

dr inż. Rafał Krzywoń*
dr inż. Marcin Górski*

Warunki konstrukcyjne zbrojenia elementów – różnice pomiędzy Eurokodem 2 i wcześniejszymi normami polskimi

Detailing of RC members – changes between Eurocode 2 and earlier Polish codes

W artykule przedstawiono wymagania Eurokodu 2 (norma PN-EN 1992-1-1 Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1. Reguły ogólne i reguły dla budynków) dotyczące zasad konstruowania zbrojenia elementów żelbetowych. Spora część warunków uległa zmianie w porównaniu z wcześniejszą

normą PN-B-03264:2002 *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie*, pojawiły się również nowe wymagania. Cechą szczególną Eurokodu jest unikanie standaryzacji, i to zarówno w zakresie wymiarów przekroju elementów, jak i średnic zbrojenia. PN-B-03264 zawiera znacznie więcej szczegółowych zasad

kształtowania zbrojenia (np. zbrojenie płyt krzyżowo zbrojonych, połączenie płyty z podciągami). Stosowanie Eurokodu 2 wymaga od projektantów zmiany wielu przyzwyczajzeń, dlatego autorzy artykułu zdecydowali się na syntetyczne porównanie reguł projektowania konstrukcji zawartych w nadal równolegle obowiązujących normach (tabela 1, 2 i 3).

Tabela 1. Zbrojenie słupów

Wymagania normy PN-EN 1992-1-1	Porównywalne wymagania normy PN-B-03264
Średnica i zasady rozmieszczania zbrojenia głównego	
Pręty zbrojenia podłużnego, umieszczonego co najmniej w każdym narożu przekroju, nie powinny mieć średnicy mniejszej niż 8 mm.	Pręty zbrojenia podłużnego należy umieścić w każdym narożu przekroju słupa, reszta prętów musi być rozłożona na obwodzie tak, aby odległość między nimi nie przekraczała 400 mm. Minimalna średnica pręta zbrojenia podłużnego to 12 mm (10 mm dla słupów prefabrykowanych), maksymalna zaś to 40 mm (dla słupów uzwojonych 32 mm). Zbrojenie podłużne słupa okrągłego powinno się składać z min. 6 prętów.
Stopień zbrojenia	
Pole zbrojenia podłużnego winno mieścić się w zakresie od $A_{s,min}$ do $A_{s,max}$, gdzie: $A_{s,min} = \frac{0,10N_{Ed}}{f_{yd}}$ lecz nie mniej niż $0,2\% A_c$ $A_{s,max} = 4\% A_c$ (odstępstwem są strefy łączeń prętów na zakład, gdzie pole zbrojenia podłużnego nie może przekraczać $8\% A_c$).	Analogiczne warunki dla całkowitego pola zbrojenia podłużnego wg normy PN-B-03264 są następujące: $A_{s,min} = \frac{0,15N_{Ed}}{f_{yd}}$ lecz nie mniej niż $0,3\% A_c$ $A_{s,max} = 4\% A_c$.
Rozmieszczanie strzemion	
Strzemiona w słupie mają zapobiegać wyoboczeniu ściskanych prętów zbrojenia głównego, dlatego Eurokod wymaga, aby każdy pręt: <ul style="list-style-type: none"> • w narożu przekroju słupa był trzymany przez zbrojenie poprzeczne; • zbrojenia głównego w strefie ściskanej nie był umieszczony dalej niż 150 mm od pręta utrzymanego przez strzemie. Eurokod wymaga, aby średnica prętów zbrojenia poprzecznego nie była mniejsza niż 6 mm i 25% maksymalnej średnicy prętów zbrojenia głównego. Rozstaw strzemion (skok zwoju) nie powinien być większy niż $s_{el,max}$, czyli najmniejsza wartość z: <ul style="list-style-type: none"> • 20 minimalnych średnic zbrojenia podłużnego; • wymiaru przekroju poprzecznego słupa; • 400 mm. Rozstaw strzemion należy zredukować do 60% w węzłach łączących słup z belką (zagęszczenie realizowane jest poniżej i powyżej węzła na odcinku równym większemu wymiarowi boku przekroju słupa) oraz na odcinkach zakładów prętów zbrojenia dłuższego, gdy zbrojenie główne ma średnicę większą od 14 mm.	Podobne warunki PN-B-03264 realizuje przez wprowadzenie obowiązku stosowania strzemion podwójnych w słupach, w których: <ul style="list-style-type: none"> • wymiary boków przekroju poprzecznego przekraczają 450 mm; • jest więcej niż 4 pręty zbrojenia głównego po każdej stronie słupa; • sumaryczny stopień zbrojenia słupa jest wyższy niż 3%. Średnica strzemion nie powinna być mniejsza niż 4,5 mm i 20% średnicy zbrojenia podłużnego słupa. Rozstaw strzemion powinien być mniejszy niż: <ul style="list-style-type: none"> • 15 średnic zbrojenia podłużnego, gdy sumaryczny stopień zbrojenia słupa nie przekracza 3%; • 10 średnic zbrojenia podłużnego, gdy sumaryczny stopień zbrojenia słupa przekracza 3%; • mniejszy wymiar przekroju poprzecznego słupa (lub jego średnica); • 400 mm. Rozstaw strzemion należy zmniejszyć o połowę na długości zakładu prętów zbrojenia podłużnego i w miejscach zmiany przekroju słupa. Rozstaw strzemion jest także redukowany na końcach słupów prefabrykowanych do 1/3 rozstawu podstawowego.

* Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

Tabela 2. Zbrojenie belek

Wymagania normy PN-EN 1992-1-1	Porównywalne wymagania normy PN-B-03264
Stożenie zbrojenia	
Co najmniej 0,13% i nie mniej niż $0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$ Maksymalny stopień zbrojenia ściskanego lub rozciąganego wynosi $4\% A_c$. Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie wynosi $0,08 \frac{\sqrt{f_{ek}}}{f_{yk}}$	W przypadku głównego zbrojenia minimalnego i strzemion PN-B 03264 zawiera identyczne wymagania jak Eurokod 2 w normie PN-EN-1992-1-1.
Rozmieszczanie zbrojenia	
Do podpory należy doprowadzić co najmniej 25% zbrojenia przeszłowego. Zbrojenie to nad podporą skrajną powinno być zakotwione na odległość l_{bd} od krawędzi tej podpory. Na podporach pośrednich długość zakotwienia musi być nie mniejsza niż 100 dla prętów prostych, a dla prętów zakończonych hakami półokrągłymi średnicy $\phi \geq 16$ mm, nie mniejsza od średnicy wewnętrznego zagięcia haka lub dwie średnice zagięcia haka w pozostałych przypadkach. W konstrukcjach monolitycznych, nawet jeśli w obliczeniach założono swobodne podparcie, należy zastosować zbrojenie górne zaprojektowane na 15% momentu przeszłowego z uwzględnieniem warunków zbrojenia minimalnego. Na podporach pośrednich całe pole przekroju zbrojenia rozciąganego należy rozmieszczać na efektywnej szerokości półki, na szerokości środnika zbrojenie to można skondensować.	Do podpory należy doprowadzić co najmniej 1/3 zbrojenia przeszłowego i nie mniej niż 2 pręty. Doprowadzone do podpory zbrojenie przeszłowe przedłuża się poza jej krawędź na $2/3 l_{bd}$ przy podparciu bezpośrednim i l_{bd} przy podparciu pośrednim. Wyjątek mogą stanowić elementy zginane, równomiernie obciążone przy $l_{ef}/h \leq 12$, gdzie wymaga się zakotwienia na: 50 w belkach niewymagających zbrojenia na ścinanie; 150 gdy do podpory doprowadzono 1/3 zbrojenia przeszłowego; 100 gdy do podpory doprowadzono 2/3 zbrojenia przeszłowego. W PN-B-03264 nie uwzględniono żadnych wytycznych dotyczących sposobu rozmieszczania zbrojenia rozciąganego w przekroju teowym. W praktyce zazwyczaj całe to zbrojenie rozmieszcza się na szerokości środnika.
Zbrojenie na ścinanie	
Kąt nachylenia zbrojenia na ścinanie powinien wynosić $45^\circ \div 90^\circ$. Zbrojeniem na ścinanie mogą być strzemiona, pręty odgięte, klatki, drabinki itd. Maksymalny rozstaw podłużny strzemion nie powinien przekraczać $0,75d(1 + \cot \alpha)$ (α – kąt nachylenia strzemion, zazwyczaj $\alpha = 90^\circ$). Maksymalny rozstaw podłużny prętów odgiętych pod kątem α wynosi $0,6d(1 + \cot \alpha)$. Poprzeczny rozstaw strzemion nie powinien przekraczać $0,75d$ i 600 mm.	PN-B-03264, podobnie jak Eurokod 2 wymaga, aby zbrojenie na ścinanie było nachylone pod kątem nie mniejszym niż 45° . Wymagania dotyczące strzemion są podobne. Ich maksymalny rozstaw podłużny wynosi $0,75d$ i nie więcej niż 400 mm, natomiast rozstaw poprzeczny d i nie więcej niż 600 mm. Zasady rozmieszczania prętów odgiętych obejmują położenie górnego odgięcia kolejnych prętów. Pokazano je na rysunku. Norma PN-B-03264 wymaga dodatkowo, aby w belkach prostokątnych niepołączonych z płytami stosować strzemiona zamknięte. W belkach szerokości środnika > 350 mm zbrojonych co najmniej 4 prętami należy stosować strzemiona czterocięte.
Zbrojenie na skręcanie	
Jako zbrojenie na skręcanie należy stosować strzemiona zamknięte, prostopadłe do osi elementu, zakotwione za pomocą zakładów lub zakończeń z hakami. Eurokod dopuszcza łączenie na zakład ramion strzemion przy powierzchni bocznej wyłącznie dla belek skręcanych. Rozstaw podłużny strzemion nie powinien przekraczać 1/8 długości obwodu zewnętrznego belki i jednocześnie mniejszego wymiaru poprzecznego belki (zazwyczaj szerokości środnika). Pręty zbrojenia podłużnego należy rozmieścić w każdym narożu oraz równomiernie po obwodzie w rozstawie nie większym niż 350 mm.	Obie normy przewidują zbrojenie na skręcanie w postaci strzemion zamkniętych łączonych na zakład. PN-B-03264 określa długość tego zakładu, jako 30 średnic strzemienia. Norma ta nie wprowadza dodatkowych wymagań dotyczących rozstawu zbrojenia na skręcanie; należy stosować zasady opisane dla zbrojenia poprzecznego przy zginaniu. PN-B-03264 dopuszcza możliwość stosowania zbrojenia w postaci uzwojenia, którego rozstaw powinien być nie większy niż mniejszy wymiar przekroju.
Zbrojenie przypowierzchniowe	
W celu ograniczenia szerokości rys i oddupywania betonu otuliny w belkach zbrojonych prętami lub wiązkami prętów średnicy większej niż 32 mm należy stosować zbrojenie przypowierzchniowe w formie siatek o oczku nie większym niż 150 mm i powierzchni w obu kierunkach nie mniejszej niż 1% powierzchni $A_{ct,ext}$ odpowiadającej polu przekroju betonu rozciąganego poza zewnętrznym obwodem strzemion. Pręty podłużne zbrojenia przypowierzchniowego można wliczać do zbrojenia podłużnego wymaganego ze względu na zginanie, natomiast pręty poprzeczne, do zbrojenia na ścinanie. Pręty te muszą w tym wypadku spełniać ogólne warunki dotyczące rozmieszczania i zakotwienia. Jeżeli zastosowane otulenie zbrojenia jest większe niż 70 mm, to należy zastosować zbrojenie przypowierzchniowe o przekroju $0,5\% A_{ct,ext}$.	Obowiązek stosowania zbrojenia przypowierzchniowego PN-B-03264 ogranicza do belek wysokości większej niż 1000 mm lub zbrojonych prętami i wiązkami prętów średnicy większej niż 32 mm. Wymagania dotyczące powierzchni i rozmieszczania zbrojenia są identyczne jak w Eurokodzie 2. PN-B-03264 nie przewiduje konieczności stosowania zbrojenia przypowierzchniowego w elementach, w których otulenie zbrojenia przekracza 70 mm.
Zbrojenie stref podparcia belek pośrednich	
W przypadku belek podpierających inne belki, dochodzące poprzecznie, należy stosować zbrojenie przenoszące wzajemne reakcje. Powinno się ono składać ze strzemion otaczających zbrojenie główne belki podpierającej. Część z tych strzemion można rozmieścić poza strefą wspólną łączonych belek w sposób pokazany na rysunku. Eurokod nie precyzuje pojęcia <i>wzajemne reakcje</i> , potrzebnego do obliczenia wymaganego zbrojenia. Bezpieczne wydaje się założenie całej reakcji belki podpieranej, choć można znaleźć również zalecenia dla przyjmowania wartości zredukowanej jak w normie PN-B-03264.	PN-B-03264 również określa zasady zbrojenia strefy łączenia belek. Zbrojenie to powinny stanowić co najmniej dwa strzemiona z obu stron belki podpieranej rozmieszczone jak na rysunku. Jeżeli siła poprzeczna w belce podpierającej w miejscu łączenia przekracza V_{red} , to przekrój strzemion należy obliczyć z warunku przeniesienia zredukowanej reakcji $F_{red} = F \frac{h_2}{h_1}$ gdzie F jest reakcją belki podpieranej.

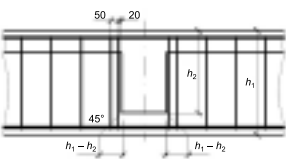
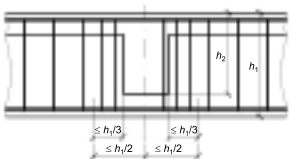
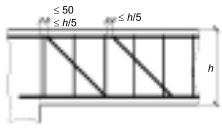


Tabela 3. Zbrojenie płyt

Wymagania normy PN-EN 1992-1-1	Porównywalne wymagania normy PN-B-03264
Stopień zbrojenia	
Co najmniej 0,13% i nie mniej niż $0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$	Dla zbrojenia głównego PN-B-03264 zawiera identyczne wymagania jak Eurokod 2. Dodatkowe wymagania dla zbrojenia rozdzielczego (jako % nośności zbrojenia głównego).
Rozstaw zbrojenia	
Maksymalny rozstaw zbrojenia nie powinien przekraczać: • w obszarach maksymalnego momentu: zbrojenie główne: $s_{max,slabs} = 2$ h i nie więcej niż 250 mm; zbrojenie drugorzędne: $s_{max,slabs} = 3$ h i nie więcej niż 400 mm; • w pozostałych częściach płyty: zbrojenie główne: $s_{max,slabs} = 3$ h i nie więcej niż 400 mm; zbrojenie drugorzędne: $s_{max,slabs} = 3,5$ h i nie więcej niż 450 mm	Norma PN-B-03264 rozróżnia płyty jednokierunkowo i dwukierunkowo zbrojone. Dla większości płyt wymagania są ostrzejsze niż Eurokodu 2 (rozstaw zbrojenia w obszarach krytycznych ograniczono do 250 mm, dodatkowo w płytach jednokierunkowo zbrojonych do 1,2 h i nie mniej niż 120 mm, poza przekrojami krytycznymi dla wszystkich płyt do 300 mm, natomiast rozstaw zbrojenia rozdzielczego (drugorzędne) ograniczono do 300 mm.
Rozmieszczanie zbrojenia	
W płytach swobodnie podpartych co najmniej połowę obliczonego zbrojenia przęsłowego należy doprowadzić do podpory. W płytach częściowo zamocowanych wzdłuż krawędzi (jeśli zamocowania nie uwzględniono w obliczeniach) zastosowane zbrojenie górne powinno przenieść co najmniej 25% momentu przęsłowego na podporach pośrednich i 15% na podporze skrajnej. Zastosowane zbrojenie powinno sięgać na 20% rozpiętości sąsiadującego przęsła płyty.	Zgodnie z wymaganiami PN-B-03264 do podpory wystarczyło doprowadzić 1/3 zbrojenia przęsłowego i co najmniej 3 pręty na 1 m szerokości. Wymagania dotyczące zbrojenia górnego przy częściowym zamocowaniu sprowadza się do sformułowania: <i>Jeżeli na podporze nie występują warunki zapewniające swobodę obrotu przekroju, należy zastosować odpowiednie zbrojenie górne, bez szczególnych wymagań co do powierzchni i rozmieszczenia tego zbrojenia.</i>
Połączenie płyty z podciągami (belką równoległą do kierunku zbrojenia głównego)	
Brak szczególnych wymagań. Zastosowanie znajdują ogólne zasady dotyczące zbrojenia płyt częściowo zamocowanych wzdłuż krawędzi (patrz pkt Rozmieszczanie zbrojenia)	Konieczne jest dodatkowe zbrojenie o nośności nie mniejszej niż 1/3 zbrojenia głównego płyty i 40 kN/m. Zbrojenie to należy wpuścić w płytę na 25% jej rozpiętości obliczeniowej.
Zbrojenie naroży	
Jeśli konstrukcja podpory ogranicza możliwość unoszenia się naroża, to należy zastosować odpowiednie zbrojenie. Brak jest szczegółów dotyczących sposobu rozmieszczenia tego zbrojenia.	W narożach swobodnie podpartych na szerokości 30% mniejszej rozpiętości należy umieszczać dwukierunkowe zbrojenie górne powierzchni równej 50% zbrojenia przęsłowego. Dodatkowo musi być również zastosowane zbrojenie dolne, na kierunku prostopadłym do dwusiecznej kąta naroża, na szerokości 20% mniejszej rozpiętości płyty, o powierzchni zbrojenia przęsłowego.
Zbrojenie krawędzi swobodnych	
Płyta powinna mieć zbrojenie poprzeczne rozmieszczone wzdłuż krawędzi swobodnie podpartej (tę rolę może pełnić odpowiednio zakończone zbrojenie górne płyty).	Brak szczególnych wymagań.
Zbrojenie na ścinanie przy przebicciu	
<p>Potrzebne zbrojenie należy rozmieszczać pomiędzy obciążoną powierzchnią (słupem) i wewnątrz obwodu kontrolnego, poza którym to zbrojenie nie jest wymagane (lecz nie dalej niż 1,5d od tego obwodu). W przypadku prętów odgiętych wystarczy jeden obwód ramion. W przypadku strzemion trzeba stosować co najmniej dwa obwody, ich rozstaw nie powinien przekraczać 0,75d, natomiast rozstaw ramion strzemion wzdłuż obwodu nie powinien przekraczać 1,5d dla pierwszego obwodu kontrolnego i 2d dla pozostałych.</p>	<p>W PN-B-03264 nie było pojęcia obwodu kontrolnego. Zbrojenie należało stosować zależnie od typu zbrojenia wewnątrz obwodu w odległości:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 1,2d dla strzemion pionowych; ■ 1,5d dla strzemion ukośnych i prętów odgiętych. Rozstaw obwodów strzemion (podobnie jak w Eurokodzie 2) ograniczono do 0,75d. Dodatkowo zalecano, aby pierwszy obwód strzemion znajdował się w odległości $\approx 0,5d$. Różnice w sposobie rozmieszczania zbrojenia są związane ze zmniejszeniem w Eurokodzie 2 kąta rysy ukośnej przy przebicciu z 45° do 26,6°. <p>W konsekwencji zbrojenie rozmieszczone zgodnie z wymaganiami tej normy obejmuje nieco większy obszar.</p>

Streszczenie

W artykule przedstawiono porównanie zasad kształtowania zbrojenia zawartych w Eurokodzie 2 oraz równoległe obowiązującej Polskiej Normie PN-B-03264:2002. Dla lepszego uaoocnienia podobieństw i różnic, reguły przeciwstawiono w tabeli w dwóch równoległych kolumnach. Autorzy zdecydowali

się ograniczyć zestawienie do najpowszechniejszych przypadków zbrojenia płyt, belek i słupów.

Słowa kluczowe: Eurokod 2, rozmieszczenie zbrojenia.

Abstract

The paper presents the comparison of the requirements for reinforcement shaping

between Eurocode 2 and still valid in Poland Polish Code PN-B-03264:2002. For better understanding of the differences between the standards, the overview of detailing rules was prepared in synthetic form of two-column table. Authors described particular rules for detailing of most common cases in structural design.