

Wyjaśnienia do rozprawy doktorskiej
pod tytułem
NOŚNOŚĆ I UGIĘCIA BELEK ZESPOLONYCH TYPU STAŁOWA BLACHA-
BETON

mgr inż. Kisała Dawid

W niniejszym opracowaniu zawarte zostały informacje uzupełniające do rozprawy doktorskiej. Ponadto przygotowano spis wszystkich symboli i oznaczeń (wraz z jednostkami) wykorzystanymi w rozprawie doktorskiej, które stanowią załącznik niniejszego opracowania.

1. SZTYWNOŚĆ ŁĄCZNIKA

W rozprawie doktorskiej przytoczono błędnie zapisany wzór zgodnie z artykułem (skan z artykułu) [1]:

$$K_l = 0.66N_s P_{\max}$$

where N_s = number of shear studs per row; and P_{\max} = design shear resistance of stud.

Poprawny wzór, który można znaleźć na przykład w artykule [2] (nie był cytowany w rozprawie doktorskiej), powinien mieć postać:

gdzie: — odległość pomiędzy łącznikami sworzniowymi. W takim wypadku sztywność łącznika będzie wyrażona w standardowych jednostkach —.

W obliczeniach teoretycznych w rozdziale 5 wykorzystywano zależność zgodnie z [3]:

—

gdzie: — charakterystyczna nośność łącznika sworzniowego, — poślizg (zapis oznacza poślizg przy sile na poziomie 0,7 nośności charakterystycznej łącznika wyznaczonej w teście typu push-out). W związku z tym w całej pracy symbol — powinien być interpretowany jako sztywność łącznika, podczas gdy K [—] jako podatność zespolenia.

Ponadto zapis na stronie 19: (*szytywność łącznika – przyp. aut.*) „jako sieczna szytywność na poziomie obliczeniowej wytrzymałości łącznika przy ekwiwalentnym poślizgu wynoszącym 0,8 mm” był niejasny bez rysunku objaśniającego opisywany sposób wyznaczania szytywności łącznika (na podstawie [4]).

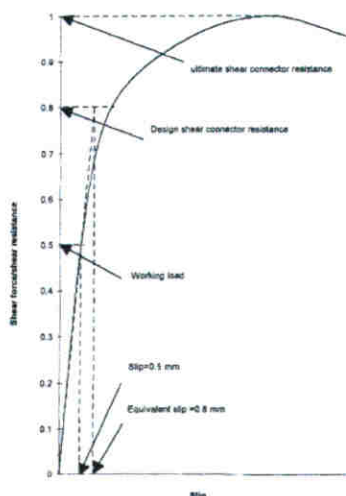


FIG. 5. Determination of Shear Connector Stiffness

2. PEŁNE ZESPOLENIE

Sformułowanie „**pełne zespolenie**” zaczerpnięto z literatury angielskojęzycznej, jako tłumaczenie określeń takich jak „full connection”, „full shear connection”, „full interaction”. W pracy używano go jednak do opisu zarówno sytuacji, gdy stopień zespolenia (rozumiany zgodnie z EC4 [3]) wynosił 1,0, jak i zamiennie do stosowanego powszechnie określenia **zespolenie niepodatne** [5]. W związku z tym w następujących miejscach w pracy należałoby użyć sformułowania „zespolenie niepodatne” zamiast „pełne zespolenie”:

- na stronie 17: „Wynikają one z nieprawidłowego założenia o pełnym połączeniu części betonowej ze stalową [...]”, powinno brzmieć: „Wynikają one z nieprawidłowego założenia o niepodatnym zespoleniu części betonowej ze stalową [...]”,
- na stronie 22:
 - „W przypadku projektowania klasycznych konstrukcji zespolonych dopuszcza się do zastosowania założenie pełnego zespolenia elementów stanowiących konstrukcję [...]”, powinno brzmieć: „W przypadku projektowania klasycznych konstrukcji zespolonych dopuszcza się do zastosowania założenie o niepodatności zespolenia elementów stanowiących konstrukcję [...]”,

- „[...] poślizg na końcach belki przy pełnym zespoleniu wynosi zero [...]”, powinno brzmieć: „[...] poślizg na końcach belki przy zespoleniu niepodatnym wynosi zero [...]”,
- „Zjawisko to występuje również w przypadku pełnego zespolenia [...]”, powinno brzmieć: „Efekt ten obserwowany jest również w przypadku badań doświadczalnych belek, które na gruncie obliczeń w zgodzie z Eurokodem 4, rozpatrywane są jako elementy o zespoleniu niepodatnym [...]”,
- „W przypadku obciążeń użytkowych sztywność belki o zespoleniu pełnym wynosi około 85-90 % sztywności bez uwzględniania zjawiska poślizgu”, powinno brzmieć: „W przypadku obciążeń użytkowych sztywność belki o zespoleniu niepodatnym jest większa o 10-15 % w stosunku do belek obliczanych z uwzględnieniem wpływu poślizgu na ugięcia.”,
- na stronie 23:
 - „Przeanalizowano również wpływ poślizgu na pracę konstrukcji zespolonej, zauważając, że nawet w przypadku pełnego zespolenia, redukcja sztywności elementu może wynieść 17 % dla belek o małych rozpiętościach.”, powinno brzmieć: „Przeanalizowano również wpływ poślizgu na pracę konstrukcji zespolonej, zauważając, że redukcja sztywności elementu może wynieść 17 % dla belek o małych rozpiętościach w wypadku przeprowadzenia obliczeń przy uwzględnieniu podatności zespolenia w stosunku do obliczeń przeprowadzonych przy założeniu zespolenia niepodatnego.”,
 - „[...] wykorzystuje się efektywny moduł i moment bezwładności, aby wziąć pod uwagę wpływ poślizgu w elementach o niepełnym zespoleniu. W przypadku elementów o pełnym zespoleniu obliczenia dalej stawiają nas po niebezpiecznej stronie”, powinno brzmieć: „[...] wykorzystuje się efektywny moduł i moment bezwładności, aby wziąć pod uwagę wpływ poślizgu w elementach o podatnym zespoleniu. W przypadku elementów o niepodatnym zespoleniu obliczenia dalej stawiają nas po niebezpiecznej stronie”.
- na stronie 24: „rozważania były w niej ograniczone do zakresu sprężystego oraz elementów o pełnym zespoleniu”, powinno brzmieć: „rozważania były w niej ograniczone do zakresu sprężystego oraz elementów o zespoleniu niepodatnym”,
- na stronie 25: „W pracy [33] analizowano belki zespolone w przypadku obciążenia wywołującego rozciąganie w części betonowej, udowodniono w niej, że znaczny

poślizg w płaszczyźnie zespolenia występuje pomimo zapewnienia pełnego zespolenia”, powinno brzmieć: „W pracy [33] analizowano belki zespolone w przypadku obciążenia wywołującego rozciąganie w części betonowej, udowodniono w niej, że bez uwzględnienia poślizgu, metody obliczeń bazujące na założeniu o niepodatności zespolenia niedoszacowują wartości ugięć.”

- na stronie 27: „W związku z tym głównym celem pracy jest analiza zachowania belek zespolonych typu stalowa blacha-beton pod obciążeniem, a w szczególności badania eksperymentalne wpływu poślizgu występującego w płaszczyźnie zespolenia, nawet w przypadku elementów charakteryzujących się pełnym zespoleniem.”, powinno brzmieć: „W związku z tym głównym celem pracy jest analiza zachowania belek zespolonych typu stalowa blacha-beton pod obciążeniem, a w szczególności badania eksperymentalne wpływu poślizgu występującego w płaszczyźnie zespolenia, nawet w przypadku elementów, które zgodnie z Eurokodem 4 analizowane byłyby jako belki o zespoleniu niepodatnym”.
- na stronie 92: „Analiz ugięć oraz poślizgu wykazała, że mimo zapewnienia pełnego zespolenia, efekt przesunięcia pomiędzy częścią betonową i stalową występuje i ma znaczący wpływ na zachowanie elementu”, powinno brzmieć: „Analiz ugięć oraz poślizgu wykazała, że mimo zapewnienia warunków pozwalających przyjąć założenie o niepodatności zespolenia zgodnie z zapisami Eurokodu 4, efekt przesunięcia pomiędzy częścią betonową i stalową występuje i ma znaczący wpływ na zachowanie elementu”.

Ponadto podrozdział **4.3.5.3. UGIĘCIA** powinien zostać przeredagowany zgodnie z poniższymi wskazówkami przy uwzględnieniu, że miarą podatności zespolenia jest wielkość o wymiarze $\frac{N}{m^2}$. Zgodnie z [6] w przypadku łączników równomiernie rozłożonych, podatność zespolenia wynosi:

$$K = \frac{nk}{L}$$

gdzie: n – liczba łączników na rozpatrywanej długości belki, k – sztywność pojedynczego łącznika, L – rozpatrywana długość belki.

„W tablicy 4.32 zaprezentowano porównanie ugięć przebadanych belek zespolonych typu stalowa blacha-beton. Jako P_u oznaczono nośność na zginanie elementu. W kolumnie (B) zaprezentowano wartości podatności zespolenia. Pod każdą parą belek zaprezentowano obliczoną różnicę w ugięciach pomiędzy elementami. Wynik odnoszono do belki mniej podatnej. W kolumnach od (C) do (G) zaprezentowano ugięcia dla poszczególnych poziomów

obciążenia dla danej belki. W kolumnach oznaczonych jako (BD) zaprezentowano wyniki z tradycyjnych pomiarów z wykorzystaniem czujników indukcyjnych, podczas gdy w kolumnach z adnotacją (MO) wyniki z pomiarów z wykorzystaniem metod optycznych. Ostatnia kolumna (Δ) każdego z poziomów obciążenia, pokazuje różnicę w pomiarach pomiędzy dwoma metodami pomiarów.

Elementy oznaczone jako SPCC_1 oraz SPCC_2 zgodnie z projektem różniły się zastosowaną klasą betonu oraz rozstawem łączników. Wynosił on 12 cm w przypadku belki SPCC_1 oraz 16 cm w belce SPCC_2. Ich podatność zespolenia kształtowała się na zbliżonym poziomie. Osiągnęły bardzo zbliżoną do siebie nośność na zginanie (3,0 % różnicy) oraz wartości ugięć. Jednak w przypadku badań belki oznaczonej jako SPCC_1 pomiary mogą być obarczone błędem na skutek źle ukształtowanej podpory przegubowo-przesuwnej (sposób podparcia belek został zmodyfikowany w dalszych badaniach zgodnie z tym co zaprezentowano na rysunku 4.39) oraz uszkodzenia czujnika mierzącego ugięcie (odpadnięcie w momencie badania ze względu na rozwijającą się ryse).

W przypadku belek SPCC_3 i SPCC_4 parametry, które odróżniały je od siebie to klasa betonu, zastosowane zbrojenie (w belce SPCC_3 miało ono średnicę 16 mm, a w belce SPCC_4 12 mm) oraz rozstaw łączników, który wynosił 16 cm dla pierwszej z belek oraz 10 cm dla drugiej. Belka oznaczona jako SPCC_3 zgodnie z przewidywaniami charakteryzowała się większymi ugięciami w stosunku do belki oznaczonej jako SPCC_4 ze względu na prawie dwa i pół razy mniejszą podatność zespolenia. Jak wykazano w poprzednim podrozdziale, ich nośność również kształtowała się na podobnym poziomie (5,2 %). Ugięcia trzeciej belki były większe od ugięć czwartej belki o średnio 22,5 %. Dobrze korespondowały ze sobą wyniki poszczególnych metod pomiaru (z wykorzystaniem czujników indukcyjnych i metod optycznych): 4,9 % dla belki SPCC_3 oraz 8,2 % dla belki SPCC_4.

Belki oznaczone jako SPCC_5 i SPCC_6 różniły się od siebie tylko i wyłącznie rozstawem łączników wiotkich po długości elementu. W pierwszej z belek zastosowano rozstaw 12 cm, a w drugiej zagęszczono łączniki dwukrotnie. W przypadku belek oznaczonych jako SPCC_5 i SPCC_6 powtórzyła się sytuacja opisywana dla poprzedniej pary. Różnica w nośności na zginanie kształtowała się na marginalnym poziomie około 1,0 %, podczas gdy ugięcia dla elementu bardziej podatnego były większe. Występuje różnica pomiędzy wynikami metod tradycyjnych i optycznych. W przypadku czujników indukcyjnych można wnioskować, że wpływ poślizgu na ugięcia wynosił niecałe 6,0 % podczas gdy metody optyczne wskazują na wartość rzędu 12,5 %."

Tab. 0.1. Porównanie ugięć belek zespolonych typu stalowa blacha-beton

Nazwa belki	Podatność zespolenia $\left[\frac{kN}{mm^2} \right]$	0,2 Pu			0,4 Pu			0,6 Pu			0,8 Pu			1,0 Pu		
		BD	MO	Δ	BD	MO	Δ	BD	MO	Δ	BD	MO	Δ	BD	MO	Δ
		[mm] 	[mm] 	[%] 	[mm] 	[mm] 	[%] 	[mm] 	[mm] 	[%] 	[mm] 	[mm] 	[%] 	[mm] 	[mm] 	[%]
A	B	C			D			E			F			G		
SPCC_1	2,03	3,3	2,8	15,1	7,2	6,8	5,6	11,8	11,4	3,4	17,0	15,7	7,6	-	34,5	-
SPCC_2	2,23	3,1	3,4	-9,7	7,4	7,8	-5,4	12,0	12,5	-4,2	17,6	18,0	-2,3	62,4	77,1	23,6
Różnica [%]		-6,1	21,4	-	2,8	14,7	-	1,7	9,6	-	3,5	14,6	-	-	123,5	-
SPCC_3	1,55	4,2	3,8	9,5	8,8	8,3	5,7	13,3	13,0	2,3	18,8	18,4	2,1	92,2	90,6	1,7
SPCC_4	3,49	3,4	3,0	11,8	7,3	6,7	8,2	11,4	10,6	7,0	15,6	14,7	5,8	49,5	44,8	9,5
Różnica [%]		23,5	26,7	-	20,5	23,9	-	16,7	22,6	-	20,5	25,2	-	86,3	102,2	-
SPCC_5	2,93	4,4	4,6	4,5	9,3	9,7	-4,3	14,4	14,8	-2,8	20,3	21,5	-5,9	51,6	46,4	10,1
SPCC_6	5,86	4,3	4,1	4,7	8,8	8,6	2,3	13,7	13,6	0,7	19,2	19,2	0,0	53,7	52,5	2,2
Różnica [%]		2,3	12,2	-	5,7	12,8	-	5,1	8,8	-	5,7	12,0	-	-3,9	-11,6	-

3. TRZY FAZY PRACY BELKI ZESPOLONEJ TYPU STALOWA BLACHA-BETON

W literaturze przedmiotu [7] opisywane są trzy charakterystyczne fazy pracy belek zespolonych stalowo-betonowych: sprężysta, sprężysto-plastyczna i plastyczna. Analizy zależności obciążenie-ugięcie wskazują, że po pojawieniu się zarysowania betonu, sztywność belki zostaje zredukowana, ale krzywa przedstawiająca zależność obciążenie-ugięcie zachowuje przebieg zbliżony do liniowego do momentu wystąpienia obciążenia przy którym stalowa blacha osiąga granicę plastyczności (II faza). W fazie plastycznej (III faza) zarówno w stalowej blasce jak i w dolnym zbrojeniu części betonowej, rozwija się uplastycznienie, a sztywność belki ulega znacznemu obniżeniu. Za koniec fazy III uważa się wystąpienie zmiężdżenia betonu.

Również w literaturze polskojęzycznej można znaleźć opisy trójfazowej pracy przekrojów zginanych [8]:

- Faza I – występująca w tych przekrojach elementu, w których moment zginający nie jest zbyt duży, a odkształcenia i naprężenia rozciągające w betonie nie osiągają jeszcze wartości wywołujących rysy prostopadłe do osi podłużnej elementów,
- Faza II – występująca po przekroczeniu wartości momentu odpowiadającego zarysowaniu, w strefie rozciąganej element pojawia się rysy prostopadłe, beton rozciągany w przekroju przez rysę nie pracuje,
- Faza III – oznaczająca fazę zniszczenia przekroju zakończoną zmiężdżeniem betonu.

Ponadto autorzy pracy [9] wyróżniają analogiczne trzy fazy pracy do opisanych powyżej, inaczej je jednak nazywając: faza przed zarysowaniem (*precracking*), faza zarysowania (*cracking*) i faza po zarysowaniu (*postcracking*). Z tego też artykułu [9] zaczerpnięto sposób obliczania ugięcia (i momentu bezwładności) od momentu uplastycznienia stalowej blachy do momentu zmiężdżenia betonu, które jest interpolacją liniową wartości pomiędzy ugięciem obliczonym w momencie uplastycznienia stalowej blachy, a momentem zniszczenia przekroju poprzez zmiężdżenie betonu.

4. POZIOM/STOPIEŃ ZESPOLENIA

W pracy określenia stopień i poziom zespolenia wykorzystywano zamiennie. Zgodnie z [3] stopień zespolenia zdefiniowany jest jako stosunek:

$$\eta = \frac{N_c}{N_{c,f}} \leq 1,0$$

gdzie: N_c - obliczeniowa siła normalna w płycie betonowej belki zespolonej, $N_{c,f}$ - obliczeniowa siła normalna w płycie betonowej belki zespolonej z pełnym zespoleniem.

Jednak w przypadku analizy wpływu poślizgu na ugięcia konstrukcji lepszym parametrem porównawczym jest podatność zespolenia zdefiniowana w punkcie 2 niniejszego Aneksu. W związku z tym modyfikacji wymaga część rozdziału 7 rozprawy:

7.2. UGIĘCIA

„Analiza zagadnienia wpływu poślizgu na ugięcia belek zespolonych typu stalowa blacha-beton została zaprezentowana w tablicy 7.3. Wyniki zostały odniesione do **podatności zespolenia**. Widać wyraźnie (w przypadku badań własnych), że im podatność zespolenia większa, tym można zaobserwować większe ugięcia elementu w obrębie danej pary belek o zbliżonej nośności na zginanie.

W przypadku pierwszej pary (SPCC_1 i SPCC_2) z racji zbliżonych podatności zespolenia również i wartość współczynnika poślizgu ξ kształtuje się na zbliżonym poziomie

(zdefiniowany w rozdziale 5). Kolejne elementy wskazują jednak, że podatność zespolenia wpływa bezpośrednio na ugięcia badanych elementów. W przypadku elementów SPCC_3 i SPCC_4 różnice te są szczególnie widoczne w zakresie od 0,2 do 0,8 nośności na zginanie. Mimo małej podatności (ze względu na zastosowanie dużej ilości łączników w stosunku do normowego warunku pozwalającego przyjąć, że zespolenie jest niepodatne) w przypadku badań własnych, poślizg w płaszczyźnie zespolenia wystąpił w przypadku każdej z belek i wniósł znaczący wpływ na zmniejszenie jej sztywności.”

Zdanie na stronie 134: „Jest to tym istotniejsze im mniejszy stopień zespolenia zastosowano w elemencie, a należy nadmienić, że w każdym z omawianych przypadków kształtował się on na poziomie dużo wyższym niż 100 %”, Tabelę 7.6 oraz odniesienie do niej w tekście należałoby usunąć.

Zdanie na stronie 149: „Widać wyraźnie, że zastosowanie analizy bez uwzględniania poślizgu w najlepszym przypadku, gdy w elemencie osiągnięto stopień zespolenia na poziomie 150 %, niedoszacowuje ugięcia o prawie 14 %”, powinno brzmieć: „Widać wyraźnie, że zastosowanie analizy bez uwzględniania poślizgu w najlepszym przypadku, gdy w elemencie osiągnięto stopień zespolenia na poziomie 100 %, niedoszacowuje ugięcia o prawie 18 %”.

Tab. 0.2. Porównanie współczynnika uwzględniającego wpływ poślizgu na pracę elementu ξ (wyrażonego w procentach) dla belek zespolonych typu stalowa blacha-beton w przypadku analiz teoretycznych i numerycznych

Rodzaj badania	Nazwa belki	Podatność zespolenia $\left[\frac{kN}{mm^2} \right]$	Analiza teoretyczna					Analiza numeryczna				
			0,2 Pu	0,4 Pu	0,6 Pu	0,8 Pu	Max	0,2 Pu	0,4 Pu	0,6 Pu	0,8 Pu	Max
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Badania własne	SPCC_1	2,03	0,0	3,8	4,7	6,0	1,7	4,6	10,1	13,5	11,1	87,4
	SPCC_2	2,23	0,0	4,2	3,7	8,0	-0,3	0,8	12,3	14,8	15,0	104,6
	SPCC_3	1,55	7,4	7,4	7,5	6,9	0,0	24,3	14,5	15,6	19,1	99,7
	SPCC_4	3,49	5,0	3,3	3,1	3,1	0,2	27,8	13,9	8,8	4,1	85,2
	SPCC_5	2,93	5,3	4,6	4,5	4,5	0,0	18,9	15,4	15,0	14,3	81,3
	SPCC_6	5,86	2,6	2,3	3,1	2,3	0,0	6,1	7,5	7,5	4,7	129,1
Badania obce [2]	SCCB-2	0,97	15,8	11,3	13,3	12,4	4,9	3,4	5,8	12,7	19,2	162,4
	SCCB-3	1,02	11,1	12,2	13,0	14,6	5,1	6,8	17,4	32,9	73,9	53,6
	SCCB-5	1,02	10,5	10,4	9,3	8,8	3,5	15,9	14,9	25,3	47,6	-11,8
	SCCB-7	0,79	9,1	12,7	11,6	-	3,9	17,0	56,4	93,2	150,0	-
	SCCB-8	1,39	33,3	26,8	21,2	22,5	3,1	4,5	4,4	13,6	21,8	329,5

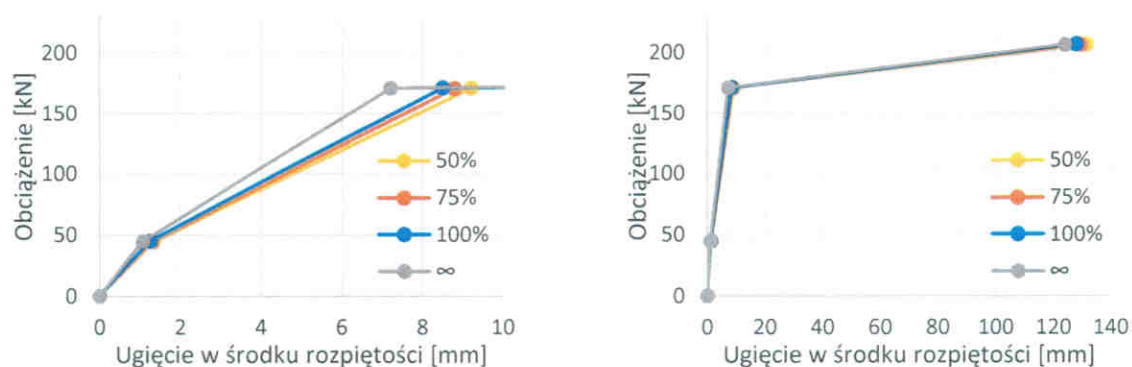
Należałoby również zmodyfikować poniższe tablice oraz wykresy, aby uwzględnić wpływ zmiennych parametrów (średnicy i rozstawu łączników) na podatność zespolenia oraz ograniczyć stopień zespolenia do wartości 1,0.

Tab. 0.3. Porównanie podatności zespolenia w zależności od średnicy zastosowanych łączników

ϕ_{stud} [mm]	10,0	19,0
Podatność zespolenia $\left[\frac{kN}{mm^2} \right]$	0,24	0,87

Tab. 0.4. Porównanie podatności zespolenia w zależności od rozstawu zastosowanych łączników

p_{stua} [cm]	12,0	36,0
Podatność zespolenia $\left[\frac{kN}{mm^2} \right]$	1,32	0,44



Rys. 0.1. Wpływ stopnia zespolenia na nośność na zginanie i ugięcia w środku rozpiętości



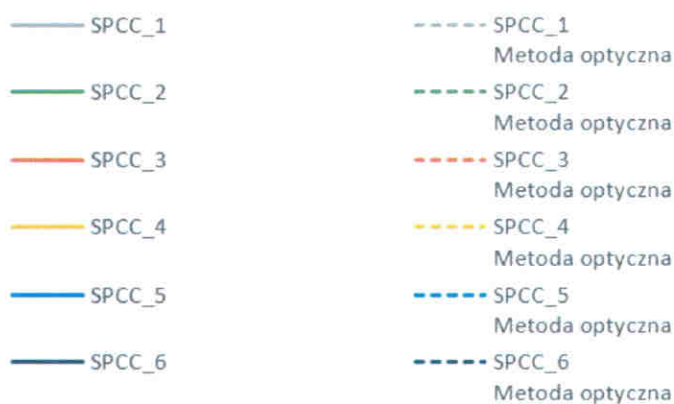
Rys. 0.2. Porównanie relatywnego ugięcia w odniesieniu do: fazy pracy przekroju oraz stopnia zespolenia

Tab. 0.5. Porównanie współczynnika uwzględniającego wpływ poślizgu na pracę elementu (w procentach) dla belek zespolonych typu stalowa blacha-beton w zależności od stopnia zespolenia

Faza	Stopień zespolenia		
	50 %	75 %	100 %
M _{cr}	25,0	20,9	17,2
M _y	27,9	22,6	18,0
M _u	6,1	4,4	3,2

5. BRAK LEGENDY

Na stronach 75 i 76 nie zamieszczono legendy do rysunków 4.51 i 4.52.



W pracy należało też zdefiniować termin **ciągłość** - zdolność materiału/elementu do uzyskiwania znacznych odkształceń przy niewielkim przyroście naprężeń po przekroczeniu granicy plastyczności w stalowej blasze.

6. POŚLIZG

W rozdziale 4 zaprezentowano wyniki pomiarów poślizgu na końcu stalowej blachy. Jednak wykorzystanie bezkontaktowych metod optycznych pozwoliło na analizę poślizgu w płaszczyźnie zespolenia, nie tylko w tym charakterystycznym i najczęściej analizowanym miejscu, ale również po długości badanego elementu. Okazało się, że bardzo duży wpływ na wyniki ma powstawanie zarysowań, które w bezpośredni sposób utrudniają pomiar poślizgu poprzez śledzenie markerów naklejonych na powierzchni belki. Opisywany efekt zaprezentowano na rysunku 7.3. Widać wyraźnie, że po pojawieniu się rysy znacznik naklejony na powierzchnię betonu przemieszcza się na skutek pojawienia się pęknięcia, a nie podatności łącznika (a przynajmniej efekt ten jest znacznie mniejszy). W przypadku dużych wartości obciążeń, wartość przesunięcia może przekraczać w dużej mierze wielkość samego poślizgu rozpatrywanego jako globalny. Jest to szczególnie istotne w środku rozpiętości belek, gdzie ze względu na działanie momentu zginającego zarysowania są największe, a na gruncie teorii poślizg powinien zmierzać do zera.

Z tego względu pomiary poślizgu na długości elementu są utrudnione i obarczone pewnym błędem szczególnie w miejscach, gdzie doszło do dużego zarysowania. Dodatkowo wpływ na pracę elementu ma również obecność strzemion, zbrojenia podłużnego i łączników, które są w tym wypadku karbami konstrukcyjnymi. W opinii autora, można w takim wypadku dokonać podziału na poślizg: globalny i lokalny, który wynika nie tylko z podatności łączników, ale również innych efektów takich jak np. zarysowanie.

LITERATURA

- [1] Nie J., Cai C. S.: Steel-Concrete Composite Beams Considering Shear Slip Effects, Journal of Structural Engineering, Journal of Structural Engineering, Vol. 129, No. 4, April 2003, pp. 495-506.
- [2] Yuan H., Yang Y., Deng H., Weijian Y., Bo P.: Element-based stiffness reduction coefficient of steel-concrete composite beams with interface slip, Materials and Structures (2016) 49:5021–5029.
- [3] PN-EN 1994-1-1 Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [4] Wang Y. C.: Deflection of Steel-Concrete Composite Beams with Partial Shear Interaction, Journal of Structural Engineering, 10/1998, 1159-1165.
- [5] Madaj A.: Doraźne nośność i sztywność na zginanie zespolonych belek stalowo-betonowych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005.

- [6] Furtak K.: Mosty zespolone, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Kraków, 1999. .
- [7] Nie J., Zhao J.: Flexural Behaviour of Steel-Concrete Composite Beams, Key Engineering Materials, Vols. 400-402, 2009, pp. 37-42.
- [8] Łapko A., Jensen B. C.: Podstawy projektowania i algorytmy obliczeń konstrukcji żelbetowych, Arkady, 2009.
- [9] El-Mihilmy M. T., Tedesco J. W.: Deflection of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Plates, ACI Structural Journal, 97/5, 2000, pp. 679-688.