

Grzegorz GREMZA<sup>\*</sup>  
Politechnika Śląska

## ZGINANE ZESPOLONE ELEMENTY ŻELBETOWE O RÓŻNYM UKSZTAŁTOWANIU STYKU - WYNIKI BADAŃ

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wybrane rezultaty badań dwóch płyt żelbetowych zespolonych. Szczególną uwagę zwrócono na wpływ ukształtowania styku pomiędzy prefabrykatem a betonem uzupełniającym na wartości ugięć elementów i wartości odkształceń ich zbrojenia podłużnego.

## BENDING OF CONCRETE COMPOSITE MEMBERS WITH VARIOUS PLANES OF JOINT - INVESTIGATION RESULTS

**Summary.** The selected results of experimental works on concrete composite members were presented. The influence of joint flexibility on deflection of these members was described. Strains in longitudinal reinforcement were also analysed.

### 1. Wstęp

Konstrukcje zespolone różnego typu są od wielu lat stosowane w budownictwie powszechnym, mostowym i przemysłowym. W konstrukcjach tego typu istotnym zagadnieniem jest nośność i odkształcalność styku pomiędzy elementami składowymi. W przypadku konstrukcji żelbetowych lub sprężonych będzie to styk pomiędzy prefabrykatem a betonem uzupełniającym.

W przeszłości zagadnieniem nośności konstrukcji zespolonych żelbetowych i sprężonych zajmowali się m.in. autorzy prac [1] i [2]. Obecnie zasady obliczania nośności ich styku zamieszczono także w Eurokodzie 2 i w normach krajowych do projektowania konstrukcji żelbetowych. Zajmowano się także, oprócz badań nośności elementów, wpływem sposobu wykonania zespolenia na przebieg odkształceń w styku belek żelbetowych [3], [4].

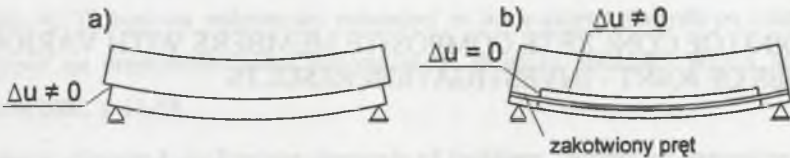
<sup>\*</sup> Opiekun naukowy: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Starosolski

Wyznaczano również charakterystyki siła - przemieszczenie w odniesieniu do ścinanych próbek betonowych, np. [5], [6]. Wybór literatury światowej i krajowej na wymienione wcześniej tematy można znaleźć m. in. w pracach [7], [8], [9] i [10]. Rzadko natomiast podejmowano temat wpływu podatności styku na ugięcia i sposób niszczenia żelbetowych elementów zespolonych.

## 2. Warunki brzegowe na końcach elementów zespolonych

W konstrukcjach zespolonych o podatnym (w ogólnym przypadku) połączeniu warstw rozpatrywać można dwa zasadnicze przypadki elementów:

- bez wzajemnego połączenia warstw na końcach elementu (element typu a) - rys. 1a,
- ze wzajemnym połączeniem warstw na końcach elementu (element typu b) - rys. 1b.



Rys. 1. Warunki brzegowe dla elementów zespolonych o schemacie belkowym: a) belka z poślizgami na końcach (typ a), b) belka z końcami wzajemnie utwierdzonymi (typ b)

Fig. 1. Boundary conditions at the endpoint of composite beams: a) with slippage (kind of a); b) without slippage at the end of the beam (kind of b)

W przypadku konstrukcji żelbetowych pierwszy ze schematów można rozpatrywać, gdy wykonano nową płytę żelbetową na płycie starej w stropie nie połączonym ze ścianami. Drugi ze schematów występuje powszechnie w stropach budynków z wieńcami, o ile w wieńcu zostało zakotwione zbrojenie prefabrykatu. W niniejszej pracy skupiono się na pracy elementów typu b.

## 3. Opis elementów

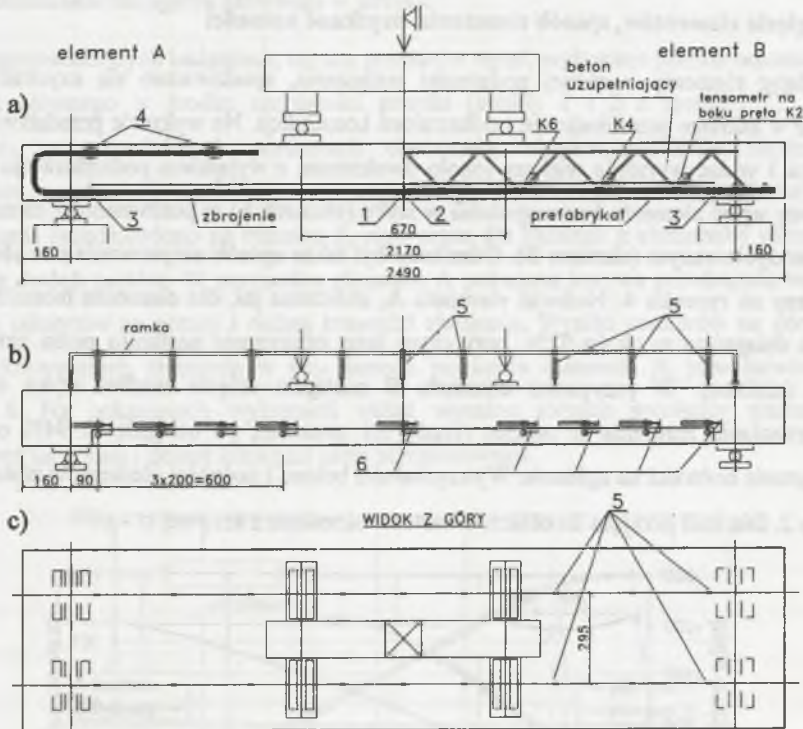
W dalszej części artykułu porównano rezultaty badań dla dwóch odmiennych przypadków elementów typu b, a mianowicie:

- elementu z brakiem przyczepności w styku - element A,

- elementu ze specjalnie ukształtowaną, dyblowaną powierzchnią styku, oraz ze zbrojeniem zszywającym w postaci kratowniczek wystających z prefabrykatu - element B.

Przekroje elementów, sposób ukształtowania powierzchni zespolenia oraz kształt zastosowanego zbrojenia pokazano w tablicy 1.

W trakcie badań mierzono przemieszczenia pionowe (na górnej krawędzi elementów), przemieszczenia poziome w styku (poślizg) oraz odkształcenia zbrojenia głównego w przęśle i na końcach prefabrykatu. Pomiaru odkształceń dokonywano także na części zbrojenia zszywającego (element B) oraz na zbrojeniu górnym nad wieńcem (element A). Schemat statyczny elementów oraz umiejscowienie punktów pomiarowych na prętach zbrojenia przedstawiono na rysunku 2a, rozmieszczenie czujników indukcyjnych na boku płyty na rysunku 2b, a rozmieszczenie punktów pomiarowych na wierzchu płyty na rysunku 2c.



1. Tensometry na górnej i dolnej krawędzi pręta w przęśle (element A).
2. Tensometry z boku pręta w przęśle (element B).
3. Tensometry na górnej i dolnej krawędzi pręta na końcach prefabrykatu.
4. Tensometry na górnej krawędzi zbrojenia górnego (element A).
5. Czujniki indukcyjne do pomiaru przemieszczeń pionowych.
6. Czujniki indukcyjne do pomiaru przemieszczeń poziomych w styku.
- k2 do K6 – tensometry na bokach prętów zbrojenia zszywającego.

Rys. 2. Ustawienie elementów i rozmieszczenie punktów pomiarowych (opis w tekście)  
Fig. 2. Test arrangement: lay out of displacement indicators and strain gauges

Tablica 1

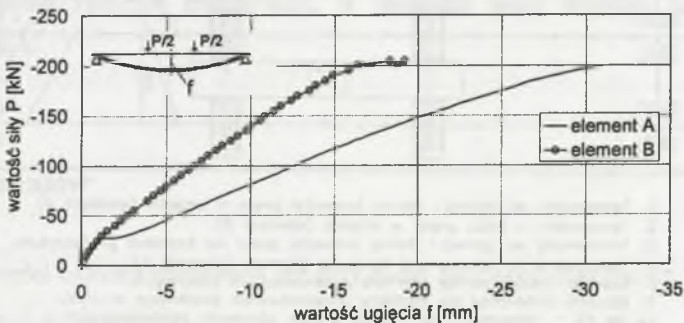
## Opis elementów

Płyta	Zbrojenie elementu	Przekrój	Powierzchnia styku
A			styk – zalarty na gładko, bez przyczepności
B			styk dyblowany 50x50x5, z przyczepnością na całej powierzchni

## 4. Wybrane wyniki badań

## 4.1. Ugięcia elementów, sposób niszczenia, uzyskane nośności

Badając elementy o różnej podatności połączenia, spodziewano się uzyskać znaczne różnice w zakresie przemieszczeń i odkształceń konstrukcji. Na wykresie przedstawionym na rysunku 3 widać wyraźnie większe (około dwukrotnie, z wyjątkiem początkowego odcinka) przyrosty ugięć elementu bez zespolenia w styku (element A) w porównaniu z elementem ze stykiem dyblowanym (element B). Odmienny był także sposób zarysowania obu elementów, pokazany na rysunku 4. Nośność elementu A, obliczona jak dla elementu monolitycznego, została osiągnięta w około 82%, przy czym jego zniszczenie nastąpiło przez zmiażdżenie strefy ściskanej. W przypadku elementu B nastąpiło ścięcie wzdłuż styku w trakcie uplastyczniania zbrojenia w przęśle (rzędu 3,1 promila), po osiągnięciu 94% obliczonej teoretycznie nośności na zginanie. Wytrzymałości betonu i nośności elementów zestawiono w tablicy 2. Dla stali przyjęto do obliczeń wartości określone z krzywej  $\sigma - \varepsilon$ .

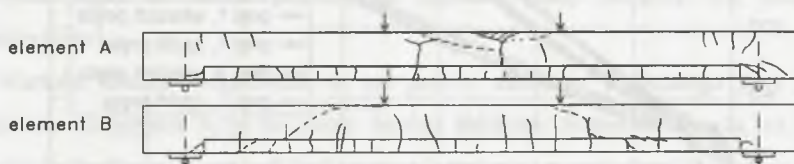


Rys. 3. Zależność siła obciążająca - strzałka ugięcia

Fig. 3. Measured deflection of members

Tablica 2

element	wytrzymałości betonu:		nośność obliczona	nośność uzyskana
	prefabrykat	nadbeton		
A	32,4 MPa	42,1 MPa	243 kN	199 kN
B	18,5 MPa	20,5 MPa	218 kN	205 kN

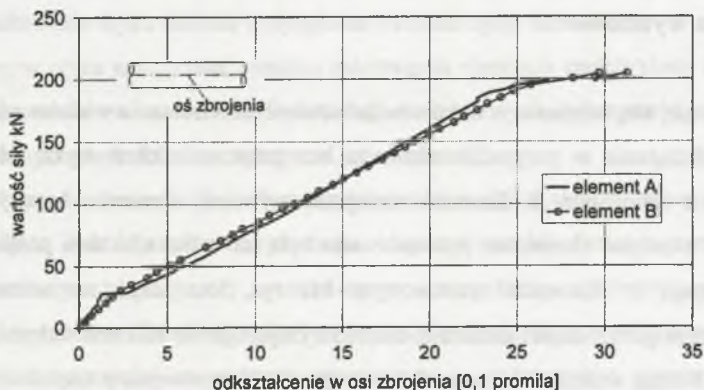


Rys. 4. Zarysowanie elementów (opis w tekście)

Fig. 4. Cracking of elements (description in text)

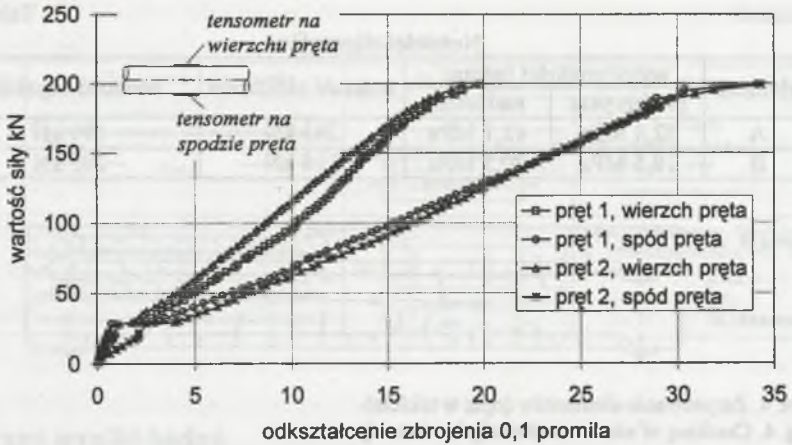
#### 4.2. Odkształcenie zbrojenia głównego w przęśle

W przeprowadzonych badaniach, oprócz pomiarów ugięć, wykonano pomiar odkształcenia zbrojenia głównego w środku rozpiętości przęsła (punkty 1 i 2 z rysunku 2). W tym przypadku, przy podobnych poziomach obciążenia, różnice pomiędzy wartościami odkształceń w osi zbrojenia badanych elementów były nieznaczne. Przebieg odkształceń w osi zbrojenia przedstawiono na rysunku 5, przy czym dla każdego z elementów uśredniono odczyty z dwóch prętów. W przypadku elementu A pokazana krzywa przedstawia wartości średnie z odczytów na górnej i dolnej krawędzi zbrojenia. Wyniki pomiarów na górnych i dolnych krawędziach zbrojenia w tym samym przekroju elementu A przedstawiono na rysunku 6. Na pokazanych wykresach widać wyraźne różnice pomiędzy wartościami odkształceń na górnej i dolnej krawędzi pręta zbrojeniowego.



Rys. 5. Zależność siła obciążająca - odkształcenie w osi zbrojenia w przęśle

Fig. 5. Strains of reinforcement in the midspan of elements



Rys. 6. Zależność siła obciążająca - odkształcenie zbrojenia w przęśle: wartości na krawędziach górnej i dolnej zbrojenia dla elementu A (dwa pręty opomiarowane)

Fig. 6. Strains of reinforcement in the midspan of elements: on top and bottom of longitudinal reinforcement bars

#### 4.3. Przesunięcia w styku

Przesunięcia w styku istotnie zależały od jego ukształtowania. Maksymalne pomierzone wartości wzajemnego przesunięcia warstw w styku zanotowano w odległości 69 cm od podpory (por. rys. 2). W przypadku elementu A wynosiły one około 3,45 mm, a w przypadku elementu B około 0,86 mm (0,67 mm przy osiągnięciu maksymalnej siły obciążającej).

### 5. Analiza wyników

Jak wcześniej wspomniano, w trakcie badań stwierdzono znacznie większe przyrosty ugięć w funkcji obciążenia w przypadku elementu bez przyczepności w styku (element A) w porównaniu z elementem B. Znacznie mniejsza sztywność elementu A przy zginaniu w porównaniu z drugim elementem spowodowana była nie tylko efektami poślizgu w styku, jakie występują w elemencie warstwowym bez rys, lecz także zarysowaniem betonu uzupełniającego górnej części elementu, charakteryzującego się kilkoma dużymi rysami (por. rysunek 4). Można wnioskować na podstawie sposobu zarysowania o częściowo niezależnej pracy giętej obu warstw.

Częściowo niezależną giętą pracą warstw w elemencie bez zespolenia w styku mogą potwierdzać, oprócz charakteru zarysowania, także wyniki odczytów odkształceń na górnej i dolnej krawędzi pręta zbrojenia podłużnego, pokazane wcześniej na rysunku 6. Na wykresach widać dość duże różnice pomiędzy wartościami odkształceń na górnej i dolnej krawędzi pręta zbrojeniowego, co może potwierdzać zginanie całej warstwy (w tym przypadku prefabrykatu).

Wartości średnie odkształceń w osi prętów zbrojenia podłużnego przy jednakowym poziomie obciążenia były do siebie bardzo zbliżone. Sugerowałoby to, że ramię sił w przekroju środkowym, przy dobrej pracy zakotwienia, można określić jako podobne w obu elementach. Należy się jednak liczyć ze skutkami wspomnianego wcześniej, częściowo niezależnego zginania warstw. W rzeczywistości więc wysokość strefy ściskanej, a co za tym idzie ramię siły, były najprawdopodobniej dla obu elementów nieco różne.

## 6. Podsumowanie

Podsumowując przedstawione rezultaty badań, można stwierdzić, że:

- przy odpowiednio silnym zakotwieniu zbrojenia w wieńcu uzyskano, nawet pomimo braku zespolenia w styku, nośność elementu A o wartości około 82% nośności obliczonej jak dla przekroju pełnego (zmniejszenie nośności następuje na skutek występowania częściowo niezależnego zginania warstw),
- w przypadku elementu B z ukształtowanymi dyblami i zbrojeniem w styku osiągnięto 94% nośności na zginanie obliczonej jak dla przekroju pełnego,
- ukształtowanie styku istotnie wpłynęło na wartości ugięć elementów,
- poślizg w styku następował pomimo zakotwienia zbrojenia prefabrykatu w wieńcach, co odpowiada w mechanice konstrukcji warstwowych schematowi elementu ze wzajemnym utwierdzeniem warstw na jego końcach,
- sposób zarysowania elementu bez przyczepności w styku skłania do wniosku, że dla uniknięcia niekorzystnego zarysowania w górnej części elementu niezbędne jest zapewnienie przynajmniej częściowego zespolenia poprzez odpowiednie przygotowanie powierzchni styku i zastosowanie zbrojenia zszywającego. Zespolenie takie jest zazwyczaj w praktyce zapewnione, a wykonywane elementy stanowią pośredni przypadek pomiędzy przedstawionymi w niniejszej pracy.

Zachowanie się elementów zespolonych o podatnym styku nadal pozostaje aktualnym zagadnieniem badawczym. Uzyskane rezultaty badań eksperymentalnych mogą stanowić materiał pomocniczy przy tworzeniu, ocenie i próbach wykorzystywania zarówno rozwiązań analitycznych, jak i modeli numerycznych. Prace te mogą (oprócz bezpośrednich wniosków z badań) skutkować praktycznymi wskazówkami dla obliczeń inżynierskich.

## LITERATURA

1. Grzegorzewski W.: Badania nad zespoleniem dwóch różnych betonów i warunki tworzenia się rys. Inżynieria i Budownictwo nr 12 / 1957, 405 – 414.
2. Malczyk A.: Stany graniczne zespolonych żelbetowych elementów zginanych o złożonym profilu. Rozprawa doktorska, Gliwice 1982.
3. Głuszyński E.: Ścinanie w płaszczyźnie połączenia belek zespolonych. Praca doktorska, Poznań 1972.
4. Ackermann G, Burkhardt M.: Zum Tragverhalten von Stahlbeton-Verbundtraeagern mit nachgiebiger Verbundfuge. II Konferencja Naukowa "Konstrukcje zespolone", Zielona Góra, listopad 1989.
5. Nowak W.: Analiza przecinania styku dwóch betonów. Rozprawa doktorska, Warszawa 1979.
6. Furtak K., Średniawa W.: Przemieszczenia względne zespolonych elementów betonowych przy obciążeniach ścinających. Księga Jubileuszowa z okazji 70-lecia Prof. dra hab. inż. Włodzimierza Starosolskiego, Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, Gliwice 2003, 131- 140.
7. Godycki - Ćwirko T.: Mechanika betonu. Arkady, Warszawa 1980.
8. Ułańska D., Romanowska A.: Przecinanie - dorobek polskiej inżynierii lądowej w latach 1970 – 1976. Prace Naukowe Politechniki Lubelskiej 208, seria Budownictwo, z.36, Lublin 1990, 49 -109.
9. Król M., Halicka A., Tur W.: "Konstrukcje zespolone z udziałem betonu zwykłego i ekspansywnego". Politechnika Lubelska, Lublin 1997.
10. Tur W., Kondratczik A.A.: Rascziet zielezobietonnych konstrukcij. Briest 2000.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Biliński