., Chengqing W., Hond H., Zhongqi W., Yu S., Experimental investigation of ultra-high performance concrete slabs under contact explosions, *International Journal of Impact Engineering* 93/2016, str. 62–75, Elsevier
- [6] Jiang F., Yinzi Z., Peng W., Bo W., Jiannan Z., Hailong C., Hualin F., Fengnian J., Experimental research on blast-resistance of one-way concrete slabs reinforced by BFRP bars under close-in explosion, *Engineering Structures* 150/2017, str. 550–561, Elsevier
- [7] Poneta P., Giluń A., Jurczuk J., Świeżewski P., Stolarski A., Bąk G., Błażejewicz T., Krzewiński R., Onopiuk S., Rekucki R., Szcześniak Z., Badania elementów żelbetowych wzmocnionych laminatami obciążonych wybuchowi, Część I, Opis programu badań i badania materiałów konstrukcyjnych, *Biuletyn WAT*, tom X, 4/2011
- [8] Xiao T., Li B., Fujikake K., Experimental study of reinforced concrete slabs under different loading rates, *ACI Structural Journal*, tom 113, 1/2016, str. 157–168
- [9] Włodarczyk M., Jędrzejewski I., Concrete slabs strengthened with basalt fibres – experimental tests results, *Procedia Engineering* 153/2016, str. 866–873
- [10] Smarzewski P., Sz waj M., Szewczak A., Analizy stanów deformacji zginanych płyt z betonu i fibrobetonu wysokowartościowego, *Budownictwo i Architektura* 10/2012, str. 37–52
- [11] Fall D., Shu J., Rempling R., Lundgren K., Zandi K., Two-way slabs: Experimental investigation of load redistributions in steel fibre reinforced concrete, *Engineering Structures* 80/2014, str. 61–74
- [12] Thullie M., *Teoria Żelbetu*, Komisja Biblioteki Politechnicznej, Związkowa Drukarnia we Lwowie, Lwów, 1915
- [13] Kuryłło A., *Żelbetnictwo Teoria i Ustrój Zeskładów Żelbetowych*, Gubrynowicz i Syn, Lwów 1925
- [14] Bryła S., Huber M. T., Doświadczenia z wkładkami specjalnymi, II Zjazd Inżynierów Budowlanych w Katowicach 15–17.II.1936, Opis zjazdu i referaty, *Polski Związek Inżynierów Budowlanych*, Warszawa, str. 121–128, 1936
- [15] Praca zbiorowa, *Przegląd Budowlany*, Zeszyt 1, Stowarzyszenie Zawodowe Przemysłowców Budowlanych R.P i Delegacji Stałej Z.P.B.R.P Warszawa, str. 8–9, 1936
- [16] Absi E., Brandt A.M., Analiza i badanie płyt żelbetowych w stanie zarysowania, PWN, Warszawa, 1974
- [17] Samborski M., Stowik M., Belka czy płyta? Klasyfikacja elementów konstrukcyjnych w świetle teorii wytrzymałości materiałów oraz literatury inżynierskiej, *Budownictwo i Architektura* 16(3)/2017, str. 103–112