

Marta Zdunek
 Politechnika Lubelska

MINIMUM ZBROJENIA W ŚWIETLE WYBRANYCH NORM

1. Wprowadzenie.

Obecność zbrojenia posiadającego przyczepność do betonu niezbędna jest w konstrukcjach ze względu na:

- zapewnienie odpowiedniej nośności elementu, lub też
- zwiększenie podatności odkształcającego się betonu, rozłożenie ewentualnych rys oraz ograniczenie ich rozwarcia do zadanych wartości.

Jako minimum zbrojenia rozciąganego w żelbetowych elementach zginanych określa się przekrój stali, zapewniający nośność przekroju żelbetowego, obliczonego w fazie II równą co najmniej nośności przekroju betonowego niezbrojonego. Warunek ten ma na celu zabezpieczenie belki przed nagłym zniszczeniem, jakie mogłoby nastąpić po zarysowaniu betonu. Wyłączenie betonu ze współpracy spowodowałoby gwałtowny wzrost naprężeń w stali prowadzący w przypadku zbyt małego jej przekroju do zerwania włókien i złamania belki.

Konieczność stosowania minimalnego zbrojenia uzasadniona jest również potrzebą ograniczenia szerokości rozwarcia rys skurczowych i termicznych.

Ustalenie wielkości minimum zbrojenia jest bardzo istotne, gdyż stanowi ono granicę rozdzielającą elementy betonowe i żelbetowe. Ma to podstawowe znaczenie przy wymiarowaniu przekrojów. Elementy, w których przekrój zbrojenia jest mniejszy od minimalnego wymiarowane są według zasad jak dla przekrojów betonowych niezbrojonych. Jako przekroje betonowe zbrojone (żelbetowe) wymiarowane mogą być elementy o powierzchni przekroju zastosowanego zbrojenia nie mniejszej od minimalnej.

W normach podawany jest przeważnie minimalny stopień zbrojenia podłużnego - μ_{\min} , określany jako stosunek powierzchni zbrojenia do użytecznego przekroju betonu.

$$\mu_{\min} = A_{sl, \min} / (bh_0) \quad (1)$$

gdzie: A_{sl} - powierzchnia przekroju prętów podłużnych,

b - szerokość przekroju,

h_0 - wysokość obliczeniowa przekroju.

2. Przepisy normowe dotyczące minimalnego stopnia zbrojenia.

2.1. Norma polska PN-34/B-03264 [1] i PN-76/E-03264 [2].

Wartość μ_{\min} zależy od rodzaju i charakteru pracy elementu.

Jako minimum zbrojenia rozciągającego w żelbetowych elementach zginanych określa się przekrój stali, przy którym nośność przekroju żelbetowego obliczona w fazie II jest co najmniej równa momentowi rysującemu ten przekrój w fazie I. Moment rysujący belki słabo zbrojonej, pomijając wpływ zbrojenia wyraża się ogólnym wzorem (2), a dla przekroju prostokątnego (3).

$$M_b^I = R_{bt} W_f(2), M_b^I = 0,292 R_{bt} b h^2 \quad (3)$$

gdzie: R_{bt} - wytrzymałość obliczeniowa betonu na rozciąganie,

W_f - wskaźnik wytrzymałości przekroju, obliczony z uwzględnieniem uplastycznienia betonu strefy rozciąganej.

Nośność przekroju żelbetowego w fazie II wynosi:

$$M_a^{II} = R_s A_{sl} z \quad (4)$$

gdzie: R_s - obliczeniowa wytrzymałość stali,

z - ramię sił wewnętrznych.

Po przyjęciu: $z = 0,89 h_0$, $h_0 = 0,923 h$ i porównaniu M_b^I i M_a^{II} otrzymuje się wzór na wyznaczenie minimalnego stopnia zbrojenia: $\mu_{\min} = 0,35 R_{bt} / R_s$ (5)

W obowiązującej normie [1] podane wielkości μ_{\min} nie są dokładnie równe wartościom wynikającym ze wzoru (5). W elementach zginanych bez udziału siły podłużnej wg [1] powinny one wynosić:

- 0,15% dla klasy stali A0 i A1,

- 0,10% dla klasy stali AII, AIII, AIIIN.

W normie z 1976 roku [2] określona wartość μ_{\min} dla elementów zginanych wynosiła 0,15% dla wszystkich klas stali.

W słupach uzwojonych wg [1] minimalny stopień całego zbrojenia powinien wynosić 0,80%. Natomiast stopień zbrojenia podłużnego usytuowanego przy każdej z dwóch przeciwległych stron przekroju powinien wynosić co najmniej:

a/ w elementach ściskanych bez zbrojenia uzważającego:

- 0,15% przy $l_0/i \leq 35$,

- 0,20% przy $35 < l_0/i < 83$,

- 0,25% przy $l_0/i \geq 83$,

gdzie l_0 - długość obliczeniowa elementu,

i - promień bezwładności przekroju betonowego,

b/ w elementach rozciąganych - 0,20%.

2.2. Norma radziecka SNiP 2.03.01-84 [3].

Wielkości minimalnego przekroju zbrojenia należy określić na podstawie podanych w normie [3] wartości stopnia zbrojenia.

Procent zastosowanego zbrojenia w elementach zginanych i rozciąganych powinien wynosić wg [3] co najmniej 0,05.

Natomiast w elementach ściskanych wartości μ_{\min} podane w [3] wynoszą:

- 0,05% gdy $l_0/i < 17$,

- 0,10% gdy $17 \leq l_0/i \leq 35$,

- 0,20% gdy $35 < l_0/i \leq 83$,

- 0,25% gdy $l_0/i > 83$.

2.3. Norma angielska BS 8110 : 1985 [4].

W normie angielskiej [4] podane wartości μ_{\min} zależą od rodzaju pracy elementu i od charakterystycznej wytrzymałości stali - R_{sk} .

Poniżej przytoczone są wybrane wielkości:

- Zbrojenie rozciągane,

a/ dla przekrojów poddanych czystemu rozciąganiu:

$$-0,80\% \text{ dla } R_{sk}=250 \text{ N/mm}^2,$$

$$-0,45\% \text{ dla } R_{sk}=460 \text{ N/mm}^2,$$

b/ dla przekrojów prostokątnych poddanych zginaniu:

$$-0,24\% \text{ dla } R_{sk}=250 \text{ N/mm}^2,$$

$$-0,13\% \text{ dla } R_{sk}=460 \text{ N/mm}^2.$$

- Zbrojenie ściskane,

tam gdzie takie zbrojenie jest wymagane przy wymiarowaniu metodą stanów granicznych, minimalny procent tego zbrojenia liczony jako $-100A_{sc}/A_b$ gdzie A_{sc} - przekrój zbrojenia ściskanego, wynosi 0,40% bez względu na wytrzymałość stali.

2.4. Model CODE 1990 [5].

Wymagana minimalna powierzchnia zbrojenia rozciąganego może być wyliczona ze wzoru (6):

$$A_{s,min} = k_c k R_{bt} A_{bt} / R_s \quad (6)$$

gdzie: A_{bt} - powierzchnia betonu rozciąganego,

k - współczynnik, którego wartość dla przekroju prostokątnego wynosi: $-0,8$ dla $h < 0,3m$,
 $-0,5$ dla $h > 0,8m$,

k_c - współczynnik zależny od rozkładu naprężeń w przekroju wynoszący: $-1,0$ dla czystego rozciągania,
 $-0,4$ dla zginania bez udziału osiowej siły ściskającej.

W zaleceniach CEB-FIP [5] dla celów praktycznych podane są wartości μ_{min} dla różnych konstrukcji żelbetowych.

Dla płyt stopień zbrojenia powinien być nie mniejszy niż:

- 0,0005 dla klasy stali S400 i S500,

- 0,0010 dla klasy stali S220.

Wartości te należy podwoić w przypadku zbrojenia usytuowanego przy krawędzi płyty.

Minimalny stopień zbrojenia w belkach zależy także od klasy stali i wynosi wg [5] : - 0,0015 dla stali S400 i S500,

- 0,0025 dla stali S220.

Natomiast dla słupów powierzchnia zbrojenia podłużnego powinna być nie mniejsza niż 0,008 całkowitej powierzchni przekroju betonu: $A_s \geq 0,008 A_c$.

2.5. EUROCODE [6]

Zasady obliczania minimalnego przekroju zbrojenia rozciąganego podane w EUROCODE [6] opierają się na takim samym wzorze (wzór 6) jaki jest podany w MODEL CODE [5].

Natomiast w zaleceniach zawartych w [6], dotyczących konstruowania elementów żelbetowych podane wartości minimalnej powierzchni zbrojenia podłużnego wynoszą: -

- dla słupów $A_{s,min} = 0,007 A_b$
- dla belek $A_{s,min} = 0,0015 b h_0$

3. Zestawienie wartości minimalnego zbrojenia.

Porównania wielkości minimalnego zbrojenia, wyliczanych wg zasad podanych w [1], [2], [3], [4], [5], [6], dokonano w przypadku zginanej belki żelbetowej. Przyjęto wymiary przekroju poprzecznego belki $b = 30$ cm, $h = 60$ cm, $h_0 = 57$ cm, beton klasy B20 ($R_{bc} = 9,4$ MPa, $R_{bt} = 0,71$ MPa). Obliczenia wykonane dla zbrojenia ze stali klasy AI ($R_s = 210$ MPa) i AIII ($R_s = 350$ MPa).

Tablica 1. Zestawienie wyników obliczeń.

L.p.	Wyszczególnienie	$A_{s,min}$ [cm ²]	
		AI	AII
1	PN-84/B-03264 [1]	2,57	1,71
2	PN-76/B-03264 [2]	2,57	2,57
3	SNiP 2.03.01-84 [3]	0,86	0,86
4	BS 8110:1985 [4]	4,10	2,22
5	MODEL CODE 1990 [5]	4,27	2,57
6	EUROCODE 1988 [6]	2,57	2,57
7	Wzór (6)	1,12	0,67

4. Podsumowanie.

Przepisy dotyczące minimum zbrojenia podłużnego zawarte w normach [1] , [2] , [3] , [4] , [5] , [6] nie są ujednolicone. Wyliczone wartości najmniejszego przekroju zbrojenia dla zginanej belki żelbetowej znacznie się różnią, szczególnie w przypadku stali niższej klasy. Na uwagę zasługuje fakt, iż nie we wszystkich normach A_{min} jest uzależnione od wytrzymałości stali, np. : PN-76/B-03264 [2] , SNiP [3] , EUROCODE [6].

Najmniejszą wartość minimalnego zbrojenia uzyskuje się wg normy radzieckiej [3] a największą wg normy angielskiej [4] i MODEL CODE [5].

L I T E R A T U R A

- [1] Polska Norma PN-84/B-03264 " Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie",
- [2] PN-76 /B-03264 " Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone ",
- [3] SNiP 2.03.01-84 " Bietonnyje i żelezobietonnyje konstrukcji ",
- [4] British Standard BS 8110:1985 "Structural Use of Concrete" Part 1:"Code of Practice for Design and Construction",
- [5] CEB-FIP Model Code 1990, Bulletin d'information No.196,
- [6] Eurocode No.2 1988 "Design of Concrete Structures", Part 1 "General Rules and Rules for Building".