

# Porównanie zasad projektowania żelbetowych kominów przemysłowych

Marta Słowik<sup>1</sup>, Amanda Akram<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e-mail: m.slowik@pollub.pl*

<sup>2</sup>*Absolwentka Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej*

**Streszczenie:** W pracy zestawiono procedury obliczeniowe dotyczące projektowania żelbetowych kominów przemysłowych według normy polskiej PN-88/B-03004 i normy europejskiej PN-EN 13084. Skoncentrowano się na omówieniu tych procedur, które różnią się w obu normach. Przedstawiono rezultaty obliczeń uzyskanych po przeprowadzeniu projektowania przykładowego kominu przemysłowego na podstawie obu norm. Porównano wyniki obliczeń.

**Słowa kluczowe:** komin przemysłowy, konstrukcja żelbetowa, wymiarowanie.

## 1. Wprowadzenie

Projektowanie kominów żelbetowych odbywało się i nadal jest realizowane w Polsce na podstawie zaleceń normy PN-88/B-03004 [1], która obowiązuje od 1988 roku. Stosowane w normie [1] oznaczenia i niektóre reguły projektowania nie są zgodne z zasadami projektowania konstrukcji przyjętymi w nowych normach, które zostały wprowadzone po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej, między innymi w normie do projektowania konstrukcji z betonu PN-EN 1992-1-1 [7]. Zmiana przepisów normalizacyjnych związana z dostosowaniem do wymogów unijnych jest nadal realizowana. Uaktualnienie przepisów dotyczących projektowania kominów przemysłowych można znaleźć w nowej normie PN-EN 13084 „Kominy wolno stojące”, która składa się z 8 części. Do projektowania kominów żelbetowych mają zastosowanie: część 1 „Wymagania ogólne” PN-EN 13084-1:2007 [3], część 2 „Kominy betonowe” PN-EN 13084-1:2007 [2], część 4 „Wykładziny murowe – Projektowanie i wykonanie” PN-EN 13084-1:2007 [4], część 5 „Materiał dla wykładziny murowej – Specyfikacja wyrobu” PN-EN 13084-5:2005 [5] i część 6 „Wykładziny stalowe – Projektowanie i wykonanie” PN-EN 13084-1:2007 [6]. Wszystkie części nowej normy kominowej mają charakter uznaniowy i są dostępne obecnie tylko w wersji anglojęzycznej. W języku polskim zasady projektowania żelbetowych kominów przemysłowych według nowej normy można znaleźć w wytycznych wydanych w Instytucie Techniki Budowlanej [9].

## 2. Zasady projektowania żelbetowych kominów przemysłowych

### 2.1. Zalecenia ogólne i główne różnice w procedurach obliczeniowych według norm PN-88/B-03004 i PN-EN 13084

W zakres obliczeń dotyczących projektowania kominu przemysłowego wchodzi:

- zastawienie obciążeń (ciężar własny, obciążenie wiatrem),
- zestawienie spadku temperatur potrzebnych do obliczeń termicznych,

- zestawienie sił wewnętrznych w wyznaczonych przekrojach płaszcza (dolny poziom każdego segmentu) i wymiarowanie przekrojów trzonu komina,
- wyznaczenie sił wewnętrznych w cokole, płycie fundamentowej komina oraz w innych elementach konstrukcji komina (np. wzmocnienia przy otworach) i wymiarowanie miarodajnych przekrojów,
- sprawdzenie stateczności,
- obliczenie wychylenia wierzchołka komina,
- sprawdzenie szerokości rozwarcia rys w płaszczu komina w wymaganych przypadkach,
- sprawdzenie nośności podłoża,
- obliczenie przewidywanych osiadań komina.

Przekroje poprzeczne płaszcza komina wymiarowane są jako mimośrodowo ściskane. Główne różnice przy projektowaniu komina żelbetowego według norm PN-88/B-03004 i PN-EN 13084 dotyczą zasad wymiarowania przekrojów płaszcza. Wymiarowanie według obu norm należy przeprowadzić na podstawie metody stanów granicznych, przy czym miarodajnym stanem wymiarowania w normie PN-88 B-03004 [1] jest stan graniczny naprężeń należący do stanów granicznych użyteczności, natomiast w normie PN-EN 13084 stan graniczny nośności. Różnice w procedurach obliczeniowych występują również przy obliczaniu momentów drugiego rzędu i uwzględnianiu wpływu temperatury, jak również w warunkach konstrukcyjnych. Poniżej przedstawione zostały zasady obliczeń według obu norm w odniesieniu do różniących się procedur.

## 2.2. Zasady wymiarowania przekrojów według normy PN-88 B-03004

Podstawą wymiarowania żelbetowego płaszcza komina przemysłowego jest stan graniczny użytkowania, który odpowiada spełnieniu wymagań nie wystąpienia rys poziomych i efektów zmęczenia. Sprawdzenie tego stanu granicznego należy przeprowadzić w dwóch stadiach, w stadium realizacji i w stadium eksploatacji komina. Naprężenia normalne w betonie i stali wyznaczone w miarodajnych przekrojach pierścieniowych trzonu komina przy przyjęciu sił wewnętrznych wyznaczonych od obciążeń charakterystycznych nie mogą przekroczyć wartości dopuszczalnych.

Uwzględniając mimośrodowe działanie siły pionowej, naprężenia ściskające w betonie  $\sigma_c$  i rozciągające w stali  $\sigma_s$  w przekrojach pierścieniowych komina można obliczyć ze wzorów:

$$\sigma_c = \frac{N}{A_c} B \quad (1)$$

$$\sigma_s = \sigma_c C \quad (2)$$

w których:  $N$  – siła pionowa ściskająca w przekroju poprzecznym komina [kN],  $A_c$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego betonu [m<sup>2</sup>],

$$B = \frac{\pi(1 + \cos \alpha)}{\sin \alpha + [-\alpha + \pi(1 + n\omega)] \cos \alpha} \quad (3)$$

$$C = n \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} \quad (4)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (5)$$

Występujący we wzorach (3) i (4) kąt  $\alpha$  obliczany jest zgodnie z poniższą zależnością:

$$\frac{e_o}{r_s} = 0,5 \frac{0,5 \sin 2\alpha - \alpha + \pi(1+n\mu)}{\sin \alpha + [-\alpha + \pi(1+n\mu)] \cos \alpha} \quad (6)$$

w której:  $e_o$  – mimośród siły ściskającej [m],

$$e_o = \frac{M}{N} \quad (7)$$

$M$  – moment zginający w rozpatrywanym przekroju [kNm],  $r_s$  – promień okręgu środkowego przekroju pierścieniowego [m].

W stadium realizacji naprężenia w betonie i stali wywołane ciężarem własnym oraz przechyłem i wiatrem pomniejszonym o 20% muszą spełniać warunki:

$$\sigma_c \leq 0,4f_{ck} \quad (8)$$

$$\sigma_s \leq 0,6f_{yk} \quad (9)$$

w których:  $f_{ck}$  – charakterystyczna wartość wytrzymałości betonu na ściskanie,  $f_{yk}$  – charakterystyczna wartość granicy plastyczności stali.

W przypadku rozpatrywania stadium eksploatacji podstawowe warunki określające wielkość naprężeń przybierają poniższą postać, przy czym naprężenia są wywołane ciężarem własnym, przechyłem i całkowitym obciążeniem wiatrem:

$$\sigma_c \leq 0,65f_{ck} \quad (10)$$

$$\sigma_s \leq 0,7f_{yk} \quad (11)$$

W przypadku gdy naprężenia w betonie nie przekraczają  $0,2f_{ck}$  wówczas naprężenie w stali powinny spełniać warunek:

$$\sigma_s \leq 0,5f_{yk} \quad (12)$$

Naprężenia w betonie i stali są obliczane ze wzorów od (1) do (7), w których siły pionowe wyznaczane są na podstawie ciężaru własnego budowli, natomiast momenty zginające są wynikiem oddziaływania wiatru będącego oddziaływaniem wiodącym (momenty pierwszego rzędu). Na całkowitą wartość momentów może mieć wpływ ugięcie drugiego rzędu. Uwzględnia się je, jeżeli współczynnik  $\alpha$  wyrażony wzorem (13) osiąga wartość co najmniej 0,35.

$$\alpha = H_o \sqrt{\frac{N_o}{EI_o}} \quad (13)$$

gdzie:  $H_o$  - wysokość trzonu komina ponad fundamentem [m],  $N_o$  – całkowita siła pionowa w poziomie górnej powierzchni fundamentu [kN],  $EI_o$  - sztywność trzonu w przekroju połączenia z fundamentem [kN·m<sup>2</sup>].

Wpływ efektów drugiego rzędu uwzględnia się poprzez powiększenie momentu zginającego pierwszego rzędu  $M^I$  o moment drugiego rzędu  $M^{II}$  wyznaczany zgodnie z (14).

$$M^{II} = \alpha^2 M_o^I f \quad (14)$$

gdzie:  $f$  – uśredniona funkcja wpływu drugiego rzędu,

$$f = 0,55 \left( 1 + 2 \frac{z'}{H_o} \right) \left( 1 - \frac{z'}{H_o} \right)^2 \quad (15)$$

$z'$  – współrzędna określająca położenie przekroju poprzecznego komina liczona wzdłuż osi komina od poziomu połączenia trzonu z fundamentem [m].

Przy wymiarowaniu przekrojów płaszczka należy rozpatrzyć wpływ temperatury na stan naprężenia. Zgodnie z zaleceniami normy polskiej [1] ten wpływ można pominąć, jeżeli różnica temperatur przypadająca na warstwę konstrukcyjną wynosi mniej niż 30K, a maksymalna temperatura w płaszczku nie przekracza 70°C. Jeśli natomiast druga z tych wielkości wynosi ponad 70°C, ale nie jest większa od 150°C, a różnica temperatur w warstwie konstrukcyjnej dalej nie przekracza 30K, to wpływ temperatury uwzględnia się poprzez zmniejszenie dopuszczalnych naprężeń w betonie o 25%. Gdy te warunki nie są spełnione, należy wyznaczyć siły wewnętrzne od obciążenia termicznego i sprawdzić możliwość występowania rys. Wyróżnia się tu dwa stany wywołane różnicą temperatur w trzonie komina. Pierwszy z nich to brak występowania zarysowania, co oznacza, że spełniony jest poniższy warunek:

$$M_t + M_v \leq M_1 \quad (16)$$

gdzie:  $M_t$  – moment zginający wywołany różnicą temperatur na obydwu powierzchniach trzonu,  $M_v$  – moment zginający w rozpatrywanym przekroju wywołany innymi obciążeniami,  $M_1$  – moment zginający powodujący zarysowanie przekroju.

W obliczeniach powyższych wielkości zgodnie z zaleceniami normy polskiej możliwe jest wykorzystanie następujących wzorów:

$$M_t = \frac{\alpha_t \Delta t E I_1}{g} \quad (17)$$

$$M_1 = W_1 \left( f'_{ctm} - \frac{N}{A_1} \right) \quad (18)$$

w których:  $\Delta t$  – różnica temperatur, na zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni trzonu [K],  $E$  – moduł sprężystości betonu [MPa],  $I_1$  – moment bezwładności przekroju niezarysowanego [m<sup>4</sup>],  $g$  – grubość trzonu (wysokość przekroju) [m],  $N$  – siła osiowa w przekroju pionowym (ściskanie) [MN],  $A_1$  – powierzchnia przekroju niezarysowanego [m<sup>2</sup>],  $W_1$  – wskaźnik wytrzymałości przekroju niezarysowanego [m<sup>3</sup>],  $f'_{ctm}$  – wytrzymałość betonu na rozciąganie [MPa] obliczona na podstawie (19),

$$f'_{ctm} = 0,3 (f_{ck, cube} + 8)^{0,66} \frac{2,6 + 24g}{1 + 40g} \quad (19)$$

Drugim możliwym stanem jest występowanie zarysowań. Wtedy dla trzonu komina zachodzi zależność:

$$M_t + M_v \geq M_1 \quad (20)$$

Sprawdzenie powstania i rozwarcia rys nie jest wymagane, jeżeli spełnione zostały warunki stanu granicznego naprężeń, a także jeśli w obliczeniach pominięty został wpływ temperatury.

W normie podane zostały warunki konstrukcyjne dotyczące doboru grubości płaszcza oraz stopnia zbrojenia pionowego i poziomego. Minimalna grubość płaszcza  $d$  zależy od średnicy zewnętrznej wylotu kominu  $D$  i wynosi:

- $d = 160$  mm gdy  $D \leq 2,0$  m,
- $d = 180$  mm gdy  $2,0$  m  $< D \leq 5,0$  m,
- $d = 200$  mm gdy  $D > 5,0$  m,

Stopień zbrojenia pionowego powinien być wyższy od minimalnego, który jest wyznaczany ze wzoru (21):

$$\rho_{min, pion} = \frac{4,2 f_{ck}}{100 f_{yk}} \quad (21)$$

Ponadto sumaryczny stopień zbrojenia pionowego powinien być większy niż 0,3%, a na zbrojenie zewnętrzne powinno przypadać nie mniej niż 0,2%.

W przypadku zbrojenia poziomego minimalny stopień wyznaczany jest na podstawie wzoru (22) i dodatkowo jest ustalany na podstawie wartości zestawionych w tabelicy 1, w zależności od temperatury odprowadzanych gazów. Jeżeli średnica kominu ma wartość większą od 10 m, to minimalny stopień zbrojenia poziomego wynosi 0,4%.

$$\rho_{min, poz} = \frac{2,1 f_{ck}}{100 f_{yk}} \quad (22)$$

Tabela 1. Minimalny stopień zbrojenia poziomego w zależności od temperatury gazów

Lp.	Temperatura odprowadzanych gazów [°C]	Minimalny stopień zbrojenia [%]
1	do 100	0,25
2	ponad 100 do 300	0,35
3	ponad 300	0,40

### 2.3. Zasady wymiarowania przekrojów według normy PN-EN 13084

Zasady projektowania kominów żelbetowych są podane w dwóch osobnych częściach normy: PN-EN 13084-1:2007 [3] oraz PN-EN 13084-2:2007 [2]. W części pierwszej [3] jako podstawę do wymiarowania kominów przemysłowych wskazano stan graniczny nośności, który stanowi, że obliczeniowe wartości efektów oddziaływań, takie jak siły wewnętrzne, momenty, naprężenia czy odkształcenia, określone ogólnie symbolem  $E_d$ , nie mogą przekroczyć odpowiadających im obliczeniowych dopuszczalnych wartości wytrzymałości  $R_d$ . W części drugiej [2] zostały podane współczynniki bezpieczeństwa niezbędne do określenia wielkości obliczeniowych oraz szczegółowe procedury dotyczące wyznaczenia momentów drugiego rzędu, uwzględnienia temperatury przy wymiarowaniu płaszcza, sprawdzenia zarysowania oraz przepisy dotyczące warunków konstrukcyjnych.

Efekty drugiego rzędu zaleca się brać pod uwagę, jeżeli powodują wzrost momentów całkowitych o więcej niż 10%. Do obliczenia momentów drugiego rzędu może zostać użyta metoda przybliżona, pod warunkiem spełnienia szeregu założeń:

- pełnego wykorzystania przekroju w odniesieniu do nośności,
- uwzględnienia sztywności betonu przy rozciąganiu,
- braku uwzględnienia efektów ugięcia spowodowanego imperfekcjami i obrotem fundamentu,

- stałości średnicy i grubości płaszczka lub prawie liniowej redukcji jednego lub obydwu z tych parametrów na wysokości komina,
- wysokość komina jest nie większa niż 300m.

Dodatkowo wyróżniono różne sposoby obliczania momentów drugiego rzędu w przypadku płaszczka ze zbrojeniem pionowym ciągłym i w przypadku płaszczka bez zbrojenia pionowego ciągłego przy współczynniku  $\alpha$  nieprzekraczającym 0,6.

W pierwszym z wymienionych przypadków wartość tych momentów wyznacza się zgodnie ze wzorem:

$$M''(z) = M'(z) + M'(0) \frac{(85 - 0,14h)\alpha^2}{100} \left(1 + 2,4 \frac{z}{h}\right) \left(1 - \frac{z}{h}\right)^{2,4} \quad (23)$$

Natomiast w przypadku płaszczki bez zbrojenia ciągłego, dla których  $\alpha \leq 0,6$  momenty drugiego rzędu obliczane są na podstawie (24):

$$M''(z) = (1 + \kappa\alpha^2) M'(z) \quad (24)$$

W powyższych wzorach zastosowane następujące oznaczenia:  $M'(0)$  – wartość obliczeniowa momentu I rzędu w podstawie komina,  $M'(z)$  – wartość obliczeniowa momentu I rzędu na wysokości  $z$ ,  $z$  – wysokość rozpatrywanego przekroju ponad poziomem fundamentu,  $h$  – wysokość komina ponad fundamentem,  $\kappa$  – współczynnik, którego wartość zależy od sposobu łączenia prętów zbrojeniowych,

$$\alpha = \sqrt{\frac{N}{E_{cm} I}} \quad (25)$$

Procedura obliczeniowa dotycząca uwzględnienia wpływu wysokiej temperatury przy wymiarowaniu przekrojów płaszczka została dokładnie opisana w załączniku A normy [2]. Wpływ temperatury dotyczy różnicy temperatur w warstwie konstrukcyjnej. Uwzględnia się go poprzez zwiększenie momentów zginających, przy czym sposób wyznaczenia momentu od temperatury jest uzależniony od fazy pracy przekroju opisanej za pomocą relacji moment – krzywizna. Pierwszym krokiem jest wyznaczenie krzywizny  $k_{\Delta T}$  od różnicy temperatur:

$$k_{\Delta T} = \frac{\alpha_T \Delta T}{t} \quad (26)$$

gdzie:  $\alpha_T$  – współczynnik rozszerzalności termicznej,  $\Delta T$  – wartość charakterystyczna różnicy temperatur,  $t$  – grubość płaszczka komina.

Kolejny etap to sprawdzenie zależności związanych z trzema zakresami:  $a$ ,  $b$  i  $c$  odnoszących się do relacji między momentami i krzywizną. Zakres „a” stosuje się, kiedy zostaje spełniony warunek:

$$M_L + k_{\Delta T} E_{cm} I^I \leq M_{cr} \quad (27)$$

Wtedy charakterystyczna wartość momentu zginającego od temperatury wyznaczana jest ze wzoru (28):

$$M_{\Delta T} = \alpha_T \Delta T \cdot E_{cm} \frac{I^I}{t} \quad (28)$$

Zakres „b” określają zależności (28) i (29):

$$M_L + k_{\Delta T} E_{cm} I^I > M_{cr} \quad (29)$$

$$\frac{M_L}{M_{cr}} k_{cr}^1 + k_{\Delta T} \leq k_{cr}^1 \quad (30)$$

Jeżeli powyższe warunki są spełnione, to charakterystyczną wartość momentu  $M_{\Delta T}$  określa się na podstawie:

$$M_{\Delta T} = M_{cr} - M_L \quad (31)$$

W przypadku zakresu „c” charakterystyczna wartość momentu zginającego od obciążenia termicznego oraz efektywny moment bezwładności  $I_{eff}$  są opisane odpowiednio wzorami (32) oraz (33).

$$M_{\Delta T} = \frac{\alpha_T \Delta T}{t} E_{cm} I_{eff} \quad (32)$$

$$\frac{M_{\Delta T} + M_L}{E_{cm} I_{eff}} = \frac{M_{\Delta T} + M_L}{E_{cm} I^{II}} - \Delta k \quad (33)$$

Zastosowane oznaczenia w powyższych wzorach są następujące:  $M_{\Delta T}$  – moment zginający od różnicy temperatur,  $M_L$  – moment zginający od pozostałych obciążeń,  $M_{cr}$  – moment rysujący,  $E_{cm}$  – moduł sprężystości betonu,  $I^I$  – moment bezwładności w stanie I (przekrój niezarysowany),  $I^{II}$  – moment bezwładności w stanie II (przekrój zarysowany),  $\Delta k$  – efekt usztywnienia,  $k_{cr}^1$  – krzywizna dla stanu, kiedy powstawanie rys zostało zakończone.

$$k_{cr}^1 = k_{cr}^{II} - \Delta k \quad (34)$$

$$\Delta k = 0,4(k_{cr}^{II} - k_{cr}^I) \quad (35)$$

$$k_{cr}^I = \frac{M_{cr}}{E_{cm} I^I} \quad (36)$$

$$k_{cr}^{II} = \frac{M_{cr}}{E_{cm} I^{II}} \quad (37)$$

W załączniku B umieszczony jest sposób obliczenia szerokości rozwarcia rys:

$$w_k = 3,5 \left( \frac{\sigma_{sr}^{0,88} d_s}{f_{cm}^{\frac{2}{3}}} \right)^{0,89} \frac{\sigma_s - 0,4\sigma_{sr}}{E_s} \quad (38)$$

gdzie:  $\sigma_s$  – naprężenia w rozciągającym zbrojeniu wyznaczone na podstawie zarysowanego przekroju w warunkach obciążenia z mimośrodem  $e = M/N$ ,  $\sigma_{sr}$  – naprężenia w rozciągającym zbrojeniu wyznaczone na podstawie zarysowanego przekroju, pod obciążeniem z mimośrodem właściwym  $e$ , przy osiągnięciu wytrzymałości betonu na rozciąganie,  $f_{cm}$  – średnia wytrzymałość betonu na ściskanie,  $d_s$  – średnica zbrojenia.

Warto również wspomnieć o wymaganiach konstrukcyjnych, które są mniej rozbudowane w porównaniu do tych podanych w normie PN-88 B-03004 [1]. Najmniejsza grubość ściany płaszczka wynosi 200 mm. W przypadku zbrojenia pionowego, zaleca się przyjmować stopień zbrojenia równy co najmniej 0,3%, przy czym pręty mają być tak rozmieszczone, aby w warstwie zewnętrznej zbrojeniowej znajdowało się nie mniej niż połowa i nie więcej niż 2/3 całkowitego zbrojenia pionowego. Natomiast minimalny stopień zbrojenia poziomego w każdej z warstw wynosi 0,15%.

### 3. Przykład obliczeniowy

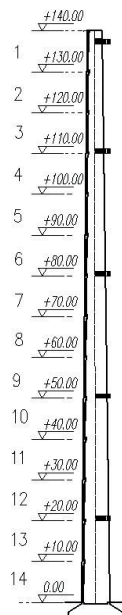
Porównania wyników obliczeń związanych z projektowaniem kominu żelbetowego według normy polskiej i normy angielskiej dokonano na podstawie projektu żelbetowego kominu przemysłowego wykonanego w dwóch wersjach, w ramach dyplomowej pracy magisterskiej [8].

#### 3.1. Dane do projektowania

Podstawowe założenia do projektowania:

- klasa wytrzymałości betonu: C45/55,
- stal o charakterystycznej granicy plastyczności 500 MPa,
- izolacja: wełna mineralna szara o grubości 150 mm,
- wykładzina: cegła kominówka o grubości 150 mm.
- pochylenie tworzącej: 1%,
- średnica zewnętrzna wylotu: 3,5 m,
- całkowita wysokość ponad teren: 140 m.

Dodatkowe założenie stanowiła temperatura odprowadzanych gazów wynosząca 190°C, która do obliczeń została powiększona o 20%.



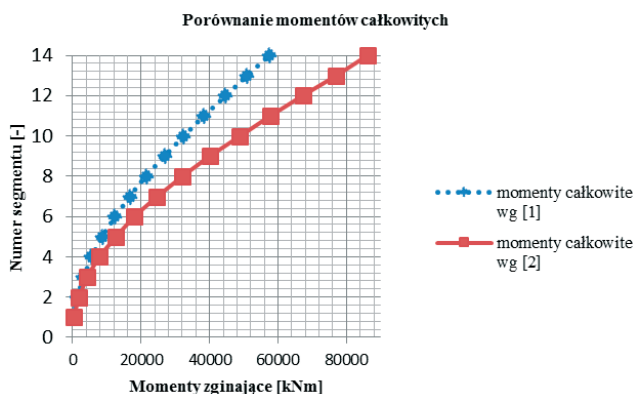
Rys. 1. Komin z podziałem na segmenty



W kominie zostały wydzielone segmenty o wysokości 10 m każdy, co doprowadziło do przyjęcia czternastu przekrojów, dla których zostały przeprowadzone obliczenia i wymiarowanie (dolny poziom każdego segmentu – rys.1).

### 3.2. Wyniki obliczeń

Rozkłady całkowitych momentów zginających wyznaczonych w odniesieniu do dolnego poziomu każdego segmentu zostały przedstawione na rysunku 2. Momenty zginające wyznaczone w przypadku projektowania zgodnie z regulami normy europejskiej [2] wykazały większe wartości przede wszystkim ze względu na fakt, że zostały wyznaczone przy przyjęciu obliczeniowych wartości obciążeń. Projektowania płaszczu komina według normy polskiej [1] na podstawie stanu granicznego naprężeń powoduje, że w obliczaniu momentów zginających adekwatne są charakterystyczne wartości obciążeń.



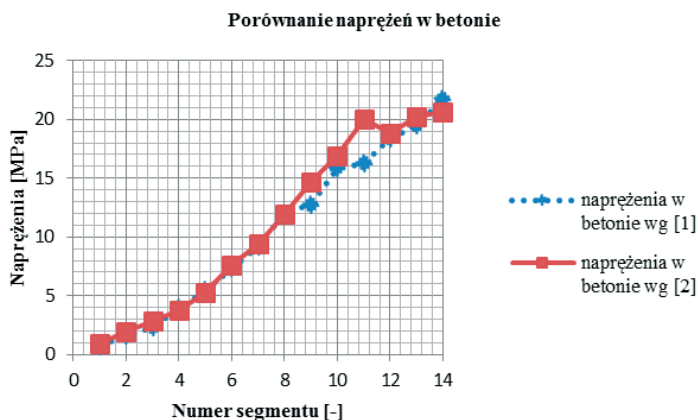
Rys. 2. Porównanie całkowitych momentów zginających wyznaczonych zgodnie z normą PN-88 B-03004 [1] i PN-EN 13084 [2]

Tabela 2. Grubość płaszczu i przyjęte zbrojenie

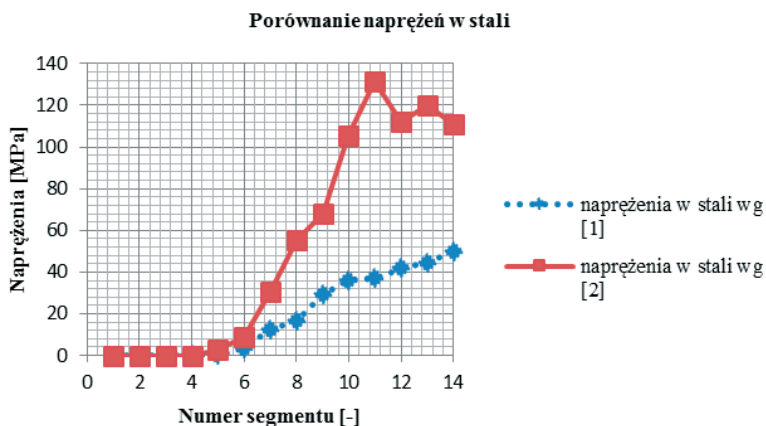
Nr segmentu	Norma polska [1]			Norma europejska [2]		
	Grubość płaszczu [cm]	Stopień zbrojenia pionowego	Stopień zbrojenia poziomego	Grubość płaszczu [cm]	Stopień zbrojenia pionowego	Stopień zbrojenia poziomego
1	24	0,0054	0,0038	36	0,0036	0,0031
2	24	0,0051	0,0038	36	0,0034	0,0031
3	26	0,0045	0,0043	38	0,0044	0,0041
4	26	0,0043	0,0043	38	0,0042	0,0041
5	28	0,0052	0,0040	40	0,0038	0,0039
6	28	0,0050	0,0040	40	0,0036	0,0039
7	30	0,0044	0,0038	42	0,0045	0,0037
8	30	0,0043	0,0038	42	0,0056	0,0037
9	32	0,0050	0,0035	44	0,0051	0,0035
10	32	0,0048	0,0035	44	0,0049	0,0035
11	34	0,0044	0,0045	46	0,0046	0,0033
12	34	0,0042	0,0045	46	0,0069	0,0033
13	36	0,0039	0,0043	48	0,0077	0,0032
14	36	0,0047	0,0043	48	0,0096	0,0032

Sprawdzenie odpowiednich stanów granicznych: stanu granicznego naprężeń według normy polskiej [1] i stanu granicznego nośności według normy europejskiej [2], doprowadziło do poprawnego przyjęcia grubości płaszcza i stopnia zbrojenia w poszczególnych segmentach (jak przedstawiono w tab. 2). Na podstawie sił wewnętrznych (momentów zginających i sił pionowych) oraz przyjętego zbrojenia pionowego w kolejnych segmentach wyznaczone zostały naprężenia w betonie i stali.

Porównanie naprężeń w betonie i w stali uzyskanych w obliczeniach według normy [1] i [2] przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Znaczne różnice w poziomie naprężeń w stali, które zaznaczyły się w dolnych segmentach kominu, wynikają z koniczności spełnienia ograniczeń naprężeń w stadium realizacji i eksploatacji według przepisów normy [1].



Rys. 3. Porównanie naprężeń w betonie wyznaczonych zgodnie z normą PN-88 B-03004 [1] i PN-EN 13084 [2]



Rys. 4. Porównanie naprężeń w stali wyznaczonych zgodnie z normą PN-88 B-03004 [1] i PN-EN 13084 [2]

## 4. Podsumowanie

Porównanie zasad projektowania żelbetowych kominów przemysłowych według normy polskiej PN-88 B-03004 i europejskiej PN-EN 13084 wskazało na różnice w procedurach obliczeniowych. Największą zmianą jest przejście z wymiarowania przekro-

jów według stanu granicznego naprężeń (jak w normie polskiej) na stan graniczny nośności (jak w normie europejskiej). Przedstawiony przykładowy projekt kominu wskazał na konieczność zastosowania większej grubości płaszcza i przyjęcie większego przekroju zbrojenia pionowego w przypadku projektowania według zasad normy europejskiej.

## Literatura

1. PN-88/B-03004. *Kominy murowe i żelbetowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.*
2. PN-EN 13084-2:2007. *Kominy wolno stojące. Część 2: Kominy betonowe.*
3. PN-EN 13084-1:2007. *Kominy wolno stojące. Część 1: Wymagania ogólne.*
4. PN-EN 13084-4:2006. *Kominy wolno stojące. Część 4: Wykładziny murowe – Projektowanie i wykonanie.*
5. PN-EN 13084-5:2005. *Kominy wolno stojące. Część 1: Materiał dla wykładziny murowej – Specyfikacja wyrobu.*
6. PN-EN 13084-6:2005. *Kominy wolno stojące. Część 1: Wykładziny stalowe – Projektowanie i wykonanie.*
7. PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2 *Projektowanie konstrukcji z betonu, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.*
8. Akram A. *Projekt żelbetowego kominu przemysłowego.* Praca dyplomowa, WBiA Politechnika Lubelska, 2016.
9. Lechman M. *Wolno stojące kominy żelbetowe. Obliczenia i projektowanie według norm PN-EN. Wytyczne.* Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2010.

## The comparison of design rules for reinforced concrete chimneys

Marta Słowik<sup>1</sup>, Amanda Akram<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Building Structures, Faculty of Civil Engineering and Architecture,  
Lublin University of Technology, e-mail: m.slowik@pollub.pl

<sup>2</sup> Graduate, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology

**Abstract:** In the paper, the rules of dimensioning reinforced concrete chimneys according to the Polish code PN-88/B-03004 and the European code PN-EN 13084 were presented. In particular, the rules which are different were described. The example of the reinforced concrete chimney was designed on the basis of two mentioned codes. The results of calculations were presented and compared.

**Keywords:** industrial chimney, concrete structures, dimensioning.

