



Analiza wzmocnienia stalowych belek stropowych poprzez ich zespolenie z płytą żelbetową

Jacek Nawrot¹

STRESZCZENIE:

Celem niniejszej pracy jest analiza zmiany nośności na zginanie i ugięcia stalowej belki stropowej, którą wzmocniono, zespalając ją z istniejącą żelbetową płytą stropową. Konieczność wzmocnienia przekroju podyktowana była wzrostem wartości dotychczasowego obciążenia z uwagi na zmianę sposobu użytkowania obiektu. Zaproponowano zespolenie za pomocą śrub wysokiej wytrzymałości. Wyznaczono nośność na zginanie oraz wartość strzałki ugięcia belki dla stanu przed i po wzmocnieniu dla trzech różnych rozpiętości przęsła. Określono procentowy przyrost nośności oraz wartość ostatecznego ugięcia wzmocnianego elementu. Wykazano, że dla analizowanych przypadków nośność na zginanie belki po wzmocnieniu (zespoleniu) wzrasta ok. dwukrotnie, a wartość strzałki ugięcia maleje od 26 do 59%. Potwierdzono przydatność proponowanego rozwiązania jako alternatywę dla tradycyjnych sposobów wzmocniania stalowych belek stropowych.

SŁOWA KLUCZOWE:

wzmocnianie belek stalowych; belki zespolone; stropy zespolone

1. Wprowadzenie

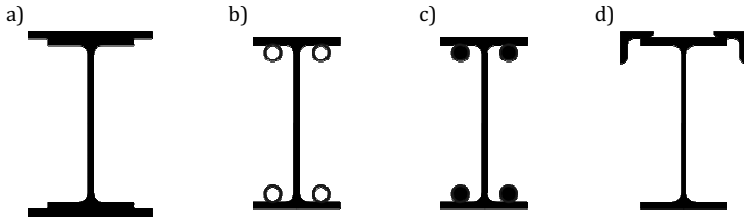
Jednym z najbardziej popularnych rozwiązań konstrukcji stropów w budynkach szkieletowych są stalowo-betonowe stropy belkowe. Zmiana dotychczasowego sposobu użytkowania budynku, nowy układ ścian działowych lub modyfikacja układu warstw wykończeniowych wiąże się często ze zwiększeniem wartości pierwotnego obciążenia działającego na strop. To z kolei pociąga za sobą konieczność wzmocnienia jego konstrukcji tak, aby spełnione były warunki stanu granicznego nośności i stanu granicznego użytkowania dla nowych, większych obciążeń. Wzmocnienie to może dotyczyć zarówno żelbetowej płyty stropowej, jak i podpierających ją belek stalowych. Ponieważ nośność płyty po uwzględnieniu nowego układu obciążenia jest przeważnie wystarczająca, wzmocnienie konstrukcji stropu ogranicza się zazwyczaj do wzmocnienia belek. W niniejszej pracy przedstawiono propozycję wzmocnienia stalowej belki stropowej poprzez zespolenie jej z istniejącą płytą żelbetową.

2. Sposoby wzmocniania belek stropowych w budynkach

Najczęściej stosowanym rozwiązaniem w zakresie wzmocniania stalowych belek stropowych jest zwiększenie (rozbudowanie) ich przekroju poprzecznego poprzez dospawanie elementów wzmocniających – kształtowników walcowanych (kątowników, ceowników itp.), rur, prętów stalowych lub nakładek z blachy (rys. 1). Najlepszy efekt wzmocnienia przekrojów zginanych

¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42–218 Częstochowa, e-mail: jnawrot@bud.pcz.pl, orcid id: 0000-0002-9581-1388

uzyskuje się w przypadku maksymalnego oddalenia od osi obojętnej dospawanych elementów wzmacniających – następuje wtedy największy przyrost momentu bezwładności przekroju, a także wskaźnika wytrzymałości na zginanie. Ten typ wzmacniania powoduje konieczność wykonania spoin na budowie, co jest procesem pracochłonnym, często wymaga również dostępu do górnej półki belki stalowej, co może powodować konieczność demontażu płyty stropowej.



Rys. 1. Przykłady wzmacniania przekrojów belek stalowych poprzez dospawanie dodatkowych elementów:
a) nakładek z blachy; b) rur okrągłych; c) prętów; d) kątowników

Zaleca się, aby podczas prowadzenia prac wzmacniających maksymalnie odciążyć konstrukcję stropu, zarówno jeśli chodzi o obciążenie stałe, jak i użytkowe. Prace wzmacniające należy ograniczyć do odcinków, w których występuje maksymalny moment zginający lub maksymalna siła tnąca [1].

Innym sposobem zmierzającym do poprawy nośności belek jest zmiana ich schematu statycznego (np. poprzez wprowadzenie dodatkowej podpory lub stalowych cięgien sprężających). Takie rozwiązanie powoduje zmniejszenie rozpiętości przęsła bądź zmianę dotychczasowego schematu pracy statycznej elementu, co prowadzi do zmniejszenia wartości momentów zginających oraz strzałki ugięcia belki. Wprowadzenie dodatkowej podpory lub cięgna może powodować zmianę (ograniczenie) funkcjonalności pomieszczeń, co nie zawsze jest możliwe do zaakceptowania przez użytkownika budynku.

Ponieważ omówione powyżej sposoby mają pewne ograniczenia, w niniejszej pracy zaproponowano rozwiązanie wzmocnienia belek stropowych poprzez ich zespolenie z istniejącą żelbetową płytą stropową, które może być ciekawą alternatywą w stosunku do tradycyjnie stosowanych rozwiązań.

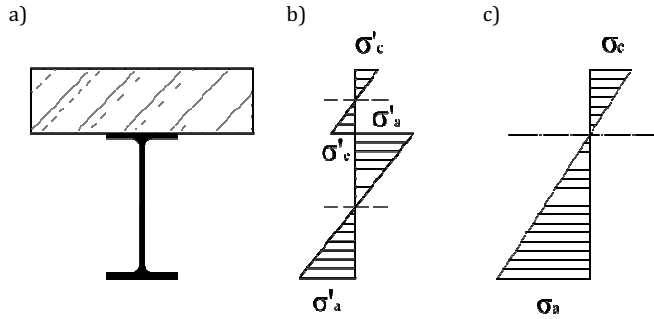
3. Proponowane rozwiązanie wzmocnienia stropu

3.1. Informacje wstępne

Zespolenie żelbetowej płyty stropowej z belką stalową polega na takim połączeniu tych dwóch elementów ze sobą, aby tworzyły jeden wspólny przekrój. Dzięki temu przy dodatnim rozkładzie momentów zginających (w przęsle) w betonie występują naprężenia ściskające, a w belce stalowej naprężenia rozciągające. Taki sposób przenoszenia obciążeń powoduje większą nośność na zginanie oraz większą sztywność zespolonych stropów stalowo-betonowych w stosunku do analogicznych stropów (ten sam typ belek stalowych, ten sam typ płyty), ale wykonanych bez zespolenia.

Połączenie (zespolenie) płyty żelbetowej z belką stalową odbywa się zazwyczaj za pomocą specjalnych łączników mechanicznych dedykowanych dla konstrukcji zespolonych. Najczęściej stosowane typy łączników w stalowo-betonowych stropach zespolonych omówiono m.in. w pracach [2–5].

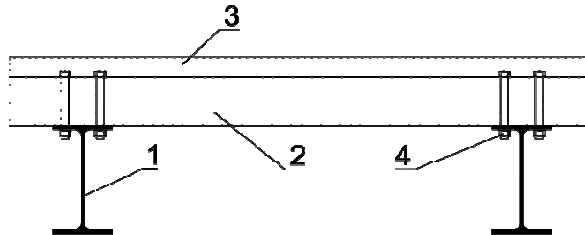
Wzmocnienie stropu poprzez wykonanie zespolenia powoduje zmianę dotychczasowego układu konstrukcyjnego, zmienia się również rozkład naprężeń zginających w przekroju (rys. 2). Naprężenia normalne oraz wielkości ugięcia w wariancie z zespoleniem są znacząco mniejsze niż w wariancie bez zespolenia. Taki zabieg pozwala na zwiększenie nośności belki bez konieczności zwiększania jej przekroju.



Rys. 2. Rozkład naprężeń zginających w przekroju stropu: a) przekrój poprzeczny; b) naprężenia zginające w stropie bez zespolenia; c) naprężenia zginające w stropie zespolonym

3.2. Proponowany sposób zespolenia

Najefektywniejszym sposobem zespolenia belki z płytą w istniejącym stropie (przy założeniu, że nośność płyty stropowej dla nowych, większych obciążeń będzie wystarczająca) jest zastosowanie łączników w postaci śrub wysokiej wytrzymałości (rys. 3). Łączniki śrubowe mogą być stosowane zarówno w płytach prefabrykowanych [6, 7], jak i monolitycznych [8]. Ich nośność reguluje się średnicą oraz klasą śruby.



Rys. 3. Zespolenie za pomocą śrub wysokiej wytrzymałości: 1 - belka stalowa; 2 - żelbetowa płyta stropowa; 3 - warstwy wykończeniowe stropu; 4 - śruba

W analizowanym przypadku wykonanie zespolenia sprowadza się do demontażu warstw wykończeniowych, wywiercenia otworów w płycie i górnej półce dwuteownika stalowego oraz montażu śrub. Po wykonaniu tych czynności można wykonać nową posadzkę. Na skutek odciążenia konstrukcji (demontaż starych warstw wykończeniowych, brak obciążenia użytkowego) ulega zmniejszeniu ugięcie belki stalowej. Po zespoleniu belki z płytą i ponownym dociążeniu (nowa posadzka, większa wartość obciążenia użytkowego) przyrost ugięcia będzie dużo mniejszy niż pierwotnej belki stalowej (mimo większego obciążenia), z uwagi na znaczący wzrost sztywności przekroju zespolonego. Zwiększeniu ulegnie również nośność na zginanie mimo zachowania dotychczasowej geometrii przekroju.

4. Analiza ugięcia i nośności belek przed i po wzmocnieniu

4.1. Przyjęte założenia

W celu określenia zmiany nośności oraz ugięcia belki stropowej na skutek jej wzmocnienia poprzez zespolenie z płytą stropową wykonano obliczenia dla trzech wariantów rozpiętości belki: 6; 6,5 oraz 7,5 m. Założono, że na skutek zmiany sposobu użytkowania obiektu oraz przeprowadzonej modernizacji nastąpi wzrost dotychczasowej wartości obciążenia użytkowego z 2,0 do 5 kN/m². Wykonana zostanie również nowa posadzka, co spowoduje wzrost wartości obciążenia stałego z 1,8 do 2,5 kN/m². Belki stalowe będą zabezpieczone przed zwichnięciem. Pozostałe parametry przyjęte do obliczeń są następujące: przekroje belek stalowych dla poszcze-

gólnych rozpiętości – IPE 270 (6,0 m), IPE 300 (6,5 m) i IPE 330 (7,5 m), stal konstrukcyjna S235, rozstaw belek – 2,0 m, płyta stropowa gr. 12 cm, beton C20/25, typ łącznika zapewniający zespolenie – śruba M16 kl. 10.9.

4.2. Wyniki obliczeń

Na podstawie obliczeń wykonanych zgodnie z [9] określono nośności na zginanie oraz wartość ugięcia stalowych belek stropowych dla wartości obciążenia przed modernizacją (tab. 1) i po modernizacji (tab. 2).

Tabela 1

Wyniki obliczeń dla obciążeń przed modernizacją

Rozpiętość belki [m]	Typ profilu	Nośność na zginanie $M_{b,Rd}$ [kNm]	Warunek nośności $M_1/M_{b,Rd}$	Ugięcie f_1 [mm]	Warunek ugięcia f_1/f_{dop}
6,0	IPE 270	113,74	0,77	19,38	0,81
6,5	IPE 300	147,58	0,70	18,56	0,71
7,0	IPE 330	188,94	0,73	23,49	0,78

Tabela 2

Wyniki obliczeń dla obciążeń po modernizacji (przed wzmocnieniem)

Rozpiętość belki [m]	Typ profilu	Nośność na zginanie [kNm]	Warunek nośności $M_2/M_{b,Rd}$	Ugięcie f_2 [mm]	Warunek ugięcia f_2/f_{dop}
6,0	IPE 270	113,74	1,20	29,65	1,24
6,5	IPE 300	147,58	1,09	28,36	1,09
7,0	IPE 330	188,94	1,14	35,82	1,19

Belki stalowe, których nośność na zginanie i sztywność były wystarczające na etapie przed modernizacją obiektu (tab. 1), wymagają wzmocnienia po zwiększeniu obciążeń w związku ze zmianą sposobu użytkowania obiektu – nośność na zginanie jest przekroczona od 9 do 20%, a strzałka ugięcia od 9 do 24% (tab. 2).

W celu określenia nośności na zginanie oraz wielkości ugięcia belki dla stanu po wzmocnieniu (po zespoleniu belki z płytą) wykonano obliczenia zgodnie z [10]. Otrzymane wyniki zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 3

Wyniki obliczeń dla obciążeń po modernizacji i po wykonaniu wzmocnienia (zespolenia)

Rozpiętość belki [m]	Typ profilu	Nośność na zginanie [kNm]	Warunek nośności $M_2/M_{pl,Rd}$	Ugięcie całk. f_2 [mm]	Warunek ugięcia f_2/f_{dop}
6,0	IPE 270	243,15	0,56	12,21	0,51
6,5	IPE 300	300,90	0,53	11,91	0,46
7,0	IPE 330	371,79	0,58	18,66	0,62

Po wykonaniu wzmocnienia (zespolenia) znacząco wzrosła nośność na zginanie oraz sztywność zespolonych belek stropowych, co spowodowało zmniejszenie się całkowitego ugięcia belki (tab. 3). Nośność na zginanie zwiększyła się ok. dwukrotnie, a ugięcie belki uległo zmniejszeniu o 26 do 59% (w zależności od rozpiętości rozpatrywanych belek stropowych). W związku z tym spełnione są z dużym zapasem warunki stanu granicznego nośności oraz stanu granicznego użytkowania, co stwarza możliwość dociążenia stropu w przyszłości, jeśli zajdzie taka potrzeba.

5. Wnioski

Po wykonaniu wzmocnienia poprzez zespolenie belki z płytą następuje znaczący wzrost nośności na zginanie oraz sztywności, co skutkuje zmniejszeniem ugięcia w stosunku do warto-

ści przed modernizacją. Spowodowane jest to odciążeniem stropu (brak obciążenia użytkowego, demontaż warstw wykończeniowych), które powoduje zmniejszenie dotychczasowego ugięcia belki. Po wykonaniu nowej posadzki i uwzględnieniu obciążenia użytkowego, z uwagi na dużą sztywność przekroju zespolonego, przyrost ugięcia spowodowany tymi obciążeniami jest stosunkowo niewielki, w wyniku czego całkowita strzałka ugięcia belki jest mniejsza niż dla przypadku przed modernizacją.

Proponowany sposób wzmocnienia belek stropowych nie powoduje zwiększenia ich przekroju poprzecznego (tak jak ma to miejsce w rozwiązaniach tradycyjnych), a wzrost nośności i sztywności elementu następuje na skutek zmiany sposobu pracy konstrukcji (korzystniejszy rozkład naprężeń od zginania w przekroju).

Analizie poddano nośność na zginanie oraz sztywność przekroju (mierzoną wartością strzałki ugięcia) samej belki stropowej, zakładając, iż płyta stropowa takiego wzmocnienia nie wymaga. Jeśli w danym przypadku obliczenia wykażą konieczność wzmocnienia płyty stropowej, należy przeprowadzić je zgodnie z zasadami wzmocniania konstrukcji żelbetowych.

Przedstawione rozwiązanie może stanowić ciekawą alternatywę w stosunku do dotychczas stosowanych sposobów wzmocniania stalowych belek stropowych, szczególnie w przypadkach gdzie możliwości spawania konstrukcji są ograniczone z uwagi na utrudniony dostęp do belek.

Literatura

- [1] Masłowski E., Spizewska A., Wzmocnianie konstrukcji budowlanych, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2000.
- [2] Nawrot J., Analiza efektywności doboru łączników do zespolonych stropów stalowo-betonowych dla wybranych rodzajów płyt, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej* 2016, seria Budownictwo 22, 248–256.
- [3] Major M., Kuliński K., Łączniki w konstrukcjach zespolonych stalowo-betonowych – przegląd rozwiązań, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej* 2015, seria Budownictwo 21, 205–210.
- [4] Lacki P., Nawrot J., Derlatka A., Analiza numeryczna segmentu stalowo-betonowego dźwigara mostowego obciążonego ciężarem własnym, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej* 2016, seria Budownictwo 22, 204–212.
- [5] Kozioł P., Modern design of steel-concrete composite structures, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej* 2015, seria Budownictwo 21, 118–127.
- [6] Kucharczuk W., Labocha S., Konstrukcje zespolone stalowo-betonowe budynków, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2008.
- [7] Liu X., Bradford M., Ataei A., Flexural performance of innovative sustainable composite steel-concrete beams, *Engineering Structures* 2017, 130, 282–296.
- [8] Yang F., Liu Y., Jiang Z., Vin H., Shear performance of novel demountable steel-concrete connector under static push-out test, *Engineering Structures* 2018, 160, 133–146.
- [9] PN-EN 1993-1-1:2006 Eurokod 3, Projektowanie konstrukcji stalowych, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [10] PN-EN 1994-1-1:2008 Eurokod 4, Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.

Analysis of the reinforcement of steel floor beams by connecting them with a concrete slab

ABSTRACT:

This paper presents the analysis of the load capacity for bending and deflection of floor steel beam, which was reinforced by connecting it with an existing concrete slab. Connecting by high strength screws is proposed. The bending capacity and the value of the beam deflection were determined for the state before and after reinforcement, for three different length of span. The percentage increase of load capacity and the value of final deflection of the reinforced element were determined. It was shown that for the analyzed cases, the bending strength of the beam after reinforcement increases about twice and the value of the deflection decreases by 26 to 59%. The usefulness of the proposed solution was confirmed as an alternative to traditional ways of reinforcing steel floor beams.

KEYWORDS:

strengthening steel beams; composite beams; composite floors