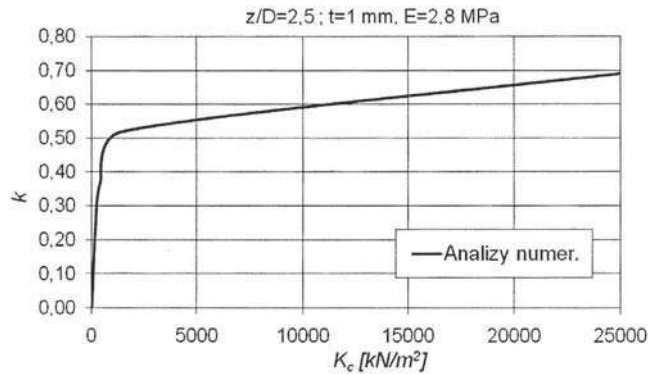


powoduje bardzo wyraźny spadek współczynnika rozdziatu obciążenia k (rys. 4), a więc wartości południkowego obciążenia F_w , określonego wg zał. (1). W przypadku całkowitego braku sztywności K_c (np. tkanina) płaszcz silosu nie przenosi żadnych obciążeń południkowych i występują w nim tylko równoleżnikowe siły rozciągające. Siły takie mogą być przejmowane zarówno przez tkaniny, jak i cienkie blachy faliste.



Rys. 4. Wpływ południkowej sztywności płaszcza silosu K_c na wartość współczynnika k

5. Podsumowanie

Wyniki badań rozdziatu obciążeń od materiału wypełniającego (zboża) w silosach z blachy falistej wskazują na pilną potrzebę zmiany normowych przepisów [4], [5] w zakresie ustalania wartości obciążeń ich płaszczy i den (lejów), szczególnie w przypadku braku uźebrowania płaszczy. Badania wykazały również, że w tzw. silosach podłogowych z płaskim dnem, opartym bezpośrednio na płycie

fundamentowej, można z powodzeniem stosować nieuźebrowane płaszcze z blachy falistej. Takie silosy nadają się do magazynowania różnych rodzajów biomasy w elektrowniach, gdyż są one tanie, łatwe w montażu i demontażu oraz umożliwiają łatwe zautomatyzowanie procesów ich załadunku i rozładunku. Silosy takie są stosowane powszechnie do magazynowania zboża, a zboże będzie w najbliższym czasie jednym z podstawowych rodzajów biomasy w elektrowniach.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Hotała E., Awaryjność silosów z blachy falistej. *Materiały Budowlane* 2/2006
- [2] Molenda M., Horabik J., Thompson S. A., Ross I. J., Grain loads on smooth and corrugated-wall model silos. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, Nr 419/2001
- [3] Hotała E., Zambrowicz M., Obciążenia den i lejów silosów o płaszcach z blachy falistej. *Aktualne problemy naukowo-badawcze budownictwa*. Olsztyn 2006, s. 173–178
- [4] PN-B-03202:1996 Konstrukcje stalowe. Silosy na materiały sypkie. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [5] PN-EN 1991-4 Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 4: Silosy i zbiorniki

Analiza porównawcza oddziaływań wiatru na silosy żelbetowe według dotychczasowej normy PN-77/B-02011 i nowych wymagań według PN-EN 1991-1-4:2008

Dr hab. inż. Paweł Lewiński, ITB, Warszawa

1. Nowe zasady wyznaczania wpływu wiatru na silosy

Żelbetowe silosy to w większości budowle wieżowe silnie obciążone wiatrem i w tym zakresie zastąpie-

nie normy PN-77/B-02011[1] normą PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru [2] zmienia całkowicie dotychczasowe zasady

projektowania. W ostatnim czasie zatwierdzona została w CEN końcowa wersja normy EN-1991-część 4, a także zakończono prace nad polskojęzyczną wersją PN-EN tej normy wraz z Załącznikiem kra-

jowym NA, sformułowanym przy wykorzystaniu krajowego dorobku naukowego w tej dziedzinie (por. m. in. [5]). Podane w Eurokodach wymagania w zakresie sposobów obliczania oddziaływań na silosy różnią się znacząco od wcześniejszych propozycji, a także wprowadzają istotne zmiany w porównaniu do aktualnych norm polskich dotyczących silosów i zbiorników żelbetowych. Nowe przepisy dotyczące obciążenia wiatrem budowli wieżowych szczegółowo opisał w swym obszernym referacie z 2008 r. M. Lechman [4]. Toteż w referacie niniejszym zawarto głównie uzupełniające informacje dotyczące silosów, wskazując jednocześnie na możliwości przyjmowania pewnych uproszczeń.

Opisując jednostkowe uśrednione charakterystyczne obciążenie wiatrem (na wysokości odniesienia z_e), można według normy [2] postawić się formalną analogią do normy [1]. Wówczas:

$$p_k(z_e) = c_s c_d \cdot c_f \cdot c_e(z_e) \cdot q_b, \quad (1)$$

gdzie:
 $c_s c_d$ – współczynnik konstrukcyjny,
 c_f – współczynnik oporu aerodynamicznego,
 $c_e(z_e)$ – współczynnik ekspozycji (na wysokości odniesienia z_e),
 q_b – wartość bazowa ciśnienia prędkości wyrażona zależnością:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$

ρ – gęstość powietrza. Według PN-EN 1991-1-4 przyjmuje się $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$.

Bazową prędkość wiatru oblicza się korzystając z wyrażenia:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}, \quad (2)$$

w którym:

v_b – bazowa prędkość wiatru określona jako funkcja kierunku wiatru i pory roku na wysokości 10 m nad poziomem gruntu w terenie kategorii II,

$v_{b,0}$ – wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru,

c_{dir} – współczynnik kierunkowy; dla silosów można przyjmować $c_{dir} = 1,0$,

c_{season} – współczynnik sezonowy; można przyjmować $c_{season} = 1,0$.

Zgodnie z p. 6.2 normy [2] w przypadku silosów o przekroju kołowym, których wysokość jest mniejsza niż 60 m i mniejsza niż 6,5 ich średnic, można przyjmować wartość iloczynu $c_s c_d = 1$. W takim przypadku równanie (1) upraszcza się do postaci:

$$p_k(z_e) = c_f \cdot c_e(z_e) \cdot q_b. \quad (1)$$

Wartość podstawową bazowej prędkości wiatru oraz wartość współczynnika ekspozycji określa się na podstawie tablic NB.1 i NB.3 podanych w Załączniku krajowym NA do normy [2]. Natomiast charakterystyczne ciśnienie wiatru działające na powierzchnie zewnętrzne konstrukcji wyraża się wzorem:

$$w_e(z_e, \alpha) = c_{pe}(\alpha) \cdot c_e(z_e) \cdot q_b, \quad (3)$$

gdzie:

$c_{pe}(\alpha)$ – współczynnik ciśnienia zewnętrznego (por. p. 2).

Należy zauważyć, że o ile ciśnienie wiatru według wzoru (3) ma charakter ogólny, obciążenie uśrednione według wzoru (1) można stosować tylko, gdy spełnione są odpowiednie założenia; w przypadku komór cylindrycznych – będą to założenia dotyczące długich powłok walcowych.

2. Współczynnik ciśnienia zewnętrznego

Współczynniki ciśnienia zewnętrznego $c_{pe}(\alpha)$ dla walców kołowych, które mogą modelować komo-

ry cylindryczne, należy ustalać na podstawie wyrażenia (4)

$$c_{pe}(\alpha) = c_{p,0}(\alpha) \cdot \psi_{\lambda\alpha}, \quad (4)$$

gdzie:

$c_{p,0}(\alpha)$ – współczynnik ciśnienia zewnętrznego dla walca kołowego określany bez uwzględnienia wpływu swobodnego końca (patrz niżej),

$\psi_{\lambda\alpha}$ – współczynnik wpływu swobodnego końca (patrz wyrażenie (6)).

Rozkład wartości współczynnika ciśnienia zewnętrznego $c_{p,0}$ na obwodzie walca w funkcji kąta α dla różnych wartości liczby Reynoldsa Re podano na rysunku 2.1. Współczynniki $c_{p,0}$ zależą od liczby Reynoldsa wyznaczanej za pomocą wyrażenia (5):

$$Re = b \cdot v(z_e) / \nu \quad (5)$$

gdzie: b – średnica,
 ν – lepkość kinematyczna powietrza ($\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$), $v(z_e)$ – wartość szczytowa prędkości na wysokości z_e , zdefiniowana w Uwadze 2 do rysunku 2.1.

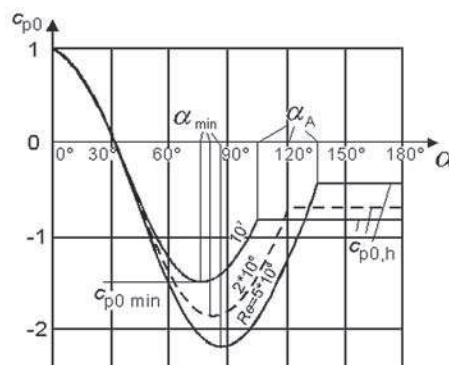
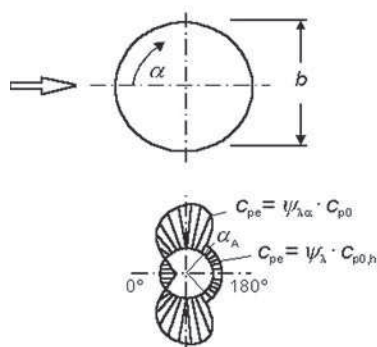
Współczynnik wpływu swobodnego końca przedstawia wyrażenie (6):

$$\psi_{\lambda\alpha} = 1 \text{ dla } 0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{min}$$

$$\psi_{\lambda\alpha} = \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{min}}{\alpha_A - \alpha_{min}}\right)\right)$$

$$\text{dla } \alpha_{min} < \alpha < \alpha_A$$

$$\psi_{\lambda\alpha} = \psi_{\lambda} \text{ dla } \alpha_A \leq \alpha \leq 180^\circ \quad (6)$$



Rys. 2.1. Rozkład ciśnienia na walcu kołowym, przy różnych wartościach liczby Reynoldsa i bez wpływu swobodnych końców

gdzie:

α_A – kąt określający położenie punktu oderwania przepływu (patrz rys. 2.1),

ψ_λ – współczynnik wpływu swobodnego końca określa (orientacyjnie) rys. 7.36 normy [2],

α_{min} – kąt określający miejsce najniższego ciśnienia [°],

$c_{p,0,min}$ – najmniejsza wartość współczynnika ciśnienia,

$c_{p,0,h}$ – współczynnik bazowy ciśnienia (na zawietrznej części walca).

Uwagi do rysunku 2.1 są następujące:

Uwaga 1: Wartości pośrednie można interpolować liniowo.

Uwaga 2: Typowe wartości charakteryzujące powyższy rozkład ciśnienia na walcu kołowym przy różnych wartościach liczby *Reynoldsa* i bez wpływu swobodnych końców są podane w tabelicy 7.12 normy [2], a typowe wartości wysokości chropowatości *k* – w tabelicy 7.13 [2].

Wykres i tabelicę opracowano dla liczby *Reynoldsa* obliczonej przy prędkości wiatru

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$$

i dla wartości q_p określonych według wzoru $q_p(z_p) = c_e(z_p) \cdot q_b$.

Uwaga 3: Wykres j.w. opracowano dla chropowatości względnej $k/b < 5 \cdot 10^{-4}$ [2].

W przypadku walców usytuowanych w pobliżu płaskich powierzchni

ni w odległości względnej $z_g/b < 1,5$ (por. rys. 7.29 normy [2]), np. powierzchni ściany wieży operacyjnej, konieczna jest „porada specjalisty z dziedziny oddziaływania wiatru na konstrukcje” [2]. Oddziaływania wiatru na konstrukcje tak usytuowanych walców można obliczać, przy spełnieniu założeń co do warunków brzegowych, wykorzystując nomogramy współczynników ciśnienia zewnętrznego według zaleceń normy francuskiej Règles N. V. 65 [3].

3. Współczynnik oporu aerodynamicznego

Współczynnik oporu aerodynamicznego c_f pojedynczego walca kołowego o skończonej długości wyznacza się ze wzoru:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda, \quad (7)$$

gdzie:

$c_{f,0}$ – współczynnik oporu aerodynamicznego walca bez wpływu swobodnego końca określa rysunek 7.28 normy [2],

ψ_λ – współczynnik j.w.

W przypadku silosów cylindrycznych można stosować wzór:

$$c_{f,0} = 1,2 + \frac{0,18 \cdot \log(10 \cdot k/b)}{1 + 0,4 \cdot \log(Re/10^6)} \quad (8)$$

W przypadku pionowych walców kołowych ustawionych w rzędzie współczynnik oporu aerodynamicznego $c_{f,0}$ zależy od kierunku wiatru względem osi rzędu oraz

od stosunku odległości *a* do średnicy *b*, jak podano w tabeli 3.1. Współczynnik oporu aerodynamicznego c_p każdego walca można wyznaczać z wyrażenia (9):

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \cdot \kappa, \quad (9)$$

gdzie:

κ – współczynnik podany w Tabelicy 3.1 (dla najniekorzystniejszego kierunku wiatru).

W przypadku silosów cylindrycznych współczynnik κ najczęściej przyjmuje się równy 1,15, również wówczas, gdy $a/b = 1,0$; czyli w sytuacji, gdy komory silosu stykają się.

4. Analiza porównawcza oddziaływań wiatru

Przeprowadzono analizę porównawczą oddziaływań wiatru na silosy żelbetowe na podstawie obu norm: [2] oraz [1].

Przykład obliczeniowy.

Silos stanowi pojedyncza zamknięta komora żelbetowa o zewnętrznym promieniu kopuły cylindrycznej 7,35 m (promień średni $r_s = a = 7,22$ m), o wysokości 40 m. Z uwagi na izolację termiczną i obudowę – średnica zewnętrzna wynosi 15 m. Część cylindryczna o grubości 40 cm została zaprojektowana z betonu monolitycznego w szalunku ślizgowym, część dolną – fundament płytowy zaprojektowano o konstrukcji monolitycznej. Przyjęto I strefę, $q_k = 0,25$ kN/m² według normy [1] oraz $v_b = 22$ m/s według [2], powierzchnię gładką; $C_x = 0,56$ według normy [1] oraz chropowatość powierzchni $k = 0,2$ mm według [2], teren A według normy [1] oraz teren kategorii II według normy [2].

W wyniku przeprowadzonych obliczeń (bez uwzględniania zaburzeń brzegowych) wyznaczono siły pionowe według wzoru:

$$n_x(z, \alpha) = \frac{M(z)}{\pi a^2} \cos \alpha \quad (10)$$

gdzie $M(z)$ – moment zginający w przekroju w poziomie z od ciśnienia wiatru działającego powyżej

Tabela 3.1. Współczynnik κ pionowych walców kołowych ustawionych w rzędzie

a/b	κ
$a/b < 3,5$	1,15
$3,5 < a/b < 30$	$\kappa = \frac{210 - \frac{a}{b}}{180}$
$a/b > 30$	1,00

a – odległość, b – średnica

tego przekroju oraz siły równoleżnikowe – według wzoru:

$$n_{\alpha}(z, \alpha) = -p(z, \alpha) \cdot r_s \quad (11)$$

W przypadku użycia normy [2] ciśnienie obliczeniowe wiatru p odpowiada iloczynowi $w_e \cdot \gamma_r$. Otrzymano następujące porównanie obciążeń wiatrem i sił wewnętrznych wyznaczonych według obu norm [1, 2]. Uśrednione charakterystyczne obciążenie wiatrem na wysokości 40 m wyniosło $p_k = 0,378 \text{ kN/m}^2$ według normy [1] oraz $0,473 \text{ kN/m}^2$ według [2], zaś obliczeniowe obciążenie wiatrem na tej wysokości wyniosło $p = 0,491 \text{ kN/m}^2$ według normy [1] oraz $0,710 \text{ kN/m}^2$ według [2]. Podobnie charakterystyczne ciśnienie wiatru działające na powierzchnie zewnętrzne konstrukcji (tj. w_e według [2]) na wysokości 40 m wyniosło $0,899 \text{ kN/m}^2$ według normy [1] oraz $1,456 \text{ kN/m}^2$ według [2], zaś obliczeniowe ciśnienie wiatru na tej wysokości wyniosło $1,169 \text{ kN/m}^2$ według normy [1] oraz $2,183 \text{ kN/m}^2$ wg [2]. Tym samym charakterystyczne siły równoleżnikowe n_{α} (wynoszące na tej wysokości zgodnie z normą [1] $6,49 \text{ kN/m}$) wzrastają do $10,51 \text{ kN/m}$ według [2] – tj. o 62%, zaś

obliczeniowe siły równoleżnikowe n_{α} (wynoszące na wysokości 40 m zgodnie z normą [1] $8,44 \text{ kN/m}$) wzrastają do $15,76 \text{ kN/m}$ wg [2] – tj. o 90%. Równocześnie charakterystyczne siły pionowe n_x wzrastają według normy [2] w stosunku do normy [1] mniej niż siły równoleżnikowe n_{α} – tj. o 25 %, zaś obliczeniowe siły pionowe n_x wzrastają według normy [2] w stosunku do normy [1] o 44,6%. Większy wzrost sił równoleżnikowych w stosunku do sił pionowych wynika ze wzrostu podanych w normie [2] współczynników ciśnienia zewnętrznego $c_{pe}(\alpha)$ dla walców kołowych w stosunku do normy [1] oraz mniejszej redukcji wpływu swobodnego końca (wz. (6)).

5. Wnioski

Z zestawienia sił wewnętrznych n_x i n_{α} powstających w silosach żelbetowych od wiatru wynika, że wartości charakterystyczne tych sił wyznaczone na podstawie normy [2] są znacznie większe od tego typu wartości wyznaczonych według dotychczasowej normy obciążenia wiatrem [1]. Algorytmy obliczeniowe obu

norm znacznie się różnią. Ponadto zasadnicze znaczenie ma zmiana wartości prędkości wiatru i współczynników obciążenia. Według normy [1] przyjmowano dotychczas współczynnik 1,3, podczas gdy według normy zharmonizowanej [2] współczynnik obciążenia wiatrem wynosi 1,5.

NORMY

- [1] PN-77/B-02011 Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie wiatrem
- [2] PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru
- [3] Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions at annexes, règles N. V. 65 révisées 1967, Paris, Janvier 1968

BIBLIOGRAFIA

- [4] Lechman M., Obciążenie wiatrem kominów żelbetowych według wymagań norm PN-EN 1991-1-4 i PN-EN 13084, „Budownictwo w energetyce”, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej No. 90, Seria: Studia i Materiały No. 19, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008, s. 123-139
- [5] Żurański, J. A., Wpływ warunków klimatycznych i terenowych na obciążenie wiatrem konstrukcji budowlanych, Prace Naukowe Instytutu Techniki Budowlanej, ITB, Warszawa 2005

Wyburzanie wysokich obiektów stalowych z wykorzystaniem robót strzałowych

Dr inż. Ryszard Morawa, dr inż. Józef Lewicki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

1. Zagadnienia wstępne

Stalowe obiekty, które mogą podlegać wyburzeniom za pomocą robót strzałowych, można podzielić na dwie główne grupy:

- obiekty posadowione na żelbetowych fundamentach,
- obiekty ruchome, niezwiązane z gruntem.

W pierwszej grupie można wyróżnić obiekty górnicze, energetyczne, takie jak: wieże szybowe, nadszybia, stalowe budowle w hutnictwie, hale kotłowni w elektrowniach, zbiorniki kamienia oparte na stalowych słupach, obiekty flotacji, płuczki, słupy linii przesyłowych inne podobne konstrukcje stalowe. W drugiej grupie znajdują się

ruchome maszyny, takie jak: koparki, zwałowarki, mosty przerzutowe, mosty ruchome w hutach itp.

Wyburzenie obiektów o konstrukcji stalowej dokonywane jest na kilka sposobów:

- sukcesywne rozcinanie palnikami,
- rozcinanie palnikami i ściąganie wielkich elementów liną lub dźwigiem,