

dr inż. Michał Musiał^{1)*}

ORCID: 0000-0001-6628-9749

mgr inż. Filip Grzymski¹⁾

ORCID: 0000-0003-2083-8946

mgr inż. Maciej Pazdan¹⁾

ORCID: 0000-0002-3959-6337

dr hab. inż. Tomasz Trapko, prof. uczelni¹⁾

ORCID: 0000-0002-6375-7145

Wybrane problemy zginania żelbetowych stropów gęstożebrowych wg PN-EN 15037

Selected bending problems of rib-and-block floors according to PN-EN 15037

DOI: 10.15199/33.2022.11.32

Streszczenie. Wprowadzenie PN-EN 15037 wymusiło m.in.: konieczność dostosowania dokumentacji technicznej, a także wprowadzenie zmian w geometrii i zbrojeniu oferowanych prefabrykatów. W artykule opisano problemy związane z dostosowaniem stropów Teriva do wymagań PN-EN 15037. Skoncentrowano się na nośności zgięciowej tych stropów. Zaproponowano sposób jej obliczania, który prowadzi do pewnych oszczędności w zbrojeniu (w stosunku do dotychczas stosowanego typszeregu belek), pomimo zwiększenia obciążeń.

Słowa kluczowe: strop gęstożebrowy; zginanie; żelbet.

Abstract. The implementation of PN-EN 15037 exacted i.a.: the necessity of the technical documentation updating, the introducing of geometry and reinforcement changes of offered prefabs. In the paper the problems concerning the adaptation of Teriva floors to the PN-EN 15037 requirements were described. The paper focused on bending load capacity of these floors. The method of the load capacity calculation was proposed. It leads to certain reduction of reinforcement (in relation to beams applying so far) despite loads increase.

Keywords: rib-and-block floor; bending; reinforced concrete.

Z względu na silne zakorzenie w tradycji [1] i bardzo dużą popularność stropów gęstożebrowych, wprowadzenie normy PN-EN 15037 w 2011 r. [2] absorbuje do dziś uwagę uczestników procesów budowlanych. W prasie technicznej można znaleźć wiele artykułów dotyczących tych zagadnień, np. w [3] opisano sposób obliczania stropów gęstożebrowych wg nowej normy, w [4] – analizy porównawcze w ograniczonym zakresie. Wiele artykułów dotyczy przedmiotowego problemu w sposób bardziej szczegółowy, np. w pracy [5] autorzy zaproponowali nową geometrię pustaków do stropów Teriva, zgodną z [2], a praca [6] dotyczy kratownicowego zbrojenia belek prefabrykowanych. Należy ponadto wspomnieć o artykułach, które nie są ściśle związane z przedmiotem artykułu, ale dotyczą innych istotnych problemów związanych z dostosowaniem przedmiotowych stropów do norm europejskich. Przykładem może być praca [7] poruszająca zagadnie-

nia akustyki. Co istotne, norma [2] w wielu miejscach powołuje się na Eurokod 0 [8] i 2 [9], dlatego też niezbędne jest rozpatrywanie zagadnień konstrukcyjnych stropów gęstożebrowych także na ich podstawie.

W artykule skoncentrowano się na nośności na zginanie stropów gęstożebrowych Teriva. Przeprowadzone przez nas obszernie i kompleksowe analizy były związane z opracowywaniem dokumentacji różnych typów stropów Teriva dla dużego zakładu prefabrykacji. Analizie poddano stropy o dotychczasowych nazwach handlowych: Teriva 4.0/1, Teriva 4.0/2, Teriva 4.0/3, Teriva 6.0 i Teriva 8.0. Liczby podane przy nazwie oznaczają obciążenie dopuszczalne ponad ciężar własny, jakie można przyłożyć do stropu [kN/m²].

Najważniejsze zmiany, z punktu widzenia opisywanych analiz, które wprowadziły nowe normy [2, 8, 9], to:

- dostosowanie sposobu obliczeń statyczno-wytrzymałościowych, np. kombinacje obciążeń i współczynniki obciążeń zgodne z [8];

- potrzeba zwiększenia obciążenia zewnętrznego z 4,0 do 4,5 kN/m² (w efekcie dostosowania stropy o indek-

sie nośności 4.0 zmieniły swoją nazwę handlową na Teriva 4.5);

- potrzeba zwiększenia grubości nadbetonu z 30 do 40 mm w stropie Teriva 4.5/1 (dawniej Teriva 4.0/1) – zalecenie konstrukcyjne wg [2];

- zmiana geometrii pustaków – zalecenie konstrukcyjne wg [2].

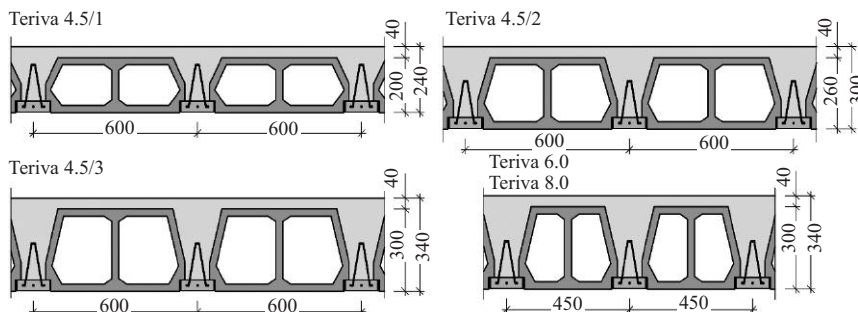
W celu wyeliminowania potencjalnie groźnych błędów wykonawczych producent zdecydował się na unifikację zbrojenia belek. Po przeprowadzeniu obliczeń i optymalizacji zbrojenia wszystkich pięciu typów stropu wybrano jedno maksymalne zbrojenie do danej rozpiętości, i tak np. we wszystkich typach stropów Teriva o rozpiętości 6,0 m przyjęto zbrojenie belek jak w przypadku stropu Teriva 4.5/1, gdyż to ono było maksymalne (ze względu na najmniejszą wysokość konstrukcji – 240 mm). Przekroje poprzeczne konstrukcji wszystkich typów stropów Teriva wraz z głównymi wymiarami pokazano na rysunku 1.

Główne założenia wstępne

Zbrojenie wszystkich belek składa się ze zgrzewanej stalowej kratownicy przestrzennej i ewentualnego pręta do-

¹⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

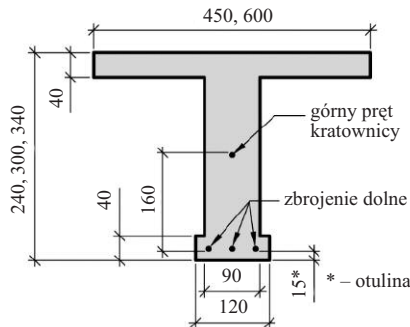
* Adres do korespondencji: michal.musial@pwr.edu.pl



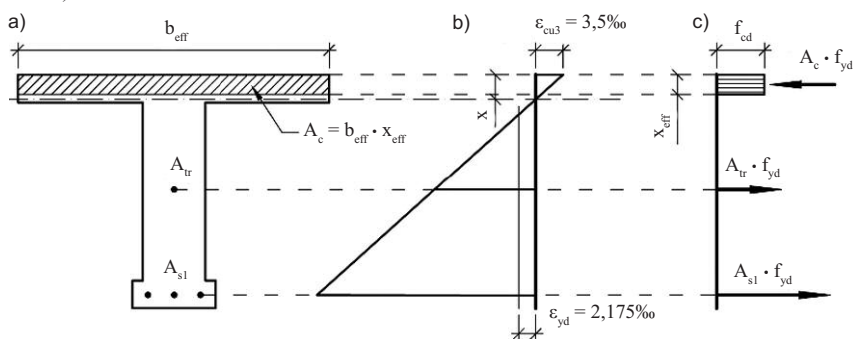
Rys. 1. Przekroje stropów Teriva (wymiarów w mm)
Fig. 1. The cross-sections of Teriva floors (dimensions in mm)

datkowego, usytuowanego pomiędzy prętami dolnymi tej kratownicy. Ze względów technologicznych zastosowano trzy typy kratownic o zróżnicowanym zbrojeniu dolnym: 2#6, 2#10 lub 2#14. Pręty diagonalne i pręt górny we wszystkich typach kratownic miały odpowiednio średnicę #5 i #8. Stosując jedną kratownicę oraz ewentualny pręt dodatkowy, starano się zapewnić ekonomiczne, a jednocześnie bezpieczne i racjonalne wyłożenie zbrojenia w każdej z belek. Stopniowanie średnic prętów dolnych kratownicy co 4 mm miało na celu zminimalizowanie możliwości popełnienia pomyłki w czasie produkcji. Należy zaznaczyć, że aktualne przepisy [2, 9] uniemożliwiają zastosowanie więcej niż jednego pręta dodatkowego między prętami dolnymi kratownicy. Dotychczas w praktyce stosowano nawet po dwa pręty dodatkowe. Uznać to należy za błąd konstrukcyjny, który może prowadzić do powstawania rys podłużnych w belkach (szczególnie na etapie produkcji, transportu i montażu), ze względu na zbyt małą odległość prętów.

W analizach stanu granicznego nośności na zginanie (z wykorzystaniem [10]) przyjęto założenia zgodne z [2, 9]. Obliczeniowy przekrój poprzeczny wraz z najistotniejszymi wymiarami pokazano na rysunku 2. W obliczeniach zastosowano sprężysto-idealnie plastyczny model stali zbrojeniowej (obliczeniowa granica plastyczności $f_{yd} = 435$ MPa, odkształcenie plastyczne $\epsilon_{yd} = 2,175\%$). W przekroju poprzecznym przyjęto odkształcenia i układ sił jak na rysunku 3. Założono prostokątny rozkład naprężeń w ściskanym betonie. Beton charakteryzował się wytrzymałością obliczeniową na ściskanie $f_{cd} = 14,3$ MPa (klasa C20/25) i odkształceniem granicznym $\epsilon_{cu3} = 3,5\%$.

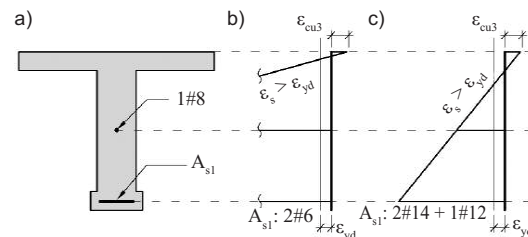


Rys. 2. Obliczeniowy przekrój poprzeczny (wymiarów w mm)
Fig. 2. The design cross-section (dimensions in mm)



Rys. 3. Przekrój obliczeniowy (a) z rozkładem odkształceń (b) i sił (c)
Fig. 3. The design cross-section (a) with the strains (b) and forces distributions (c)

Przykładowe rozkłady odkształceń stropów Teriva 6.0 i 8.0 pokazano na rysunku 4. Rozkłady te uwzględniają dwa skrajne pola przekroju zbrojenia stosowanego w stropie Teriva (zbrojenie najmniejsze 2#6 i zbrojenie największe 2#14+1#12). W przypadku maksymalnego zastosowanego zbrojenia uzyskano największą wysokość strefy ścisanej, a w konsekwencji najmniejsze odkształcenia w zbrojeniu. Stwierdzono jednak, że nawet wówczas odkształcenia rozciągające w górnym pręcie kratownicy przekraczają odkształcenie plastyczne ϵ_{yd} . W procesie sprawdzania nośności/wymiarowania na zginanie można zatem założyć, że naprężenia rozcią-



Rys. 4. Przekrój obliczeniowy (a) oraz przykładowe rozkłady odkształceń w przypadku najmniejszego (b) i największego (c) zbrojenia w stropach Teriva 6.0 i 8.0
Fig. 4. The cross-section (a) and the exemplary stress distributions for the lowest (b) and the highest (c) reinforcement ratio in Teriva 6.0 and 8.0 floors

gające w górnym pręcie kratownicy wynoszą f_{yd} (pręt ten jest zatem w pełni wykorzystany). Udział tego pręta w nośności na zginanie, w zależności od typu stropu, zestawiono w tabeli. Udział jest tym większy, im mniejsze jest pole zbrojenia zastosowane przy dolnej krawędzi belki i w skrajnym przypadku sięga przeszło 30%. Należy zaznaczyć, że w obliczeniach takich konstrukcji zwyczajowo uwzględnia się tylko zbrojenie skoncentrowane przy dolnej krawędzi.

Udział pręta górnego kratownicy w nośności stropu na zginanie

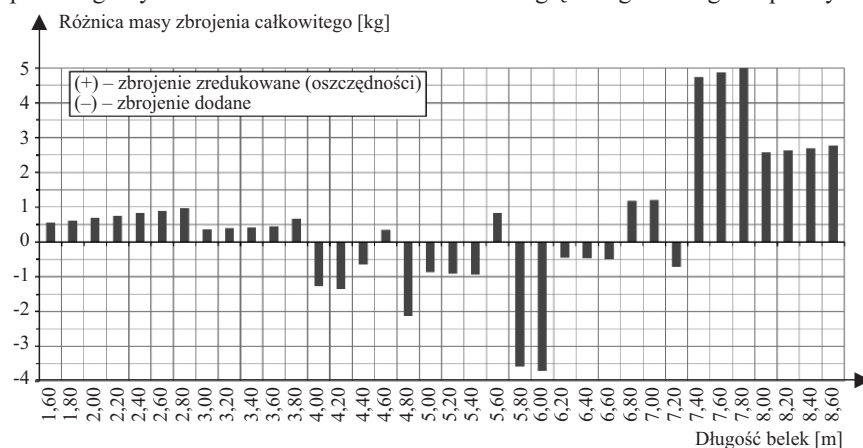
The impact of the upper truss rebar on bending load capacity

Typ stropu Teriva	4.5/1	4.5/2	4.5/3	6.0, 8.0
Udział pręta w nośności [%]	3 – 21	4 – 28	5 – 31	5 – 31

Wobec przedstawionych wyników analiz można to uznać za działanie nieekonomiczne, szczególnie że mamy w tym przypadku do czynienia z zastosowaniem stropów na skalę masową. Istotne jest jednak, aby każdorazowo zweryfikować układ odkształceń w przekroju, aby ustalić, czy odkształcenia w górnym pręcie kratownicy nie są mniejsze niż odkształcenie plastyczne ϵ_{yd} .

Wybrane wyniki obliczeń

Zaprojektowanie nowego typoszeregu belek wg norm europejskich [2, 8, 9] przyniosło zgodnie z opisanymi założeniami, w przypadku niektórych belek, oszczędności w zbrojeniu w porównaniu z dotychczas produkowanymi. Ponadto należy podkreślić, że nowy strop przystosowano do obciążeń większych o 0,5 kN/m² w porównaniu ze starym stropem. Na rysunku 5 pokazano różnicę między całkowitą masą „starego” i „nowego” zbrojenia w przypadku poszczególnych belek. Wartości dodat-



Rys. 5. Różnice w zbrojeniu („starym” i „nowym”) w przypadku poszczególnych długości belek

Fig. 5. The differences of the reinforcement („old” and „new” ones) for different beams’ lengths

nie oznaczają redukcję masy zbrojenia (oszczędność, pomimo obciążeń zwiększonych o 0,5 kN/m²), natomiast wartości ujemne zwiększenie masy zbrojenia. W przypadku belek o długości do 3,80 m nowe zbrojenie jest lżejsze niż stosowane dotychczas o ok. 0,5 – 1,0 kg. W przypadku belek o rozpiętości 4,00 – 7,20 m należy zastosować więcej zbrojenia (maksymalnie o 3,70 kg w przypadku belki o rozpiętości 6,00 m). Jest to podyktowane przede wszystkim większymi obciążeniami. Niestety, są to rozpiętości stosowane najpowszechniej. Belki o największej długości (większej od 7,20 m) mają w nowej wersji zredukowaną ilość zbrojenia o 2,5 – 5,0 kg.

Należy zaznaczyć, że norma [2] podaje uproszczoną zależność na nośność na zginanie belki M_{Rd} systemu stropowego o postaci:

$$M_{Rd} = 1/\gamma_R \cdot F_A \cdot (d - 1/2 \cdot (F_A/b_{eff} \cdot f_{cd})) \quad (1)$$

gdzie:

γ_R – globalny współczynnik bezpieczeństwa dla momentu granicznego ($\gamma_R = 1,10$);
 d – wysokość użyteczna przekroju żelbetowego;
 b_{eff} – efektywna szerokość strefy ściskanej, w rozpatrywanych przypadkach 600 lub 450 mm;
 f_{cd} – wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie;
 F_A – charakterystyczna nośność zbrojenia o polu przekroju A_{s1} i $f_{yk} = 500$ MPa ($F_A = A_{s1} \cdot f_{yk}$).

Norma [2] proponuje zastosowanie globalnego współczynnika bezpieczeństwa 1,10 i przeprowadzenie obliczeń dla charakterystycznej granicy plastyczności stali zbrojeniowej. Podejście zaproponowane w artykule (zgodne z [9]) nie uwzględnia globalnego współczyn-

że wprowadzenie normy [2] datowane jest na 2011 r., zlecenie realizowano w ostatnich miesiącach. Co ciekawe, Autorzy zauważyli, że jednym z powodów aktualizacji dokumentacji i modernizacji linii produkcyjnych była presja konkurencji i dbałość o wizerunek marketingowy przedsiębiorstwa.

W obliczeniach istotne okazało się uwzględnienie udziału górnego pręta kratownicy zbrojeniowej w nośności na zginanie. Pozwoliło to, w przypadku niektórych belek, na pewne oszczędności w zbrojeniu (pomimo zwiększenia obciążenia). Udział górnego pręta kratownicy zbrojeniowej w nośności na zginanie sięga bowiem nawet 31%.

Należy ponadto wspomnieć, że przedmiotem analiz były też inne, nieopisane w artykule, stany graniczne nośności (na ścinanie i rozwarstwienie) oraz użytkowalności (ugięcia i zarysowania). Stan graniczny nośności na zginanie okazał się decydujący w zdecydowanej większości analizowanych stropów.

Literatura

- [1] Ahnert R, Krause K. Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960. Gründungen, Wände, Decken, Dachtragwerke. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen; 1986.
- [2] PN-EN 15037:2011. Prefabrykaty z betonu – Belkowo-pustakowe systemy stropowe.
- [3] Drobiec Ł, Pająk Z. Zasady obliczeń stropów gęstożebrowych. Materiały Konferencji XXXIII Ogólnopolskie warsztaty pracy projektanta konstrukcji. 2018; 239-94.
- [4] Ksit B, Jasiczak J, Kotlarz R. Stropy gęstożebrowe według polskich norm i Eurokodów – analiza różnic na wybranych przykładach. Budownictwo i Inżynieria Środowiska. 2011; 2 (3): 327 – 9.
- [5] Jarmontowicz R, Sieczkowski J. Stropy TERIVA-E w świetle Eurokodów i normy PN-EN 15037. Przegląd Budowlany. 2013; 84 (4): 48 – 50.
- [6] Jarmontowicz R. Nowe kratownice stalowe do belek stropowych TERIVA-E. Materiały Budowlane. 2012; 482: 20-1, 33.
- [7] Jarmontowicz R. Ocena właściwości akustycznych stropów belkowo-pustakowych zgodnie z normą PN-EN 15037-1:2011. Materiały Budowlane. 2013; 492: 18 – 9, 24.
- [8] PN-EN 1990:2004. Eurokod – Podstawy projektowania.
- [9] PN-EN 1992-1-1:2008. Eurokod 2 – Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [10] Kamińska ME. Projektowanie konstrukcji wg Eurokodów (2). PN-EN 1992-1-1. Stan graniczny nośności przekroju obciążonego momentem zginającym i siłą podłużną. Kwartalnik Łódzki. 2012; 37: 13-26.

Przyjęto do druku: 07.10.2022 r.