

dr inż. Michał Musiał¹⁾

ORCID: 0000-0001-6628-9749

mgr inż. Filip Grzymiski^{1)*}

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 ugięć żelbetowych stropów gęstożebrowych wg PN-EN 15037

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

DOI: 10.15199/33.2022.11.51

Streszczenie. Artykuł opisuje zagadnienia związane z wdrażaniem norm europejskich serii PN-EN w zakresie projektowania i wykonywania stropów gęstożebrowych, które wymusiły konieczność dostosowania dokumentacji technicznej oraz geometrii i zbrojenia oferowanych prefabrykatów stropowych. Celem artykułu jest wskazanie głównych problemów projektowych związanych z obliczaniem ugięć stropów gęstożebrowych według normy PN-EN 15037, które przedstawiono na przykładzie stropów typu Teriva.

Słowa kluczowe: strop gęstożebrowy, Eurokod, stan graniczny użytkowalności, ugięcie.

Abstract. The article describes the issues related to the implementation of the European PN-EN series standards in the field of design and construction of rib-and-block floors, which forced changes in technical documentation as well as the geometry and reinforcement of the offered floor prefabricates. The aim of the article is to indicate the main design problems related to the calculation of deflections of rib-and-block floors according to the PN-EN 15037, that is presented on the example of Teriva floors.

Keywords: rib-and-block floor, Eurocode, Serviceability Limit State, deflection.

Stropy gęstożebrowe są jednym z najczęściej wybieranych rozwiązań technicznych w budownictwie mieszkaniowym oraz użyteczności publicznej [1] ze względu na ich niewątpliwe zalety związane z nieskomplikowaną technologią wykonania, brakiem konieczności stosowania zaawansowanych narzędzi i sprzętu oraz dosyć niski koszt. Wprowadzenie zharmonizowanych wytycznych europejskich w postaci norm serii EN 15037 [2, 3] oraz Eurokodów, a w szczególności serii 0 [4], 1 [5] i 2 [6] spowodowało konieczność wprowadzenia zmian w wymiarowaniu i kształtowaniu tych powszechnie stosowanych systemów stropowych, co pociągnęło za sobą konieczność aktualizacji ofert ich producentów. Od wprowadzenia nowych norm [2, 3] ukazało się w krajowej prasie naukowo-technicznej wiele artykułów, wskazujących podstawowy zakres zmian oraz różnice w porównaniu z poprzed-

nimi wytycznymi [7–9]. Ze względu na natężenie zmian pojawiły się również artykuły będące szczegółowym komentarzem do konkretnych zagadnień związanych ze stropami gęstożebrowymi, takich jak kształtowanie stropów gęstożebrowych ceramiczno-żelbetowych [10], kształtowanie kratownic stalowych do belek stropowych [11], właściwości akustyczne stropów [12, 13], czy metoda sprawdzania rozstawu podpór montażowych [14].

W artykule przedstawimy zagadnienia związane ze stanem granicznym użytkowalności stropów gęstożebrowych ze względu na ich ugięcia. W przypadku stropów gęstożebrowych projektowanych wg PN-EN 15037-1 [2] należy sprawdzić te same stany graniczne użytkowalności ze względu na ugięcia, jak w przypadku konstrukcji żelbetowych projektowanych zgodnie z Eurokodem 2 [6]. Dodatkowe wymagania narzucone przez normę PN-EN 15037-1 [2] ponad wymagania Eurokodu 2 [6] są związane przede wszystkim z ograniczeniem czynnego ugięcia stropu, aby uniknąć uszkodzenia np. ścianek działowych. Ugięcia czynne stanowią

różnicę pomiędzy ugięciem całkowitym a ugięciem, które następuje w czasie pomiędzy usunięciem podparcia montażowego a ułożeniem kruchego wykończenia stropu. Norma PN-EN 15037-1 [2] podaje kolejno trzy wartości dopuszczalnych ugięć czynnych:

- **L/500** w przypadku ścianek działowych murowanych i/lub kruchego wykończenia stropu (L – rozpiętość stropu w świetle podpór – nie jest to rozpiętość efektywna, tak jak w przypadku Eurokodu 2 [6]);

- **L/350** w przypadku innych ścianek działowych i/lub niekruchego wykończenie stropu;

- **L/250** w przypadku elementów dachowych; podaną wartość należy naszym zdaniem odczytywać jako dotyczącą elementów dachowych bez wykończenia wewnętrznego, które mogłoby ulec zniszczeniu w wyniku uginania się stropu.

Należy zaznaczyć, że ugięcia czynnego nie można zredukować strzałką odwrotną ugięcia, gdyż nie jest ważna wartość końcowego przemieszczenia danego przekroju belki, a sam fakt uginania się stropu. Ograniczenie ugięcia

¹⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*)} Adres do korespondencji: filip.grzymiski@pwr.edu.pl

czynnego stropu jest zwykle najtrudniejszym do spełnienia warunkiem przy projektowaniu opisywanych stropów.

Zakres badań

Przeprowadzono kompleksowe analizy obliczeniowe jednego z najpopularniejszych systemów stropów gęstożebrowych – Teriva. Obliczenia dotyczyły wszystkich dostępnych typów stropów – Teriva 4.0/1, Teriva 4.0/2, Teriva 4.0/3, Teriva 6.0 i Teriva 8.0. Geometrię dotychczasowych stropów dopasowano do obowiązujących wytycznych [2, 3], a w przypadku stropów Teriva 4.0 zwiększono dopuszczalne obciążenie ponad ciężar własny stropu z 4,0 kN/m² do 4,5 kN/m² (zmieniając przy tym ich nazwę handlową na Teriva 4.5). Po przeprowadzeniu obliczeń stanów granicznych nośności stropów wg wytycznych [2–6] dobrano optymalne zbrojenie belek stropowych i na podstawie tych danych przystąpiono do sprawdzenia ugięcia wszystkich typów stropów. W artykule przedstawiono przykładowe wyniki analiz dla stropu Teriva 4.5/3 (rozstaw belek 600 mm, wysokość stropu 340 mm), jako jednego z przedstawicieli grupy stropów o zakresie obciążeń typowych dla budownictwa mieszkaniowego.

Procedura obliczania ugięcia stropu gęstożebrowego wg PN-EN 15037-1 [2]

W Załączniku E normy PN-EN 15037-1 [2] przedstawiono procedurę obliczania ugięć czynnych stropu gęstożebrowego. Obciążenia, które są brane pod uwagę w obliczeniach, to: ciężar własny stropu; obciążenie stałe od elementów opartych na stropie (ścianki działowe, sufity podwieszane itp.); obciążenia stałe przy-

łożone do stropu przed i po wykonaniu kruchego wykończenia stropu oraz długotrwała i krótkotrwała część obciążeń użytkowych. Ugięcie czynne stropu jest obliczane z ogólnego wzoru (1):

$$f_a = w_t - w_a, \tag{1}$$

gdzie:
 f_a – czynne ugięcie stropu;
 w_t – ugięcie całkowite;
 w_a – ugięcie, które występuje natychmiast po ułożeniu kruchego wykończenia stropu.

Ugięcie całkowite w_t jest obliczane z uwzględnieniem wszystkich obciążeń mechanicznych oraz skurczu betonu. Z kolei ugięcie w_a powstaje pod wpływem ciężaru własnego stropu, obciążenia stałego od elementów opartych na stropie (np. ścianek działowych), obciążenia stałego przyłożonego przed wykonaniem kruchego wykończenia stropu oraz skurczu betonu. Ponadto ugięcie w_a zależy od czasu pomiędzy usunięciem podpór montażowych a ułożeniem kruchego wykończenia stropu i jest obliczane ze wzoru (2):

$$w_a = w_1 + \psi (w_2 - w_1) \tag{2}$$

gdzie:
 w_1 – ugięcie, które występuje natychmiast po ułożeniu kruchego wykończenia stropu, zaraz po usunięciu podpór montażowych;
 w_2 – ugięcie, które występuje natychmiast po ułożeniu kruchego wykończenia stropu, ale po długim czasie od usunięcia podpór montażowych;
 ψ – współczynnik interpolacji, którego wartość wynosi 0–0,5, obliczany na podstawie czasu t .

Zależności pozwalające obliczyć ugięcia w_t , w_1 , w_2 podane są w PN-EN 15037-1 [2]. Są one rozbudowane, dlatego nie przytoczono ich wprost w artykule. Dodatkowo, należy zaznaczyć, że w polskiej wersji językowej normy [2] we wzorze na ugięcie w_2 znajduje się błąd – składnik sumy związany ze skur-

czem nie powinien być mnożony przez 2/5. Wzór (3) – zapisany poprawnie:

$$\frac{\epsilon_{cs} L^2}{8d}, \tag{3}$$

gdzie:
 ϵ_{cs} – odkształcenia skurczowe;
 L – rozpiętość stropu w świetle podpór;
 d – wysokość użyteczna przekroju.

Ponadto, istnieje rozbieżność pomiędzy opisem ugięcia w_a w polskiej wersji językowej PN-EN 15037-1 [2] a tym samym opisem w angielskiej wersji językowej, w której opis jest poprawny. Różnicę tę przedstawiono w tabeli.

Z analizy wzoru (2) wynika, że różnica ($w_2 - w_1$) reprezentuje ugięcia długotrwałe, wynikające z pęcznienia betonu od wszystkich obciążeń stałych (włącznie z ciężarem własnym stropu), przyłożone przed wykonaniem kruchego wykończenia stropu. W dalszej części artykułu ugięcia te oznaczono przez w_{creep} . Ze względu na to, że podejście do obliczania ugięć w PN-EN 15037-1 [2] jest nietypowe i nieco odmienne niż w PN-EN 1992-1-1 [6], opracowano diagram (rysunek 1) ilustrujący ten problem. Rozpatrzono dwa skrajne przypadki:

1) przypadek niekorzystny, gdy kruche wykończenie stropu jest wykonane zaraz po usunięciu podpór montażowych ($t = 0, \psi = 0$);

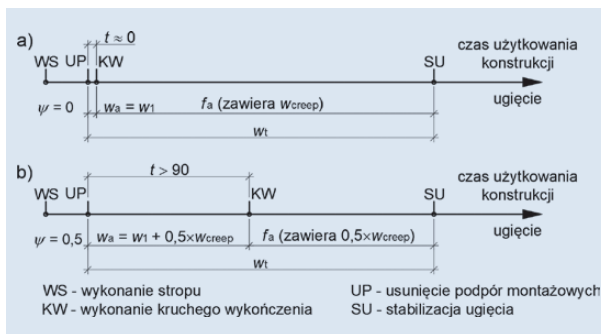
2) przypadek korzystny, gdy kruche wykończenie stropu wykonane jest po długim czasie po usunięciu podpór montażowych ($t > 90, \psi = 0,5$).

Z rysunku 1 wynika, że w przypadku, gdy kruche elementy zostaną wykonane bezpośrednio po usunięciu podpór montażowych, należy w ugięciu czynnym uwzględnić ugięcia reologiczne w_{creep} w całości (przypadek a). Natomiast gdy procesy reologiczne

Porównanie opisu ugięcia w_a w polskiej i angielskiej wersji językowej normy [2]

Comparison of the w_a deflection description in Polish and English versions of the standard [2]

Angielska wersja językowa	Polska wersja językowa
„[...] the deflection evaluated immediately after the erection of the elements supported with regards to which the deformation is checked [...]”	„[...] ugięciem wyznaczonym bezpośrednio po zakończeniu procesu podparcia montażowego [...]”
„[...] ugięciem w_a wyznaczonym bezpośrednio po wzniesieniu elementów podpieranych, w odniesieniu do których sprawdzane są deformacje [...]”	



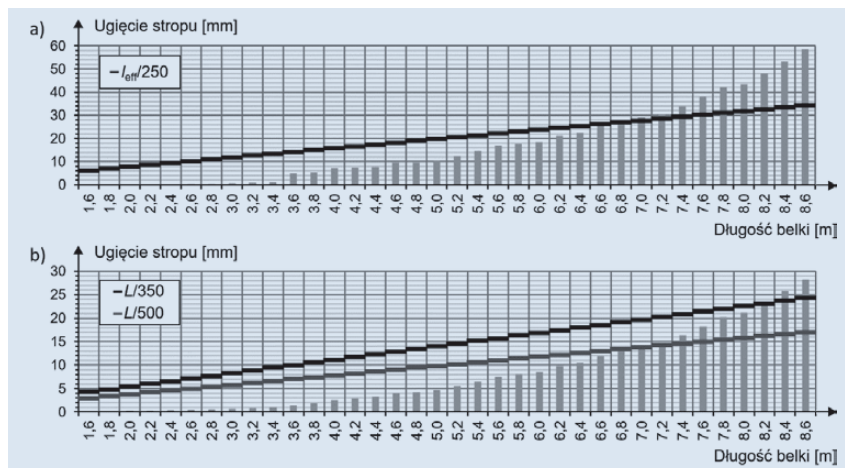
Rys. 1. Schemat do obliczania ugięć czynnych
 Fig. 1. Diagram for calculating active deflections

związane z pęłaniem betonu w części wygasną (po ponad 90 dniach), zaleca się uwzględnić jedynie 50% tych efektów (przykład b).

Analizy autorów

Przeprowadziliśmy wiele obliczeń i analiz związanych z ugięciami w stropach gęstożebrowych z belkami ze stalowymi kratownicami. Obliczenia te są częścią projektu komercyjnego i dotyczą belek o różnej rozpiętości, stopniu zbrojenia i poddanych obciążeniom o różnej wartości. Na rysunku 2a zestawiono ugięcia (szare słupki) przykładowego stropu Teriva-E 4.5/3, które zostały obliczone wg PN-EN 1992-1-1 [6] w przypadku kombinacji quasi-stałej, przy ograniczeniu $l_{\text{eff}}/250$ (oznaczone na rysunku 2a czarnymi paskami). Z kolei na rysunku 2b przedstawiono ugięcia czynne tego samego stropu (obliczone wg PN-EN 15037-1 [2]) wraz z odpowiednimi ograniczeniami ugięć – L/350 oraz L/500 (oznaczone na rysunku 2b kolejno czarnymi i szarymi paskami). Wszystkie obliczenia dotyczą betonu C20/25, zewnętrznego obciążenia charakterystycznego $4,5 \text{ kN/m}^2$ oraz przy założeniu, że czas pomiędzy usunięciem podpór montażowych a ułożeniem kruchego wykończenia jest dłuższy niż 90 dni.

Jak wynika z rysunku 2, dopuszczalne ugięcie obliczone wg PN-EN 1992-1-1 [6] zostaje przekroczone w przypadku belek o długości ok. 7 m. Natomiast wg normy PN-EN 15037-1 [2] ograniczenie ugięcia czynnego L/500 zostaje osiągnięte również w przypadku belek o długości ok. 7 m, ale w przeciwieństwie do ugięcia sprawdzanego wg PN-EN 1992-1-1 [6], ugięcia czynnego nie można wyeliminować ani zredukować przez zastosowanie strzałki odwrotnej ugięcia, co prowadzi do dodatkowych trudności przy projektowaniu stropu. Ograniczenie ugięcia czynnego L/500 w przypadku dłuższych belek jest zwykle najtrudniejszym do spełnienia warunkiem przy projektowaniu stropów gęstożebrowych. Wówczas jedynym rozwiązaniem może okazać się uciągnięcie przęsła stropu, co zostało zastosowane w przypadku stropu Teriva-E 4.5/1 w przypadku belek o długości od 6,2 m włącznie. Innym rozwiązaniem problemu nadmiernego uginania się stropu może być dosztywnienie konstrukcji przez



Rys. 2. Ugięcie stropu: a) obliczone wg PN-EN 1992-1-1 [6]; b) czynne obliczone wg PN-EN 15037-1 [2]

Fig. 2. Floor deflections: a) calculated according to PN-EN 1992-1-1 [6]; b) active, calculated according to PN-EN 15037-1 [2]

zastosowanie np. podwójnych belek. Ograniczenie ugięcia czynnego – L/350 nie stanowi z kolei aż tak poważnego problemu. Dopuszczalne ugięcie zostało przekroczone w przypadku najdłuższej belki o ok. 16%, a więc jedynie stropy o największych rozpiętościach mogą wymagać indywidualnego podejścia.

Podsumowanie

Ograniczenie ugięcia czynnego stropów gęstożebrowych o dużej rozpiętości jest zwykle najtrudniejszym do spełnienia warunkiem w procesie projektowania takich stropów. Często wyłącznymi rozwiązaniami tego problemu mogą okazać się uciągnięcie przęsła stropu (Teriva-E 4.5/1) lub zastosowanie dodatkowych elementów usztywniających, projektowanych indywidualnie. W związku z tym w przypadku opisywanych stropów warto przewidzieć, już na etapie koncepcji, jakie ściany działowe będą zastosowane w budynku, i w których przypadkach ugięcia czynne mogą stanowić ewentualne problemy. Ograniczenia ugięcia wg normy PN-EN 15037-1 [2] są restrykcyjne, a więc ostatecznie kluczowe przy interpretacji wyników może okazać się doświadczenie projektanta.

Literatura

- [1] Pająk Z, Drobiec Ł. Zasady obliczeń stropów gęstożebrowych. XXXIII Ogólnopolskie Warsztaty Projektanta Konstrukcji. 2018. 239-294.
- [2] PN-EN 15037-1:2011. Prefabrykaty z betonu – Belkowo-pustakowe systemy stropowe – Część 1: Belki.

- [3] PN-EN 15037-2:2011. Prefabrykaty z betonu – Belkowo-pustakowe systemy stropowe – Część 2: Pustaki betonowe.
- [4] PN-EN 1990:2002. Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji.
- [5] PN-EN 1991-1-1:2002. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-1: Oddziaływania ogólne – Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- [6] PN-EN 1992-1-1:2004. Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [7] Jarmontowicz R, Sieczkowski J. Zmiany wymagań dotyczących stropów TERIVA wynikające z normy PN-EN 15037. Materiały Budowlane. 2012; 5:12-14.
- [8] Jarmontowicz R, Sieczkowski J. Stropy TERIVA-E w świetle Eurokodów i normy PN-EN 15037. Przegląd Budowlany. 2013; 4:48-50.
- [9] Jarmontowicz R, Sieczkowski J. Właściwości stropów TERIVA i TERIVA-E są nieporównywalne. Materiały Budowlane. 2016; 8:145 DOI: 10.15199/33.2016.08.43.
- [10] Jarmontowicz R. Ceramiczno-żelbetowe stropy belkowo-pustakowe w świetle wymagań normy PN-EN 15037 i Eurokodów. Materiały Budowlane. 2012; 10:42-46.
- [11] Jarmontowicz R. Nowe kratownice stalowe do belek stropowych TERIVA-E. Materiały Budowlane. 2012; 10:20-21,33.
- [12] Szudrowicz B. Właściwości akustyczne stropów belkowych z pustakami ceramicznymi w świetle PN-EN 15037-1:2011 oraz badań laboratoryjnych. Materiały Budowlane. 2014; 8:33-36.
- [13] Jarmontowicz R. Ocena właściwości akustycznych stropów belkowo-pustakowych zgodnie z normą PN-EN 15037-1:2011. Materiały Budowlane. 2013; 8:18-19,24.
- [14] Abramowicz M, Romanowski P. Metodologia sprawdzania rozstawu podpór montażowych dla prefabrykowanych belek stropowych według normy PN-EN 15037-1:2011, na przykładzie belek systemu Teriva. Dni Betonu 2012. 2012. 1-10.

Przyjęto do druku: 22.09.2022 r.