

PREFABRYKATY

wytwarzane w oparciu o normę PN-EN 1340
w badaniach zakładowego laboratorium

Przedmiotem artykułu jest przybliżenie sposobu wyznaczania tzw. podstawowych charakterystyk geometrycznych przykładowego krawężnika prostego „15”

dr inż. Grzegorz Śmierzka,

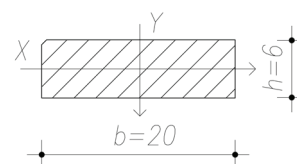
*Dyrektor ds. produkcji ZPB
Kaczmarek*

W wejście Polski do Unii Europejskiej, 1 maja 2004 r., umożliwiło wykorzystanie przez największą gałąź gospodarki, jaką jest budownictwo, szeregu zharmonizowanych norm technicznych, dostępnych od dawna w krajach wspólnoty. Opublikowane 11 sierpnia tego samego roku dwa rozporządzenia Ministra Infrastruktury – w sprawie systemów oceny zgodności, wymagań jakie powinny spełniać notyfikowane jednostki uczestniczące w ocenie zgodności oraz sposobu oznaczania wyrobów budowlanych oznakowaniem CE; a także w sprawie sposobów deklarowania zgodności wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym – uporządkowały stan prawny w kraju. W przytoczonych aktach prawnych, Ustawodawca nałożył na Producentach betonowej galanterii drogowej obowiązek wykonania przed wprowadzeniem do obrotu wyrobów budowlanych, zgodnie z systemem oceny zgodności 4, tzw. badań typu oraz wdrożenie i prowadzenie bieżącej kontroli w oparciu o zapisy Zakładowej Kontroli Produkcji. Większość procedur badawczych, jakim należy poddawać wytwarzane prefabrykaty, zapisano w normach PN-EN. W większości przypadków podane algorytmy umożliwiają, przy użyciu odpowiedniej aparatury badawczej, bezproblemowe określenie cech techniczno-użytkowych prefabrykatów. Jednakże w sporadycznych sytuacjach można napotkać na wielkości geometryczne, do wyznaczenia których niezbędna okazuje się wiedza z I roku studiów technicznych, z przedmiotu najczęściej zwanego mecha-

niką ogólną. Stąd też idea przybliżenia sposobu wyznaczania tzw. podstawowych charakterystyk geometrycznych, tj. momentu bezwładności, wskaźnika na zginanie bądź środka ciężkości dla przekroju poprzecznego, przykładowego krawężnika prostego „15”.

PRZYGOTOWANIE DANYCH DO NORMOWEGO BADANIA KRAWĘŻNIKÓW NA ZGINANIE

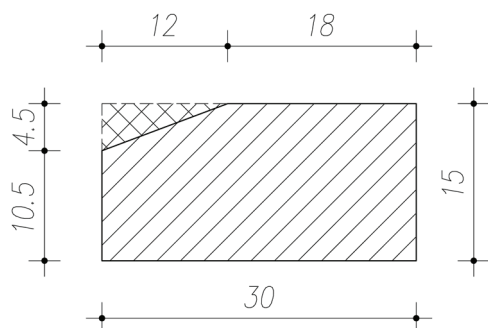
Większość stosowanych maszyn wytrzymałościowych automatycznie podaje, po uprzednim wprowadzeniu przez Laboranta niezbędnych charakterystyk geometrycznych prefabrykatów, maksymalne naprężenia – wytrzymałości na zginanie, osiągnięte w chwili zniszczenia prefabrykatów. Wśród prefabrykatów drogowych, wytwarzanych w oparciu o normę PN-EN 1340:2004/AC:2007 „Krawężniki betonowe. Wymagania i metody badań”, dla obrzeży i oporników z powodu ich prostego kształtu – prostokąta, podstawowe dane, takie jak moment bezwładności bądź wskaźnik na zginanie, można odczytać z tablic lub wyliczyć za pomocą prostych wzorów matematycznych (rys. 1):



Rys. 1. Przekrój poprzeczny obrzeża 6x20x100 cm jednostronnie fazowanego

$I_x = b \cdot h^3 / 12$ – moment bezwładności przekroju prostokąta względem osi X,

$W_x = b \cdot h^2 / 6$ – wskaźnik na zginanie przekroju prostokąta względem osi X.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny krawężnika prostego 15x30x100

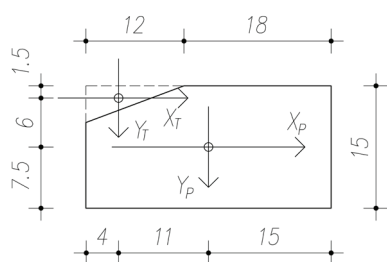
Problem jednakże pojawia się w momencie, kiedy badaniu poddajemy próbkę o kształcie innym od typowego prostokątnego, takim jak krawężnik prosty „15” – rys. 2. Projektowany skos diametralnie zmienia „sztywność” prefabrykatu w porównaniu do elementu o zewnętrznych wymiarach poprzecznych 15 cm x 30 cm, jedynie fazowanych, co bezwzględnie należy uwzględnić w obliczeniach charakterystyk geometrii figur płaskich.

Przystępując więc do oceny zgodności z wymaganiami normy PN-EN 1340, w pierwszej kolejności należy obliczyć pola powierzchni figur składowych (P – prostokąt, T – trójkąt), jak i ich sumy bądź różnicy:

$$A_p = 15 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} = 450 \text{ cm}^2$$

$$A_T = 12 \text{ cm} \cdot 4,5 \text{ cm} \cdot 0,5 = 27 \text{ cm}^2$$

$$„\Sigma”A_i = A_p + A_T = 450 \text{ cm}^2 + (-27 \text{ cm}^2) = 423 \text{ cm}^2$$

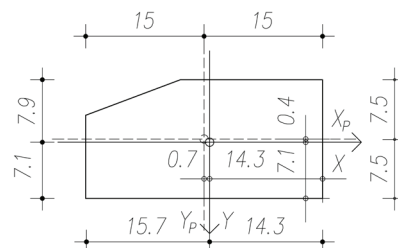


Rys. 3. Schemat do wyznaczenia charakterystyk geometrycznych krawężnika prostego 15x30x100

a następnie wyznaczyć momenty statyczne pól powierzchni wszystkich figur składowych, zgodnie z rys. 3, względem założonych osi (np.: X_p , Y_p):

$$S_{xp} = 15 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} \cdot 0 \text{ cm} + 12 \text{ cm} \cdot 4,5 \text{ cm} \cdot 0,5 \cdot 6 \text{ cm} = 162 \text{ cm}^3$$

$$S_{yp} = 30 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm} \cdot 0 \text{ cm} + 4,5 \text{ cm} \cdot 12 \text{ cm} \cdot 0,5 \cdot 11 \text{ cm} = 297 \text{ cm}^3$$



Rys. 4. Umiejscowienie środka ciężkości krawężnika 15x30x100

Środek ciężkości układu można wyznaczyć, zgodnie z rys. 4., w oparciu o zależność:

$$y = S_{xp} / „\Sigma”A_i = 162 \text{ cm}^3 / 423 \text{ cm}^2 = 0,38 \text{ cm},$$

$$x = S_{yp} / „\Sigma”A_i = 297 \text{ cm}^3 / 423 \text{ cm}^2 = 0,70 \text{ cm}.$$

Ostatecznie momenty bezwładności, wyliczone na podstawie twierdzenia Steiner’a, względem głównych osi X, Y wynoszą:

$$I_x = \left(\left(\frac{30 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm}^3}{12} \right) + 30 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm} \cdot (-0,38 \text{ cm})^2 \right) + \left(\left(\frac{12 \text{ cm} \cdot 4,5 \text{ cm}^3}{36} \right) + 12 \text{ cm} \cdot 4,5 \text{ cm} \cdot 0,5 \cdot (-6 \text{ cm} - 0,38 \text{ cm})^2 \right) =$$

$$I_x = (8437,5 \text{ cm}^4 + 64,98 \text{ cm}^4) - (30,375 \text{ cm}^4 + 1099,02 \text{ cm}^4) = 7373,09 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \left(\left(\frac{15 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm}^3}{12} \right) + 15 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} \cdot (-0,7 \text{ cm})^2 \right) + \left(\left(\frac{4,5 \text{ cm} \cdot 12 \text{ cm}^3}{36} \right) + 4,5 \text{ cm} \cdot 12 \text{ cm} \cdot 0,5 \cdot (-11 \text{ cm} - 0,7 \text{ cm})^2 \right) =$$

$$I_y = (33750 \text{ cm}^4 + 220,5 \text{ cm}^4) - (216 \text{ cm}^4 + 3696,03 \text{ cm}^4) = 30058,47 \text{ cm}^4$$

a dalej wskaźniki na zginanie, przy rozciąganiu włókien przeciwnych do warstwy licowej, odpowiednio:

$$W_x = \frac{I_x}{(0,5 \times 15 \text{ cm} - y)} = \frac{7373,09 \text{ cm}^4}{7,12 \text{ cm}} = 0,001035 \text{ m}^3$$

$$W_y = \frac{I_y}{(0,5 \times 30 \text{ cm} - x)} = \frac{30058,47 \text{ cm}^4}{14,3 \text{ cm}} = 0,002102 \text{ m}^3$$

Po wyliczeniu wszystkich niezbędnych charakterystyk geometrycznych, można przystąpić do wykonania obliczeń statycznych. Wyliczenie maksymalnego momen-

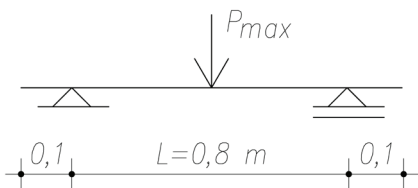


FOT. G. ŚMIERTKA

tu zginającego należy wykonać w oparciu o wzór dla belki wolnopodpartej, obciążonej siłą skupioną, umieszczoną w środku rozpiętości badanego elementu:

$$M_{\max} = P_{\max} \cdot L / 4$$

w którym L – rozpiętość dla prefabrykatów o długości 1000 mm, która zazwyczaj wynosi 800 mm, zgodnie z rys. 5.



Rys. 5. Schemat statyczny obciążanej „belki” – krawężnika 15x30x100

Podstawiając otrzymane wielkości maksymalnego momentu zginającego, wyliczone-

Fot. 1. Badanie wytrzymałości na zginanie krawężnika prostego 15x30x100 cm

go na podstawie odczytanej siły niszczącej oraz wskaźnika na zginanie, otrzymujemy wytrzymałość na zginanie prefabrykatu w MPa, wg wzoru:

$$\sigma_{\max} = M_{\max} / W_x$$

Po przebadaniu reprezentacyjnej, normowej ilości próbek, daną partię przyporządkujemy do jednej z trzech klas wytrzymałościowych, zgodnie z tablicą 3 normy PN-EN 1340 – fot. 1.

WPŁYW DOPUSZCZALNYCH TOLERANCJI NA OSIĄGANE WYTRZYMAŁOŚCI NA ZGINANIE

W przypadku częstego fazowania prefabrykatów betonowych, takich jak obrzeża bądź oporniki, nasuwa się pytanie, w jakim stopniu stosowane ściecia krawędzi (zwykle 5 mm) wpływają na osiągnięte wytrzymałości, na zginanie badanych prefabrykatów drogowych. W tym celu wykonano obliczenia sprawdzające dla sześciu przypadków: obrzeża 6 cm x 20 cm x 100 cm – 1. bezfazowego,

2. jednostronnie fazowanego, 3. dwustronnie fazowanego oraz opornika 12 cm x 25 cm x 100 cm – 4. bezfazowego, 5. jednostronnie fazowanego, 6. dwustronnie fazowanego; wykonane w oparciu o wzór na wskaźnik na zginanie przekroju prostokątnego. Otrzymane wyniki wykazały następujące spadki nośności, odniesione procentowo do elementów nefazowanych: 1. 100,00%, 2. 99,72%, 3. 99,44%, 4. 100,00%, 5. 99,88%, 6. 99,76%. We wszystkich przypadkach fazowanie wpłynęło na zniżenie nośności, poniżej 0,6% wartości wyjściowej – elementu pełnego, co przy deklarowanej, przykładowej 3 klasie U oznacza różnicę rzędu 0,03 MPa.

Dokładniej analizując wpływ kształtu i wymiarów próbek na nośność prefabrykatów, należy stwierdzić, iż występujący w mianowniku wzoru na $\sigma_{\max}$ wskaźnik przekroju na zginanie, zależny jest liniowo od wysokości (szerokości ułożonego elementu) oraz w „kwadracie” od szerokości (wysokości ułożonego elementu). Dodatkowo norma PN-EN 1340, w punkcie 5, podaje dla przekroju poprzecznego prefabrykatów tolerancje wykonania „dla innych części: +/- 3% z dokładnością do milimetra, nie mniej niż 3 mm i nie więcej niż 10 mm”. Jednocześnie autorzy zapisali warunek, iż „różnica pomiędzy wynikami pomiarów tego samego wymiaru krawężnika (w jednym elemencie) nie powinna przekraczać 5 mm”. Łącząc te dwa zapisy, dokonano sprawdzenia wskaźników na zginanie dla obrzeża 6x20x100 cm, wykonanego w hipotetycznej „górnej” tolerancji – 7 cm x 21 cm x 100 cm oraz „dolnej” – 5,7 cm x 19,7 cm x 100 cm. Różnica pomiędzy obliczonymi charakterystykami W_x wyniosła aż 153%!

WNIOSKI

Na podstawie tego prostego, choć skrajnego przykładu można zauważyć, jak ważne jest dokładne oszacowanie, przez personel laboratorium, wymiarów poprzecznych prefabrykatów drogowych przed normowym badaniem wytrzymałości na zginanie, a następnie umiejętne ich uwzględnienie w końcowych obliczeniach wytrzymałościowych. Uwagę tę zawarto w legendzie do wzoru z załącznika F normy PN-EN 1340, w którym to autorzy zapisali, iż: „ I_x – moment bezwładności powierzchni (należy określać z wymiarów nominalnych”.



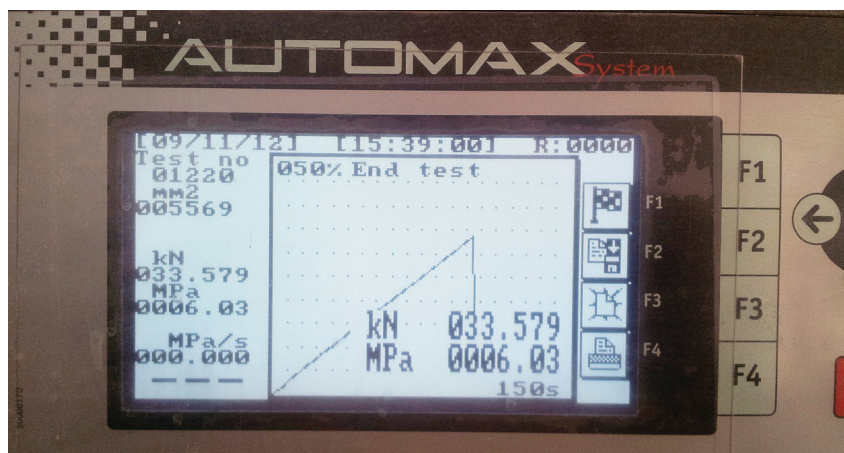
Fot. 2. Właściwe przygotowanie krawężnika prostego 15x30x100 cm do badania wytrzymałości na zginanie

MAŁO ZAUWAŻALNE, A RÓWNIE ISTOTNE

Wydawałoby się, iż poza określeniem momentu bezwładności względem poziomej osi X, w przypadku badania krawężników „na płask”, nie ma konieczności wyliczania analogicznych charakterystyk względem pionowej osi Y. Jednakże choć „nie wchodzi” one do wzoru na $\sigma_{\max}$, to są niezbędne do wyznaczenia środka ciężkości figury, zgodnie z rys. 4. W cytowanym powyżej załączniku F, zapisano bowiem, iż „obciążenie należy przyłożyć w odległości +/- 5 mm od osi (pionowej) przechodzącej przez środek ciężkości krawężnika”, w celu uniknięcia wpływu skręcania, zgodnie z fot. 2.

Kolejnym, często pojawiającym się na budowie, problemem jest stopień dokładności podawania wytrzymałości na zginanie, tzn. sposobu jej zaokrąglania. W przytoczonej powyżej normie z roku 2004 podano, iż podczas badania „obciążenie niszczące P należy zapisać z dokładnością do 100 N”, tj. 10 kg. Z uwagi na fakt, iż wymiary nominalne pozwalają wyznaczyć charakterystyki geometryczne z dokładnością do 1 mm³, wydaje się, iż naprężenia w MPa (N/mm²) należy podawać z tą samą dokładnością co wartości siły, tzn. 100 N = 0,1 kN = 0,0001 MN = 0,0001 MPa (N/mm²). Budzi to wiele kontrowersji, lecz obliczeniowo teza ta broni się. Dla porównania, zastosowane w maszynach wytrzymałościowych oprogramowa-

PO PRZEBADANIU
REPREZENTACYJNEJ,
NORMOWEJ ILO-
ŚCI PRÓBEK, DANĄ
PARTIĘ
PRZYPORZĄD-
KOWUJEMY
DO JEDNEJ Z TRZECH
KLAS WYTRZYMAŁO-
ŚCIOWYCH, ZGODNIE
Z TABLICĄ 3 NORMY
PN-EN 1340



Fot. 3. Dane uzyskane z badania na maszynie wytrzymałościowej



Fot. 4. Niezgodne z przeznaczeniem wbudowanie krawężnika prostego 15x30x100 cm

nie podaje chwilowe obciążenie w jednostce 0,001 kN, tj. 1 N, a obliczone wartości naprężeń z dokładnością do 0,01 MPa – fot. 3. W tym miejscu, celem wyjaśnienia należy dodać, iż obliczenia przeprowadzone w niniejszym tekście dla krawężnika prostego „15” wykonano w oparciu o jednostki [cm] i [m], ze względu na zminimalizowanie zapisów matematycznych.

Równie wiele kontrowersji, co stosowane zaokrąglania, budzi zapis normy nt. przygotowania próbek do badania, zamieszczony w załączniku F normy. Zgodnie z nim należy „zanurzyć elementy w wodzie o temperaturze (20 +/- 5) °C na (24 +/- 3) h, następnie wyjąć, osuszyć i natychmiast poddać badaniu”. W tym miejscu nasuwa się pytanie, co oznacza sformułowanie „osuszyć”? W załączniku E tego samego normatywu zapisano, iż w trakcie badania nasiąkliwości „przed ważeniem (należy) wytrzeć powierzchnię próbek do badania wilgotną ściereczką, w celu usunięcia nadmiaru wody”, aż powierzchnia będzie matowa.

Kolejnym problemem, pojawiającym się podczas prowadzenia ewentualnych badań sprawdzających na wbudowanych elementach, jest częste niedoprecyzowanie, na styku Producent – Wykonawca, stosowności krawężników w ich przekroju poprzecznym. Na polskim rynku prefabrykatów drogowych ogólnie dostępne są elementy proste, najazdowe, trapezowe itd. W zależności od sposobu wbudowania, ich warstwa licowa znajduje się na krótszym bądź na dłuższym boku przekroju poprzecznego lub w wersji mieszanej. Dwuwarstwowa produkcja elementów wymusza na technologi betonu zaprojektowanie dwóch mieszanek betonowych, z których spodnia – konstrukcyjna, odpowiadać będzie za ogólnie pojętą wytrzymałość i nasiąkliwość wyrobów, natomiast wierzchnia, licowa za „mrozoodporność powierzchniową” oraz odporność na ścieranie. W rzeczywistości krawężniki proste wbudowywane są poziomo, pełniąc funkcję krawężników najazdowych przy zjazdach terenowych oraz krawężników trapezowych przy wysepkach drogowych – fot. 4. Doprowadza to do sytuacji, kiedy połowa powierzchni wierzchniej, mającej bezpośredni kontakt z warunkami atmosferycznymi wykonana jest z betonu, niebadanego przez Producenta na odporność,



zamrażanie i rozmrażanie z udziałem soli odladzającej. Dodatkowo często łuki wykonywane z docinanych, prostych elementów pozostawiają wiele do życzenia w zakresie wytrzymałości stosowanych „docinków”. A spowodowane jest to najprawdopodobniej chęcią ograniczenia kosztów budowy. Przykład właściwego wykorzystania elementów trapezowych, w kombinacji prostek i łuków, przedstawiono na fot. 5.

Ostatnim spornym, aczkolwiek nie najmniej błahym, zapisem PN-EN 1340 jest sformułowanie „podłogi” jako powierzchni poziomej, wykorzystywanej podczas badań „Oceny wyglądu” prefabrykatów, w oparciu o załącznik J. Zgodnie z ogólnie dostępną definicją „podłogi” jest to „element

wykańczający górną część stropu”. Stąd też domniemanie, iż badanie to musi odbywać się w pomieszczeniu I kondygnacji, przy naturalnym oświetleniu, a nie na zewnątrz, w warunkach tożsamyh z występującymi podczas naturalnej, docelowej eksploatacji. Przedstawione w niniejszym punkcie „niuanse”, przytoczono nie z powodu często spotykanej, przysłowiowej gry słów tłumaczeń zharmonizowanych norm, lecz konkretnych problemów z jakimi autor artykułu miał styczność podczas realizacji procesów inwestycyjnych, uczestnicząc w naradach budów pomiędzy Inwestorem (Inżynierem kontraktu), Wykonawcą (Kierownikiem budowy) a Producentem, na przestrzeni ostatnich trzech lat. ■

Fot. 5. Właściwe zastosowanie krawężnika trapezowego 15/21x30x75 cm