

Michał CŹWIK
Marian GIŹEJOWSKI
Politechnika Warszawska

Adam GOLIGER
CSIR Built Environment, Republika Południowej Afryki

PORÓWNANIE ODDZIAŁYWANIA WIATRU NA BUDYNKI WEDŁUG NORM POLSKICH I POŁUDNIOWOAFRYKAŃSKICH. CZĘŚĆ 2. PRZYKŁADY OBLICZEŃ

Na trzech przykładach, tj. typowego budynku mieszkalnego jednorodzinnego, hali przemysłowej i wysokiego budynku biurowego, przedstawiono procedury obliczania oddziaływania wiatru według norm polskich i południowoafrykańskich na konstrukcje budowlane. Porównano wyniki obliczeń i wyciągnięto wnioski.

1. Wprowadzenie

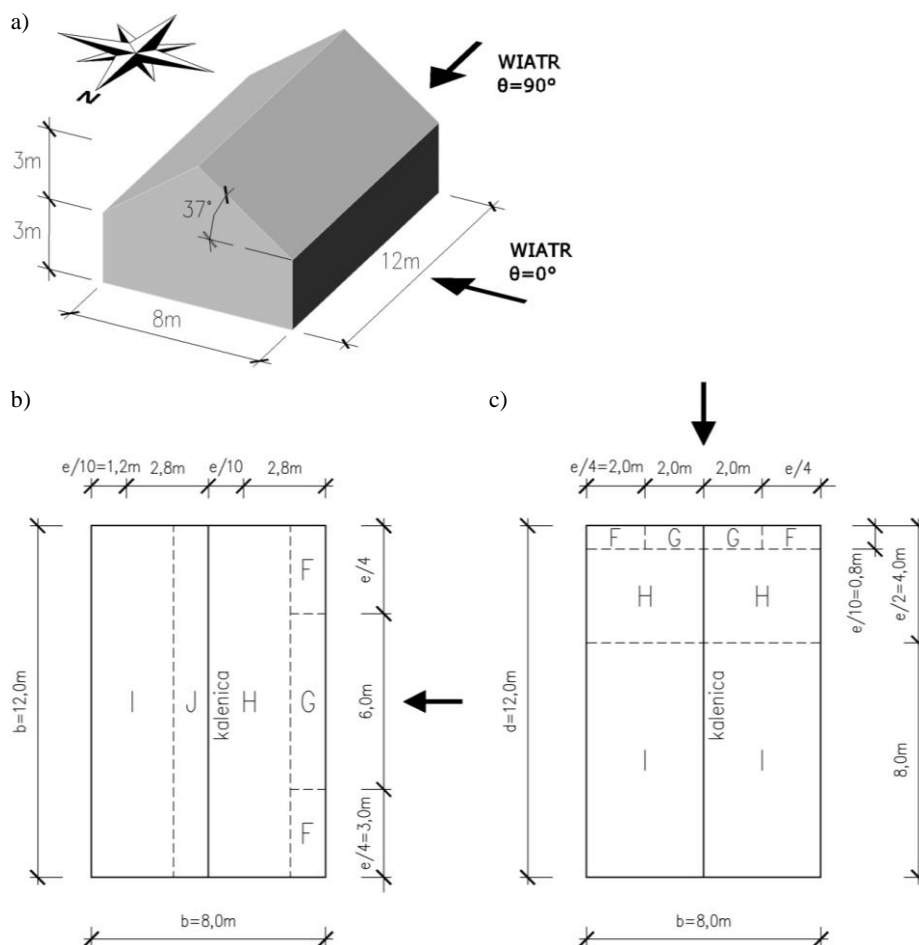
W części 1. artykułu (*Podstawy normalizacji obliczeń*) omówiono nowe zasady określania oddziaływania wiatru na budynki według norm krajowych i południowoafrykańskich, przyjmując jako podstawę normę europejską EN 1991-1-4 [1]. W niniejszej części przedstawiono trzy przykłady obliczeniowe.

Pierwszy przykład dotyczy tradycyjnego jednorodzinnego budynku mieszkalnego z dachem dwuspadowym. W drugim przedstawiono obliczenia obciążenia wiatrem hali przemysłowej. Ostatni przykład dotyczy wysokiego budynku biurowego. Obliczono wartość szczytową ciśnienia prędkości wiatru. Podano wartości współczynników ciśnienia zewnętrznego dla elementów o powierzchni powyżej 10 m², używane w obliczeniach konstrukcji nośnych budynków jako całości. Wartości współczynników ciśnienia wewnętrznego nie zależą od wielkości przegród. Obliczono ciśnienie oddziałujące na wybrane powierzchnie budynków. Obliczenia zostały przeprowadzone zgodnie z procedurami wskazanymi w normach EN [1], PN-EN [2] i SANS [3]. W przypadku wszystkich przykładów założono strefę obciążenia wiatrem odpowiadającą największym obszarom poszczególnych krajów, odpowiednio według PN-EN [2] strefa I ($V_{b,0} = 22$ m/s) i według SANS [3] strefa $v_{b,0} = 28$ m/s. W obliczeniach prowa-

dzonych według EN [1] założono wartość podstawowej bazowej prędkości wiatru zgodną z PN-EN [2]. Obliczenia według PN-EN [2] zostały wykonane zgodnie z Załącznikiem krajowym.

Przykład 1.

Przyjęto następujące dane: budynek o rzucie 8 x 12 m z dachem dwuspadowym o kącie spadku 37° bez okapów, o wysokości ścian 3 m i wysokości całkowitej 6 m. Orientacja ścian dłuższych wschód–zachód (rys. 1.). Teren kategorii II (odpowiednio kategoria B według SANS [3]).



Rys. 1. Budynek mieszkalny z dachem dwuspadowym (a); zaznaczono pola dachu w zależności od kierunku wiatru (b, c)

Obliczenia przeprowadzono dla dwóch kierunków wiatru: prostopadłego (tab. 1., 2.) i równoległego (tab. 3., 4.) do kalenicy. W obu przypadkach uwzględniono współczynnik kierunkowy.

Tabela 1. Obliczenia wartości szczytowej ciśnienia prędkości wiatru; kierunek wiatru prostopadły do kalenicy

Wielkość	Norma		
	PN-EN	EN	SANS
Wysokość konstrukcji h	6 m		
Szerokość konstrukcji b	12 m		
Długość konstrukcji d	8 m		
Stosunek h/d	0,75		
$e = \min(b, 2h)$	12 m		
Kąt spadku dachu	37°		
Kierunek wiatru	zachodni (sektor 10. – 270°)		
Strefa obciążenia wiatrem	1.	1.	28 m/s
Kategoria terenu	II	II	B
$v_{b,0}$	22,0 m/s	22,0 m/s	28,0 m/s
c_{dir}	1,0	1,0	1,0
c_{seson}	1,0	1,0	1,0
c_{prob}	1,0	1,0	1,0
$v_b = c_{dir}c_{seson}c_{prob}v_{b,0}$	22,0 m/s	22,0 m/s	28,0 m/s
$c_r(h)$	0,917	0,910	0,938
$c_o(h)$	1,0	1,0	1,0
$v_m(h) = c_r(h)c_o(h)v_b$	20,2 m/s	20,0 m/s	–
$v_{b,peak} = 1,4v_b$	–	–	39,2 m/s
$v_p = c_r(h)c_o(h)v_{b,peak}$	–	–	36,8 m/s
ρ	1,25 kg/m ³	1,25 kg/m ³	1,20 kg/m ³
$q_{b,0}$	0,300 kN/m ²	–	–
$q_b = 0,5\rho v_b^2$ dla PN-EN można = $c_{dir}c_{seson}c_{prob}^2 q_{b,0}$	0,300 kN/m ²	0,303 kN/m ²	–
$I_v(h) = 1/c_o(h) \ln(h/z_0)$	0,209	0,209	–
$c_e(h)$ dla PN-EN = $2,3 h/10^{0,24} c_o^2(h)$ dla EN = $1 + 7I_v(h) c_r(h)c_o(h)^2$	2,03	2,04	–
$q_p(h) = c_e(h)q_b$	0,610 kN/m ²	0,616 kN/m ²	0,811 kN/m ²

Tabela 2. Współczynniki ciśnienia i wartości charakterystyczne obciążenia wiatrem dachu budynku; kierunek wiatru prostopadły do kalenicy

Wielkość	Norma	Pole dachu				
		F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	PN-EN, EN, SANS	-0,267 0,700	-0,267 0,700	-0,107 0,493	-0,307 0	-0,407 0
$w_{e,10} = q_p(h)c_{pe,10}$	PN-EN	-0,163 0,427	-0,163 0,427	-0,065 0,301	-0,187 0	-0,248 0
		-0,164 0,431	-0,164 0,431	-0,066 0,304	-0,189 0	-0,251 0
	EN	-0,164 0,431	-0,164 0,431	-0,066 0,304	-0,189 0	-0,251 0
		-0,164 0,431	-0,164 0,431	-0,066 0,304	-0,189 0	-0,251 0
	SANS	-0,216 0,568	-0,216 0,568	-0,087 0,400	-0,189 0	-0,251 0
		-0,216 0,568	-0,216 0,568	-0,087 0,400	-0,189 0	-0,251 0
$w_i = q_p(h)c_{pi}$ $c_{pi} = 0,2$ lub $c_{pi} = -0,3$	PN-EN	0,122 -0,183				
		0,123 -0,185				
	EN	0,123 -0,185				
		0,123 -0,185				
	SANS	0,162 -0,243				
		0,162 -0,243				
$w_{net,10} = w_{e,10} - w_i$	PN-EN	-0,285 0,020 0,305 0,610	-0,285 0,020 0,305 0,610	-0,187 0,118 0,179 0,484	-0,309 -0,004 -0,122 0,183	-0,370 -0,065 -0,122 0,183
		-0,285 0,020 0,305 0,610	-0,285 0,020 0,305 0,610	-0,187 0,118 0,179 0,484	-0,309 -0,004 -0,122 0,183	-0,370 -0,065 -0,122 0,183
		-0,285 0,020 0,305 0,610	-0,285 0,020 0,305 0,610	-0,187 0,118 0,179 0,484	-0,309 -0,004 -0,122 0,183	-0,370 -0,065 -0,122 0,183
		-0,285 0,020 0,305 0,610	-0,285 0,020 0,305 0,610	-0,187 0,118 0,179 0,484	-0,309 -0,004 -0,122 0,183	-0,370 -0,065 -0,122 0,183
	EN	-0,288 0,021 0,308 0,616	-0,288 0,021 0,308 0,616	-0,189 0,119 0,181 0,489	-0,312 -0,004 -0,123 0,185	-0,374 -0,066 -0,123 0,185
		-0,288 0,021 0,308 0,616	-0,288 0,021 0,308 0,616	-0,189 0,119 0,181 0,489	-0,312 -0,004 -0,123 0,185	-0,374 -0,066 -0,123 0,185
		-0,288 0,021 0,308 0,616	-0,288 0,021 0,308 0,616	-0,189 0,119 0,181 0,489	-0,312 -0,004 -0,123 0,185	-0,374 -0,066 -0,123 0,185
		-0,288 0,021 0,308 0,616	-0,288 0,021 0,308 0,616	-0,189 0,119 0,181 0,489	-0,312 -0,004 -0,123 0,185	-0,374 -0,066 -0,123 0,185
	SANS	-0,378 0,027 0,405 0,811	-0,378 0,027 0,405 0,811	-0,249 0,157 0,238 0,643	-0,411 -0,005 -0,162 0,243	-0,492 -0,087 -0,162 0,243
		-0,378 0,027 0,405 0,811	-0,378 0,027 0,405 0,811	-0,249 0,157 0,238 0,643	-0,411 -0,005 -0,162 0,243	-0,492 -0,087 -0,162 0,243
		-0,378 0,027 0,405 0,811	-0,378 0,027 0,405 0,811	-0,249 0,157 0,238 0,643	-0,411 -0,005 -0,162 0,243	-0,492 -0,087 -0,162 0,243
		-0,378 0,027 0,405 0,811	-0,378 0,027 0,405 0,811	-0,249 0,157 0,238 0,643	-0,411 -0,005 -0,162 0,243	-0,492 -0,087 -0,162 0,243

UWAGA: Czcionką pogrubioną zaznaczono maksymalne wartości parcia i ssania wiatru.

Tabela 3. Obliczenia wartości szczytowej ciśnienia prędkości wiatru; kierunek wiatru równoległy do kalenicy (dla PN-EN $c_{dir} = 0,7$)

Wielkość	Norma		
	PN-EN	EN	SANS
Wysokość konstrukcji h	6 m		
Szerokość konstrukcji b	8 m		
Długość konstrukcji d	12 m		
Stosunek h/d	0,50		
$e = \min(b, 2h)$	8 m		
Kierunek wiatru	południowy (sektor 7. – 180°)		
c_{dir}	0,7	1,0	1,0
$v_b = c_{dir}c_{seson}c_{prob}v_{b,0}$	15,4 m/s	22,0 m/s	28,0 m/s
$q_p(h) = c_e(h)q_b$	0,299 kN/m ²	0,616 kN/m ²	0,811 kN/m ²

Tabela 4. Współczynniki ciśnienia i wartości charakterystyczne obciążenia wiatrem dachu budynku; kierunek wiatru równoległy do kalenicy (dla PN-EN $c_{dir} = 0,7$)

Wielkość	Norma	Pole dachu			
		F	G	H	I
$c_{pe,10}$	PN-EN, EN, SANS	-1,100	-1,400	-0,847	-0,500
$w_{e,10} = q_p(h)c_{pe,10}$	PN-EN	-0,329	-0,419	-0,253	-0,150
	EN	-0,678	-0,863	-0,522	-0,308
	SANS	-0,892	-1,135	-0,687	-0,405
$w_i = q_p(h)c_{pi}$ $c_{pi} = 0,2$	PN-EN	0,060			
	EN	0,123			
	SANS	0,162			
$w_{net,10} = w_{e,10} - w_i$	PN-EN	-0,389	-0,479	-0,313	-0,209
	EN	-0,801	-0,986	-0,645	-0,431
	SANS	-1,054	-1,298	-0,849	-0,568

W przypadku kierunku prostopadłego do kalenicy różnica pomiędzy wartościami szczytowymi ciśnienia prędkości wiatru, obliczonymi zgodnie z EN [1] a PN-EN [2], wynosząca ok. 1% wynika z różnych metod obliczania współczynnika $c_e(h)$ oraz zastosowania dla obliczeń według PN-EN [2] wartości $q_{b,0}$ z Załącznika krajowego, która jest nieco niższa niż ta obliczona według EN [1], zgodnie ze wzorem $q_b = 0,5\rho v_b^2$. Wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru obliczona zgodnie z SANS [3] jest o 32% wyższa od tej obliczonej według EN [1]. Głównym tego powodem jest o 27% większa wartość podstawowej bazowej prędkości wiatru, która w przeliczeniu na podstawowe bazowe ciśnienie prędkości wiatru wynosi 61%. Różnica w wartościach ciśnienia jest niwelowana mniejszym współczynnikiem ekspozycji oraz niższą gęstością powietrza.

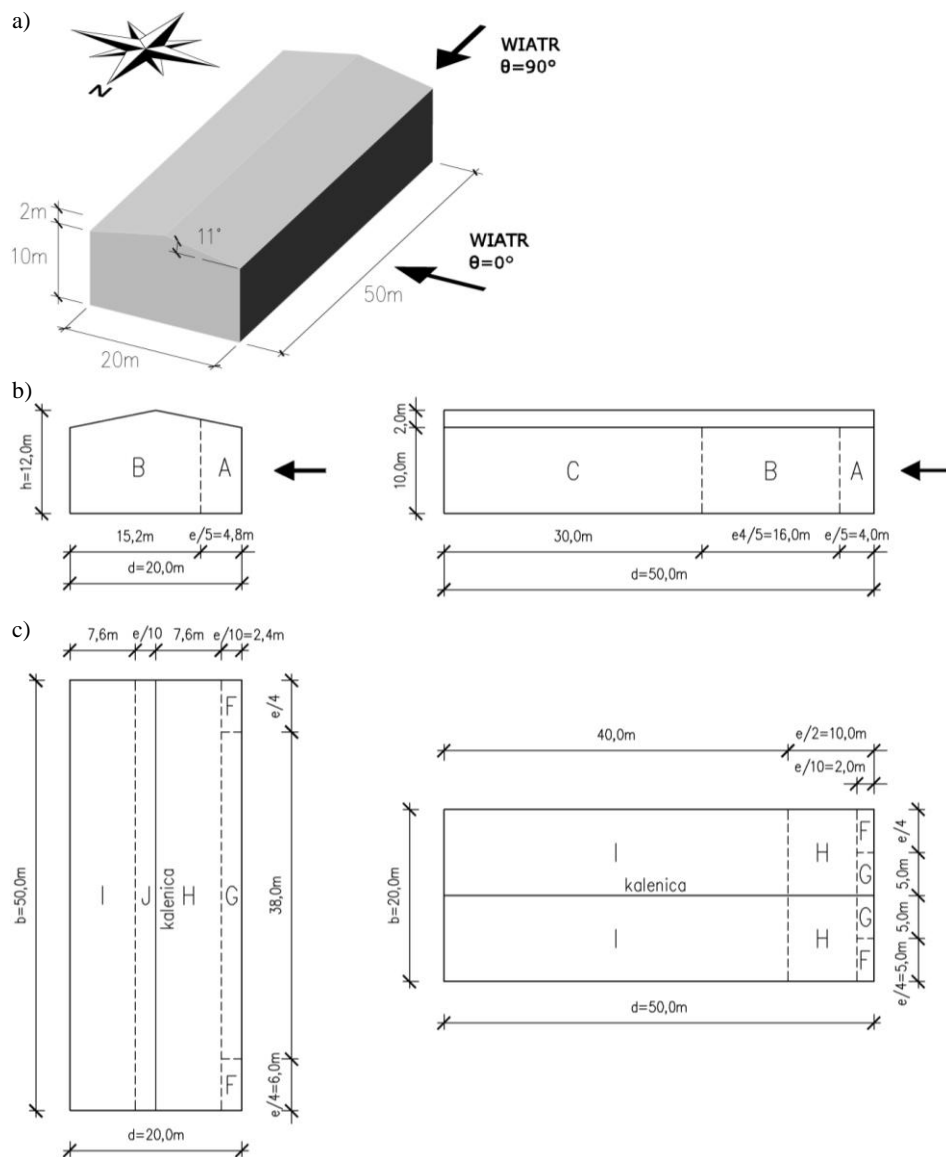
Ponieważ wartości współczynników ciśnienia zewnętrznego i wewnętrznego wskazane w normach EN [1], PN-EN [2] i SANS [3] są identyczne, różnice w wartościach ciśnienia na poszczególne przegrody wynikają wyłącznie z różnic w wartościach szczytowych ciśnienia prędkości wiatru.

W tabeli 3. wskazano jedynie te wartości, na które wpływ ma współczynnik kierunkowy. Pozostałe wartości pozostają bez zmian, zgodnie z danymi zawartymi w tab. 1. Wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru obliczona według normy z PN-EN [2] dla współczynnika kierunkowego $c_{dir} = 0,7$ jest niższa o 51% od tej obliczonej dla $c_{dir} = 1,0$. W obliczeniach według norm EN [1] i SANS [3] przyjęto zalecaną wielkość $c_{dir} = 1,0$.

Podobnie jak dla kierunku wiatru prostopadłego dla kalenicy i w przypadku kierunku równoległego wartości współczynników ciśnienia zewnętrznego i wewnętrznego wskazane w normach EN [1], PN-EN [2] i SANS [3] są identyczne i różnice w wartościach ciśnienia na poszczególne przegrody wynikają wyłącznie z różnic w wartościach szczytowych ciśnienia prędkości wiatru.

Przykład 2.

Przyjęto następujące dane: hala o rzucie 20 x 50 m z dachem dwuspadowym o kącie spadku 11° bez okapów, o wysokości ścian 10 m i wysokości całkowitej 12 m. Orientacja ścian dłuższych wschód–zachód (rys. 2.). Teren kategorii III (odpowiednio kategoria C według SANS [3]).



Rys. 2. Hala przemysłowa z dachem dwuspadowym (a); zaznaczono pola dachu i ścian w zależności od kierunku wiatru, podział ścian (b), podział dachu (c)

Obliczenia przeprowadzono dla dwóch kierunków wiatru: prostopadłego (tab. 5-7.) i równoległego (tab. 8-10) do kalenicy. W obu przypadkach uwzględniono współczynnik kierunkowy.

Tabela 5. Obliczenia wartości szczytowej ciśnienia prędkości wiatru; kierunek wiatru prostopadły do kalenicy

Wielkość	Norma		
	PN-EN	EN	SANS
Wysokość konstrukcji h	12 m		
Szerokość konstrukcji b	50 m		
Długość konstrukcji d	20 m		
Stosunek h/d	0,60		
$e = \min(b, 2h)$	24 m		
Kąt spadku dachu	11°		
Kierunek wiatru	zachodni (sektor 10. – 270°)		
Strefa obciążenia wiatrem	1.	1.	28 m/s
Kategoria terenu	III	III	C
$v_{b,0}$	22,0 m/s	22,0 m/s	28,0 m/s
c_{dir}	1,0	1,0	1,0
c_{seson}	1,0	1,0	1,0
c_{prob}	1,0	1,0	1,0
$v_b = c_{dir}c_{seson}c_{prob}v_{b,0}$	22,0 m/s	22,0 m/s	28,0 m/s
$c_r(h)$	0,828	0,795	0,877
$c_o(h)$	1,0	1,0	1,0
$v_m(h) = c_r(h)c_o(h)v_b$	18,2 m/s	17,5 m/s	–
$v_{b,peak} = 1,4v_b$	–	–	39,2 m/s
$v_p = c_r(h)c_o(h)v_{b,peak}$	–	–	34,4 m/s
ρ	1,25 kg/m ³	1,25 kg/m ³	1,20 kg/m ³
$q_{b,0}$	0,300 kN/m ²	–	–
$q_b = 0,5\rho v_b^2$ dla PN-EN można = $c_{dir}c_{seson}c_{prob}^2 q_{b,0}$	0,300 kN/m ²	0,303 kN/m ²	–
$I_v(h) = 1 / c_o(h) \ln(h/z_0)$	0,271	0,271	–
$c_e(h)$ dla PN-EN = $2,3 h/10^{0,24} c_o^2(h)$ dla EN = $1 + 7I_v(h) c_r(h)c_o(h)^2$	1,99	1,83	–
$q_p(h) = c_e(h)q_b$	0,598 kN/m ²	0,553 kN/m ²	0,710 kN/m ²

Tabela 6. Współczynniki ciśnienia i wartości charakterystyczne obciążenia wiatrem ścian budynku; kierunek wiatru prostopadły do kalenicy

Wielkość	Norma	Pole ściany			
		A	B	D	E
$c_{pe,10}$	PN-EN, EN, SANS	-1,200	-0,800	0,747	-0,393
$w_{e,10} = q_p(h)c_{pe,10}$	PN-EN	-0,717	-0,478	0,446	-0,235
	EN	-0,664	-0,443	0,413	-0,218
	SANS	-0,852	-0,568	0,530	-0,279
$w_i = q_p(h)c_{pi}$ $c_{pi} = 0,2$ lub $c_{pi} = -0,3$	PN-EN	0,120		–	0,120
		–		-0,179	–
	EN	0,111		–	0,111
		–		-0,166	–
	SANS	0,142		–	0,142
		–		-0,213	–
$w_{net,10} = w_{e,10} - w_i$	PN-EN	-0,837	-0,598	0,626	-0,355
	EN	-0,775	-0,553	0,579	-0,328
	SANS	-0,994	-0,710	0,743	-0,421

Tabela 7. Współczynniki ciśnienia i wartości charakterystyczne obciążenia wiatrem dachu budynku; kierunek wiatru prostopadły do kalenicy

Wielkość	Norma	Pole dachu				
		F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	PN-EN, EN, SANS	-1,220	-0,960	-0,420	-0,480	-0,840
		0,120	0,120	0,120	-0,240	0,080
$w_{e,10} = q_p(h)c_{pe,10}$	PN-EN	-0,729	-0,574	-0,251	-0,287	-0,502
		0,072	0,072	0,072	-0,143	0,048
	EN	-0,675	-0,531	-0,232	-0,266	-0,465
		0,066	0,066	0,066	-0,133	0,044
	SANS	-0,866	-0,681	-0,298	-0,266	-0,465
		0,085	0,085	0,085	-0,133	0,044
$w_i = q_p(h)c_{pi}$ $c_{pi} = 0,2$ lub $c_{pi} = -0,3$	PN-EN	0,120				
		-0,179				
	EN	0,111				
		-0,166				
	SANS	0,142				
		-0,213				
$w_{net,10} = w_{e,10} - w_i$	PN-EN	-0,849	-0,693	-0,371	-0,406	-0,622
		-0,550	-0,394	-0,072	-0,108	-0,323
		-0,048	-0,048	-0,048	-0,263	-0,072
		0,251	0,251	0,251	0,036	0,227
	EN	-0,786	-0,642	-0,343	-0,376	-0,575
		-0,509	-0,365	-0,066	-0,100	-0,299
		-0,044	-0,044	-0,044	-0,243	-0,066
		0,232	0,232	0,232	0,033	0,210
	SANS	-1,008	-0,823	-0,440	-0,483	-0,738
		-0,653	-0,468	-0,085	-0,128	-0,383
		-0,057	-0,057	-0,057	-0,312	-0,085
		0,298	0,298	0,298	0,043	0,270

UWAGA: Czcionką pogrubioną zaznaczono maksymalne wartości parcia i ssania wiatru.

Tabela 8. Obliczenia wartości szczytowej ciśnienia prędkości wiatru; kierunek wiatru równoległy do kalenicy

Wielkość	Norma		
	PN-EN	EN	SANS
Wysokość konstrukcji h	12 m		
Szerokość konstrukcji b	20 m		
Długość konstrukcji d	50 m		
Stosunek h/d	0,24		
$e = \min(b, 2h)$	20 m		
Kierunek wiatru	południowy (sektor 7. – 180°)		
c_{dir}	0,7	1,0	1,0
$v_b = c_{dir} c_{seson} c_{prob} v_{b,0}$	15,4 m/s	22,0 m/s	28,0 m/s
$q_p(h) = c_e(h) q_b$	0,293 kN/m ²	0,553 kN/m ²	0,710 kN/m ²

Tabela 9. Współczynniki ciśnienia i wartości charakterystyczne obciążenia wiatrem ścian budynku; kierunek wiatru równoległy do kalenicy

Wielkość	Norma	Pole ściany				
		A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	PN-EN, EN, SANS	-1,200	-0,800	-0,500	0,700	-0,300
$w_{e,10} = q_p(h) c_{pe,10}$	PN-EN	-0,351	-0,234	-0,146	0,205	-0,088
	EN	-0,664	-0,443	-0,277	0,387	-0,166
	SANS	-0,852	-0,568	-0,355	0,497	-0,213
$w_i = q_p(h) c_{pi}$ $c_{pi} = 0,2$ lub $c_{pi} = -0,3$	PN-EN	0,059			–	0,059
		–			-0,088	–
	EN	0,111			–	0,111
		–			-0,166	–
	SANS	0,142			–	0,142
		–			-0,213	–
$w_{net,10} = w_{e,10} - w_i$	PN-EN	-0,410	-0,293	-0,205	0,293	-0,146
	EN	-0,775	-0,553	-0,387	0,553	-0,277
	SANS	-0,994	-0,710	-0,497	0,710	-0,355

Tabela 10. Współczynniki ciśnienia i wartości charakterystyczne obciążenia wiatrem dachu budynku; kierunek wiatru równoległy do kalenicy

Wielkość	Norma	Pole dachu			
		F	G	H	I
$c_{pe,10}$	PN-EN, EN, SANS	-1,420	-1,300	-0,640	-0,540
$w_{e,10} = q_p(h) c_{pe,10}$	PN-EN	-0,416	-0,381	-0,187	-0,158
	EN	-0,786	-0,719	-0,354	-0,299
	SANS	-1,008	-0,923	-0,454	-0,383
$w_i = q_p(h) c_{pi}$ $c_{pi} = 0,2$	PN-EN	0,059			
	EN	0,111			
	SANS	0,142			
$w_{net,10} = w_{e,10} - w_i$	PN-EN	-0,474	-0,439	-0,246	-0,217
	EN	-0,896	-0,830	-0,465	-0,409
	SANS	-1,150	-1,065	-0,596	-0,525

Różnica pomiędzy wartościami szczytowymi ciśnienia prędkości wiatru obliczonymi zgodnie z EN [1] a PN-EN [2] wynosząca 8% wynika z odmiennych metod obliczania współczynnika $c_e(h)$ oraz zastosowania dla obliczeń według PN-EN [2] wartości $q_{b,0}$ z Załącznika krajowego, która jest nieco niższa niż ta obliczona według EN [1], zgodnie ze wzorem $q_b = 0,5\rho v_b^2$. Wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru obliczona zgodnie z SANS [3] jest o 28% wyższa od tej obliczonej według normy EN [1]. Podobnie jak w przykładzie 1., głównym powodem jest dużo większa wartość podstawowej bazowej prędkości wiatru niwelowana przez różnice w wartościach ciśnienia i mniejszy współczynnik ekspozycji oraz niższą gęstość powietrza.

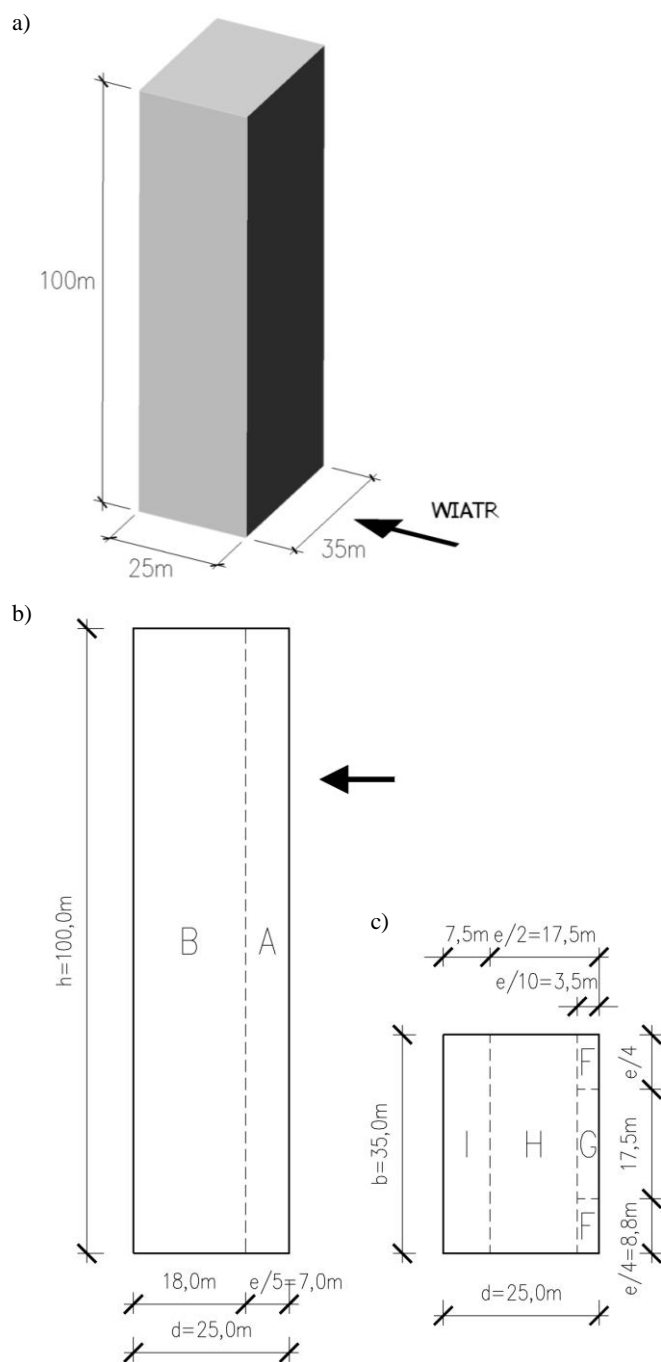
Podobnie jak w przykładzie 1., różnice w wartościach ciśnienia na poszczególne przegrody wynikają wyłącznie z różnic w wartościach szczytowych ciśnienia prędkości wiatru.

Przykład 3.

Przyjęto następujące dane: wysoki budynek biurowy o rzucie 25 x 35 m z płaskim dachem, o wysokości całkowitej 100 m, o konstrukcji mieszanej żelbetowo-stalowej (rys. 3.). Teren kategorii IV (odpowiednio kategoria D według SANS [3]). Wiatr wiejący prostopadle do dłuższej ściany. Ponieważ normy EN [1] i SANS [3] nie podają dla budynków, których wysokość h jest większa niż $2b$, dokładnych wytycznych dotyczących podziału obszaru pośredniego ściany nawietrznej, przyjęto podział zgodnie z wytycznymi Załącznika krajowego do PN-EN [2]. W tabeli 11. przedstawiono obliczenia wartości szczytowej ciśnienia prędkości wiatru, natomiast w tab. 12. i 13. obliczenia współczynników ciśnienia i wartości charakterystycznych obciążenia wiatrem dachu i ścian budynku.

Różnica pomiędzy wartościami szczytowymi ciśnienia prędkości wiatru na wysokości 100 m, obliczonymi zgodnie z EN [1] a PN-EN [2], wynosząca ok. 1%, podobnie jak w pozostałych przykładach, wynika z różnych metod obliczania współczynnika $c_e(h)$ oraz zastosowania dla obliczeń według PN-EN [2] wartości $q_{b,0}$ z Załącznika krajowego. Ta sama wartość szczytowego ciśnienia prędkości wiatru obliczona zgodnie z SANS [3] jest o 25% wyższa od tej obliczonej zgodnie z EN [1]. Tak jak w poprzednich przykładach, głównym powodem jest dużo większa wartość podstawowej bazowej prędkości wiatru niwelowana przez różnice w wartościach ciśnienia i mniejszy współczynnik ekspozycji oraz niższą gęstość powietrza.

Podobnie jak w przykładach 1. i 2. różnice w wartościach ciśnienia na poszczególne przegrody wynikają wyłącznie z różnic w wartościach szczytowych ciśnienia prędkości wiatru.



Rys. 3. Wysoki budynek biurowy z płaskim dachem (a); zaznaczo-
no pola dachu i ścian, podział ścian (b) i dachu (c)

Tabela 11. Obliczenia wartości szczytowej ciśnienia prędkości wiatru; kierunek wiatru prostopadły do dłuższej ściany

Wielkość		Norma		
		PN-EN	EN	SANS
Wysokość konstrukcji h		100 m		
Szerokość konstrukcji b		35 m		
Długość konstrukcji d		25 m		
Stosunek h/d		4,00		
$e = \min(b, 2h)$		35 m		
Kąt spadku dachu		0°		
Kierunek wiatru		dowolny		
Strefa obciążenia wiatrem		1.	1.	28 m/s
Kategoria terenu		IV	IV	D
$v_{b,0}$		22,0 m/s	22,0 m/s	28,0 m/s
c_{dir}		1,0	1,0	1,0
c_{seson}		1,0	1,0	1,0
c_{prob}		1,0	1,0	1,0
$v_b = c_{dir}c_{seson}c_{prob}v_{b,0}$		22,0 m/s	22,0 m/s	28,0 m/s
$c_r(z_e)$	$z_e = h = 100$ m	1,043	1,079	1,098
	$z_e = z_{strip} = 65$ m	0,940	0,978	1,025
	$z_e = b = 35$ m	0,810	0,833	0,924
$c_o(z_e)$		1,0	1,0	1,0
$v_m(z_e) = c_r(z_e)c_o(z_e)v_b$	$z_e = h = 100$ m	22,9 m/s	23,7 m/s	–
	$z_e = z_{strip} = 65$ m	20,7 m/s	21,5 m/s	
	$z_e = b = 35$ m	17,8 m/s	18,3 m/s	
$v_{b,peak} = 1,4 v_b$		–	–	39,2 m/s
$v_p = c_r(h)c_o(h)v_{b,peak}$	$z_e = h = 100$ m	–	–	43,1 m/s
	$z_e = z_{strip} = 65$ m			40,2 m/s
	$z_e = b = 35$ m			36,2 m/s
ρ		1,25 kg/m ³	1,25 kg/m ³	1,20 kg/m ³
$q_{b,0}$		0,300 kN/m ²	–	–
$q_b = 0,5 \rho v_b^2$ dla PN-EN można = $c_{dir}c_{seson}c_{prob}^2 q_{b,0}$		0,300 kN/m ²	0,303 kN/m ²	–
$I_v(z_e) = 1 / c_o(h) \ln(h/z_0)$	$z_e = h = 100$ m	0,217	0,217	–
	$z_e = z_{strip} = 65$ m	0,240	0,240	
	$z_e = b = 35$ m	0,281	0,281	
$c_e(z_e)$ dla PN-EN $= 2,3 h / 10^{0,24} c_o^2(h)$ dla EN $= 1 + 7 I_v(h) c_r(h) c_o(h)^2$	$z_e = h = 100$ m	2,92	2,93	–
	$z_e = z_{strip} = 65$ m	2,58	2,56	
	$z_e = b = 35$ m	2,16	2,06	
$q_p(z_e) = c_e(z_e)q_b$	$z_e = h = 100$ m	0,877 kN/m ²	0,888 kN/m ²	1,112 kN/m ²
	$z_e = z_{strip} = 65$ m	0,774 kN/m ²	0,775 kN/m ²	0,969 kN/m ²
	$z_e = b = 35$ m	0,647 kN/m ²	0,623 kN/m ²	0,787 kN/m ²

Tabela 12. Współczynniki ciśnienia i wartości charakterystyczne obciążenia wiatrem dachu budynku; kierunek wiatru prostopadły do dłuższej ściany

Wielkość	Norma	Pole dachu			
		F	G	H	I
$c_{pe,10}$	PN-EN, EN, SANS	−1,800	−1,200	−0,700	0,200 −0,200
$w_{e,10} = q_p(h)c_{pe,10}$	PN-EN	−1,579	−1,053	−0,614	0,175 −0,175
					0,178 −0,178
	EN	−1,598	−1,065	−0,621	0,222 −0,222
					0,175 −0,175
	SANS	−2,002	−1,335	−0,778	0,222 −0,222
					0,175 −0,175
$w_i = q_p(h)c_{pi}$ $c_{pi} = 0,2$	PN-EN	0,175			0,175 −0,263
					0,178 −0,266
	EN	0,178			0,222 −0,334
					0,175 −0,175
	SANS	0,222			0,222 −0,334
					0,175 −0,175
$w_{net,10} = w_{e,10} - w_i$	PN-EN	−1,755	−1,228	−0,790	0 0,439 −0,351 0,088
					0 0,444 −0,355 0,089
					0 0,556 −0,445 0,111
					0 0,556 −0,445 0,111
	EN	−1,775	−1,243	−0,799	0 0,439 −0,351 0,088
					0 0,444 −0,355 0,089
					0 0,556 −0,445 0,111
					0 0,556 −0,445 0,111
	SANS	−2,224	−1,557	−1,001	0 0,439 −0,351 0,088
					0 0,444 −0,355 0,089
					0 0,556 −0,445 0,111
					0 0,556 −0,445 0,111

UWAGA: Czcionką pogrubioną zaznaczono maksymalne wartości parcia i ssania wiatru.

W tabeli 14. zestawiono obciążenia poziome budynku, uwzględniając współczynnik konstrukcyjny oraz współczynnik braku korelacji między ciśnieniem wiatru po stronie nawietrznej i zawietrznej. Sumaryczne wartości obciążenia poziomego na konstrukcję nośną budynku obliczono według wzoru:

$$w(z_e) = [w_{e,10,D}(z_e) - w_{e,10,E}(z_e)] c_s c_d k_{DE} \quad (1)$$

gdzie k_{DE} – współczynnik uwzględniający brak korelacji między ciśnieniem wiatru po stronie nawietrznej i zawietrznej zależny od stosunku h/d .

Poza innymi wartościami ciśnienia na przegrody, wynikającymi z różnic w wartościach szczytowych ciśnienia prędkości obliczonych zgodnie z poszczególnymi normami, czynnikiem zwiększającym dysproporcje w wartościach sumarycznego obciążenia poziomego na konstrukcję jest współczynnik konstruk-

Tabela 13. Współczynniki ciśnienia i wartości obciążenia zewnętrznego i wewnętrznego wiatrem ścian budynku; kierunek wiatru prostopadły do dłuższej ściany

Wielkość	Norma	Wysokość	Pole ściany			
			A	B	D	E
$c_{pe,10}$	PN-EN, EN, SANS		-1,20	-0,80	0,80	-0,65
$w_{e,10} = q_p(z_e)c_{pe,10}$	PN-EN	100 m	-1,053	-0,702	0,702	-0,570
		65 m			0,620	
		35 m			0,518	
	EN	100 m	-1,065	-0,710	0,710	-0,577
		65 m			0,620	
		35 m			0,499	
	SANS	100 m	-1,335	-0,890	0,890	-0,723
		65 m			0,775	
		35 m			0,630	
$w_i = q_p(h)c_{pi}$ $c_{pi} = 0,2$ lub $c_{pi} = -0,3$	PN-EN		0,175		-	0,175
			-		-0,263	-
	EN		0,178		-	0,178
			-		-0,266	-
	SANS		0,222		-	0,222
			-		-0,334	-
$w_{net,10} = w_{e,10} - w_i$	PN-EN	100 m	-1,228	-0,877	0,965	-0,746
		65 m			0,883	
		35 m			0,781	
	EN	100 m	-1,243	-0,888	0,976	-0,755
		65 m			0,886	
		35 m			0,765	
	SANS	100 m	-1,557	-1,112	1,223	-0,945
		65 m			1,109	
		35 m			0,963	

Tabela 14. Wartości charakterystyczne netto obciążenia wiatrem ścian budynku oraz wartości obciążenia wiatrem budynku; kierunek wiatru prostopadły do dłuższej ściany

Norma	Wysokość	$w_{e,10} = q_p(z_e)c_{pe,10}$				$c_s c_d$	k_{DE}	$w(z_e)$
		A	B	D	E			
PN-EN	100 m	-1,053	-0,702	0,702	-0,570	0,826	0,96	1,01
	65 m			0,620				0,95
	35 m			0,518				0,86
EN	100 m	-1,065	-0,710	0,710	-0,577	0,831	0,96	1,03
	65 m			0,620				0,96
	35 m			0,499				0,86
SANS	100 m	-1,335	-0,890	0,890	-0,723	1,00	0,96	1,55
	65 m			0,775				1,44
	35 m			0,630				1,30

UWAGI:

- 1) Współczynnik konstrukcyjny $c_s c_d$ dla EN [1] i PN-EN [2] obliczono zgodnie z procedurą (1).
- 2) $h/d = 4,0$.
- 3) Współczynnik k_{DE} uwzględnia brak korelacji między ciśnieniem wiatru po stronie nawietrznej i zawietrznej.

cyjny. Różnica pomiędzy wartościami c_s, c_d obliczonymi według norm EN [1] i PN-EN [2], wynosząca w tym konkretnym przypadku ok. 1%, wynika z zastosowania profilu potęgowego prędkości wiatru w PN-EN [2] i profilu logarytmicznego w EN [1]. W SANS [3] wskazano, że dla obiektów objętych normą współczynnik ten powinien być stały i wynosić 1,0. W związku z tym współczynnik obliczony według EN [1] jest o 17% mniejszy od tego przyjętego zgodnie z zaleceniami SANS [3]. W rezultacie wartości sumarycznego obciążenia obliczone zgodnie z SANS [3] są o 51% większe od tych uzyskanych według EN [1]. Różnice pomiędzy EN [1] a PN-EN [2] są niewielkie i nie przekraczają 2%.

2. Podsumowanie

Na trzech przykładach, tj. typowego jednorodzinnego budynku mieszkalnego, hali przemysłowej i wysokiego budynku biurowego, przedstawiono procedury obliczeniowe według nowych norm polskiej PN-EN 1991-1-4 [2], europejskiej EN 1991-1-4 [1] i południowoafrykańskiej SANS 10160 [3]. W obliczeniach w zakresie normy PN-EN 1991-1-4 [2] posłużono się zapisami Załącznika krajowego. Przedstawione przykłady wskazały, że dla strefy obciążenia wiatrem odpowiadającej największym obszarom poszczególnych krajów, odpowiednio według PN-EN [2] strefa I ($V_{b,0} = 22$ m/s) i według SANS [3] strefa $v_{b,0} = 28$ m/s, przy założeniu $c_{dir} = 1$, różnica w wartościach obciążenia przegród typowego jednorodzinnego budynku mieszkalnego wyniosła 32%, a hali przemysłowej – 28%. Dla wysokiego budynku biurowego różnica w wartościach obciążenia przegród wyniosła 25 oraz 51% dla sumarycznego obciążenia budynku. Przy założeniu $c_{dir} = 0,7$ wartości obciążenia określone zgodnie z PN-EN [2] mogą być prawie 2,5-krotnie niższe niż te określone zgodnie z SANS [3].

Niniejszy artykuł powstał jako wynik badań w projekcie badawczym realizowanym w ramach Umowy o Współpracy Naukowo-Technicznej między rządami RP i RPA.

Literatura

- [1] EN 1991-1-4. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions.
- [2] PN-EN 1991-1-4:2008. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru.
- [3] SANS 10160-3:2010. South African National Standard. Basis of structural design and actions for buildings and industrial structures. Part 3: Wind actions. South African Bureau of Standards, Pretoria.

**COMPARISON OF WIND ACTIONS ON BUILDINGS ACCORDING
TO POLISH AND SOUTH-AFRICAN CODES.
PART 2. ILLUSTRATIVE EXAMPLES**

S u m m a r y

For three examples – a typical family residential building, industrial building and high-rise Office building – procedures of the evaluation of wind action according to Polish and South African codes are presented. Obtained results are compared and remarks are formulated.