

Mgr inż. Michał Ćwik

Dr hab. inż. Marian Giżejowski, prof. PW

Politechnika Warszawska

Dr inż. Adam Goliger

CSIR Built Environment, Pretoria, Republika Południowej Afryki

## **Oddziaływania wiatru na budynki według nowych norm krajowej PN-EN 1991-1-4 i południowo-afrykańskiej SANS 10160-3**

### **Cz. 1: Podstawy normalizacji obliczeń**

Charakter zmian klimatycznych jest globalny, co sprawia, że zachodzi konieczność opracowywania nowych zasad określania oddziaływania wiatru na konstrukcje. Zmiany w zasadach określania oddziaływań wiatru na obiekty budowlane są wprowadzane do normalizacji krajów na różnych kontynentach. Prace związane z nowelizacją zasad obliczania oddziaływań wiatrowych na konstrukcje budowlane podjęto m. in. w Republice Południowej Afryki, w związku z wprowadzeniem nowej normy wiatrowej SANS 10160-3:2010 [9], która zastąpiła normę dotychczas obowiązującą SANS 10160-1989 [8]. Ponieważ w pracach normalizacyjnych w RPA wykorzystuje się podejście przyjęte w Eurokodzie EN 1991-1-4 [2], który wprowadzono również w Polsce jako normę PN-EN 1991-1-4 [7], istnieje możliwość wzajemnego porównania zasad określania oddziaływania wiatru na budynki ujętych w normach w RPA i Polsce oraz dyskusji różnic w stosunku do zasad ujętych w normach zastępowanych, odpowiednio SANS 10160-1989 [8] i PN-77/B-02011 [5, 6]. Podstawy normalizacji oddziaływania wiatru na konstrukcje budowlane były omawiane przez Goligera i in. [3, 4] i Dunaiskiego i in. [1] jeżeli chodzi o normalizację w RPA, przez Żurańskiego zaś [10-14] jeżeli chodzi o normalizację krajową.

W artykule omówiono nowe zasady określania oddziaływania wiatru na budynki według norm krajowych i południowo-afrykańskich, przyjmując jako podstawę normę europejską EN 1991-1-4 [2]. Uwzględniono charakterystyki prędkości wiatru, sposób konwersji na ciśnienie prędkości wiatru oraz metody obliczania obciążenia konstrukcji od wiatru, a także porównano procedury obliczeniowe dla reprezentatywnych typów konstrukcji, jak budynki halowe i wielokondygnacyjne. Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniom, które w sposób istotny wpływają na wartość obciążenia wiatrem i w ujęciu nowych norm

zostały różnie rozwiązane. Zrezygnowano z opisu współczynników ciśnienia gdyż normy PN-EN 1991-1-4 [7] i SANS 10160-3:2010 [9] bezpośrednio implementowały ich wartości z EN 1991-1-4 [2] i nie różnią się w tym zakresie.

W ramach procedury wprowadzania nowej normy południowo-afrykańskiej zmieniono nazwę dotychczasowo obowiązującej normy z SABS 0160-1989 na SANS 10160-1989 [8]. Na potrzeby niniejszego artykułu, jedynie w celu ułatwienia odróżnienia norm południowo-afrykańskich, zastępowaną normę południowo-afrykańską SANS 10160-1989 [8] oznaczać będzie się jej poprzednim akronimem tj.: SABS 0160.

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

### **Charakterystyki prędkości wiatru**

Polska położona jest na półkuli północnej pomiędzy równoleżnikami 54°50'N (Jastrzębia Góra) i 49°00'N (szczyt Opołonek), więc leży w strefie wiatrów zachodnich komórki cyrkulacyjnej Ferrela. Podstawowe wartości bazowej prędkości wiatru w normie PN-EN [7] zostały podane w załączniku krajowym, zgodnie z którym Polska została podzielona na trzy strefy obciążenia wiatrem (rys. 1, tabl. 1). Ogromna większość kraju leży w strefie 1, gdzie wartość podstawowej bazowej prędkości wiatru dla przeważających terenów nizinnych (zlokalizowanych na wysokości poniżej 300 m n.p.m.) wynosi 22 m/s. Podział kraju na strefy obciążenia wiatrem w normie PN-B [5, 6] jest tożsamy z tym podanym w normie PN-EN [7]. Odpowiednio duża baza danych meteorologicznych umożliwiła w normie PN-EN [7] określenie współczynnika kierunkowego (patrz tabl. 3), zmniejszającego bazową prędkość wiatru. Wartości współczynnika odzwierciedlając charakterystykę wiatrową Polski znacznie redukują przede wszystkim wschodnie kierunki wiejącego wiatru. Norma PN-B [5, 6] nie wskazuje możliwości redukcji prędkości wiatru ze względu na kierunek, z którego wieje.

Republika Południowej Afryki znajduje się na półkuli południowej pomiędzy równoleżnikami 22°07'S i 34°52'S na pasie niżów średnich szerokości. Przeważającymi są wiatry wschodnie wiejące znad Oceanu Indyjskiego. Norma SANS [9] dzieli obszar Republiki Południowej Afryki również na trzy strefy obciążenia wiatrem, przy czym przeważająca część kraju leży w strefie charakteryzującej się wartością podstawowej bazowej prędkości wiatru wynoszącej 28 m/s (rys. 2). Wartość ta jest o 27% wyższa od tej najczęściej występującej w Polsce. Podziału na strefy obciążenia w normie SABS [8] ma bardzo podobny charakter do tego z normy SANS [9] jednak przedstawia on wartości o czasie uśredniania 3s.

Podobnie jak w SANS [9] większe wartości prędkości wiatru występują w rejonie krainy geograficznej Karoo (Calvinia – Brandvlei – Victoria West) i w rejonie miasta Beaufort West. Większa ilość danych meteorologicznych pozwoliła w nowej wersji normy na dokładniejsze określenie obszarów o zwiększonych wartościach prędkości wiatru. Norma SANS [9] nie przewiduje zastosowania współczynnika kierunkowego. Niemniej zakłada się, że po uzyskaniu odpowiednich danych statystycznych ze stacji meteorologicznych zlokalizowanych na terenie RPA współczynnik ten zostanie opracowany i włączony do przyszłych wersji normy. Norma SABS [8] nie zakładała zastosowania współczynnika redukcyjnego zależnego od kierunku wiatru.

Podstawową wartością bazowej prędkości wiatru w normach EN [2], PN-EN [7] i SANS [9] jest wartość będąca kwantylem rozkładu prawdopodobieństwa wartości średniej 10. minutowej, o rocznym prawdopodobieństwie przekroczenia 0,02, która jest niezależna od kierunku wiatru i pory roku, na wysokości 10 m nad poziomem gruntu, w otwartym niezalesionym terenie wiejskim, i o pojedynczych przeszkodach oddalonych od siebie przynajmniej na odległość ich 20-krotnej wysokości. Opis terenu odpowiada kategorii II terenu wg [2] i [7] i kategorii B wg [9]. W normie PN-B [5, 6] podstawowa wartość określona jest jako charakterystyczna prędkość wiatru. Swoją charakterystyką odpowiada ona wartości bazowej prędkości wiatru opisanej w [2, 7, 9]. Norma SABS [8] podaje regionalną podstawową prędkość wiatru, charakteryzującą się czasem uśredniania równym 3 s.

Podstawowe wartości prędkości wiatru mogą być modyfikowane poprzez uwzględnienie współczynników związanych z innym niż 50-letnim okresem powrotu, kierunkiem wiatru i porą roku. W tablicy 2 przedstawione zostały charakterystyki wielkości podstawowych prędkości wiatru dla poszczególnych norm oraz możliwości uwzględnienia współczynników zmieniających.

Intensywność i charakter występujących przeszkód terenowych odzwierciedlone są przez normowe kategorie chropowatości terenu oraz wykresy prędkości średniej wiatru w funkcji wysokości nad poziom terenu zwane profilami pionowymi wiatru. Podziały na poszczególne kategorie powstały w oparciu o skalę chropowatości powierzchni. Podobnie jak w Eurokodzie EN 1991-1-4 [2], w aktualnej polskiej normie PN-EN 1991-1-4:2008 [7] wyróżniono 5 kategorii terenu. W południowoafrykańskiej SANS 10160-3:2009 [9] wyróżnione zostały tylko 4 kategorie. W tablicy 4 przedstawiono porównanie podziału na kategorie dla EN [2], PN-EN [7] i SANS [9] oraz norm wycofanych polskiej PN-B [5] i południowoafrykańskiej SABS [8].

Normy EN [2] i PN-EN [7] są tożsame w zakresie opisu kategorii terenów. Kategorie opisane w EN [2] i PN-EN [7] numerem I, II, III i IV odpowiadają odpowiednio kategoriom A, B, C i D w normie SANS [9] a kategorie II, III i IV kategoriom A, B i C normy PN-B [5]. W porównaniu z PN-B [5] w normie PN-EN [7] dodane zostały dwie kategorie charakteryzujące brzegi morskie – kategoria 0 i jeziora – kategoria I (patrz rys. 4). Trochę inaczej rzecz ma się w przypadku kategorii terenu opisanych w SABS [8]. Przy opracowywaniu nowej normy południowoafrykańskiej zrezygnowano bowiem z kategorii 4, opisującej pionowy profil wiatru dla terenów silnie zurbanizowanych. Stało się tak dlatego, gdyż niezbędna do rozwinięcia takiego profilu odległość nad terenem o wymaganej chropowatości (ok. 7 km) przewyższała wielkości centrów miast w RPA. Jednocześnie zaproponowana w normie SANS [9] kategoria C wypełniła lukę pomiędzy kategoriami 2 i 3 w SABS [8] (patrz rys. 5).

Dla poszczególnych kategorii terenu zostały określone funkcje pionowych profili wiatru. W odróżnieniu od normy europejskiej, gdzie zależność prędkości wiatru od wysokości nad terenem jest opisana przy pomocy funkcji logarytmicznej, w normach polskich i południowoafrykańskich zastosowano wzór potęgowy. Pionowy profil prędkości wiatru w normie SABS [8] zależny jest od klasy obiektu lub elementu. Rozróżniono trzy klasy obiektu lub elementu, A – elementy budowli oraz małe obszary dachów, B – główne elementy konstrukcyjne oraz całe obiekty, których żaden z charakterystycznych wymiarów (wysokość, długość i szerokość) nie przekracza 50 m, C – całe obiekty, których co najmniej jeden z charakterystycznych wymiarów przekracza 50 m. Podział ten związany jest z zastosowaniem odpowiedniej długości czasu uśredniania porywów wiatru, która wynosi odpowiednio 3, 5 i 10 s. Na potrzeby porównania profili wiatru poszczególnych norm dla normy SABS [8] przyjęto klasę A obiektu, czyli odpowiedni dla okresu uśredniania wynoszącego 3s. W tabelicy 5 przedstawiono porównanie współczynników chropowatości i parametrów terenu dla poszczególnych kategorii terenu.

Jedną z podstawowych cechą każdej normy jest zakres stosowalności. W odniesieniu do budynków normy EN [2] i PN-EN [7] ograniczają możliwość stosowania do budynków o wysokości do 200 m. Norma SANS [9] jest w tej kwestii jest bardziej restrykcyjna i zezwala na zastosowanie dla budynków o maksymalnej wysokości wynoszącej 100 m. Normy zastąpione przez wyżej wymienione, czyli SABS 0160 [8] i PN-B-02011 [5, 6] nie wskazywały tak jednoznacznie zakresu stosowalności w zależności od wysokości projektowanych obiektów. W związku z powyższym postanowiono ograniczyć dalsze

rozważania, a w tym porównanie pionowych profili wiatru do budynków o wysokości do 100 m.

Wykresy pionowych profili wiatru w normach SABS [8] i SANS [9] służą przeliczeniu wartości podstawowej prędkości wiatru o czasie uśredniania 3s na prędkość charakterystyczną na danej wysokości o czasie uśredniania wynoszącym również 3s. Inaczej sytuacja ma się w normach EN [2], PN-EN [7] i PN-B [5], gdzie przy pomocy współczynnika chropowatości przelicza się bazową prędkość wiatru o czasie uśredniania równym 10min na średnią prędkość wiatru na danej wysokości również o czasie uśredniania równym 10min. W celu porównania poszczególnych profili wiatru, wykresy z norm PN-EN [7] i EN [2] na rys. 5 i 6 porównano z wykresami z norm południowo-afrykańskich przeskalałując je z uwzględnieniem porywistości wiatru (przeliczenie wartości średnich 10min na wartości szczytowe 3s) oraz przeliczenia wartości bazowej prędkości wiatru o czasie uśredniania 10min na wartość bazową o czasie uśredniania 3s, zgodnie ze wzorami (1) i (2). Profile wiatru pokazane na rys. 4 nie zostały zmodyfikowane. Na potrzeby porównania przyjęto  $c_o(z) = 1$  tak jak dla terenu płaskiego oraz  $k_l = 1$  zgodnie z zaleceniami normowymi.

$$c_{r,EN}(z)^* = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot \frac{[1 + 7 \cdot I_v(z)]^{0,5}}{[1 + 7 \cdot I_{v,H}(10)]^{0,5}} \quad (1)$$

$$c_{r,PN-EN}(z)^* = k_r \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^\alpha \cdot \frac{[1 + 7 \cdot I_v(z)]^{0,5}}{[1 + 7 \cdot I_{v,H}(10)]^{0,5}} \quad (2)$$

gdzie:

$$I_v(z) = \frac{1}{\ln(z/z_0)} \quad (3)$$

$$I_{v,H}(10) = \frac{1}{\ln(10/z_{0,H})} = \frac{1}{\ln(10/0,05)} = 0,189 \quad (4)$$

Charakter profili wiatru dla normy PN-EN [7] pokazują wyraźnie różnice w stosunku do profili normowych SANS [9] (patrz rys. 6). Wraz ze wzrostem wysokości, wykresy z normy południowoafrykańskiej wykazują szybką zbieżność do prędkości gradientowej (patrz rys. 5). Profile prędkości wskazane w PN-EN [7], jak również dla EN [2], nie dążą asymptotycznie do wartości wiatru gradientowego. Ta dysproporcja jest szczególnie wyraźna dla terenów „gładkich” (kategorie I i II), gdzie na wysokości 100m różnice sięgają ok. 10%. W niższych partiach różnice są mniejsze i na wysokości 10 m n.p.t. nie przekraczają 3%. Profile terenów „chropowatych” normy polskiej (kategorie III i IV) na wysokości 5 m n.p.t.

dają wyniki odpowiednio wyższe o 7% i 12% w porównaniu z normą południowo-afrykańską. Powyżej 15 m n.p.t. różnice dla tych terenów nie przekraczają 5%.

Poza współczynnikiem chropowatości przy obliczaniu prędkości wiatru uwzględnia się również wpływ ukształtowania terenu. W normach EN [2], PN-EN [7] i SANS [9] wpływ skarp i pojedynczych wzniesień na prędkość wiatru uwzględniony został w postaci współczynnika orografii występującego w równaniu na średnią prędkość wiatru. Założono, że jeżeli rzeźba terenu (np. wzgórza, skarpy, itp) zwiększa prędkość wiatru o mniej niż 5 %, to efekty można pominąć w obliczeniach. W PN-B [5] i SABS [8] wpływ ukształtowania terenu uwzględniony był poprzez przyjęcie dla budowli projektowanych na lub w pobliżu skarp i wzniesień o nachyleniu ponad 1:3, niższego niż rzeczywisty umownego poziomu gruntu.

### Metody obliczania wartości ciśnienia prędkości wiatru

Bezpośrednio decydującą o wielkości obciążenia wiatrem budowli i ich elementów jest wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru. W normie EN [2] i PN-EN [7], wartość ta wyznaczana jest jako iloczyn wartości bazowej ciśnienia prędkości  $q_b$  i współczynnika ekspozycji  $c_e(z)$ . Wartość bazowa ciśnienia prędkości obliczana jest według równania  $q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2$ . Współczynnik ekspozycji w PN-EN [7] został podany w Załączniku Krajowym (patrz tabl. 6) a dla normy EN [2] został przedstawiony w postaci:

$$c_e(z) = [1 + 7I_v(z)][c_r(z)c_o(z)]^2 \quad (5)$$

gdzie:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_l}{c_o(z) \ln(z/z_0)} \quad (6)$$

Dla  $c_o(z) = 1,0$  oraz zgodnie z zaleceniem normowym  $k_l = 1,0$  to wzór na współczynnik ekspozycji przyjmuje postać:

$$c_e(z) = c_r^2(z) \left[ 1 + \frac{7}{\ln(z/z_0)} \right] \quad (7)$$

Współczynnik ekspozycji poza uwzględnieniem rodzaju terenu i wysokości nad nim, tak jak ma to miejsce w PN-B [5, 6], uwzględnia również przeliczenie wartości średniej ciśnienia na wartość chwilową uwzględniającą intensywność turbulencji. W normie PN-B [5, 6] na potrzeby uwzględnienia porywów wiatru wprowadzono rozróżnienie budowli na podatne i niepodatne na działanie porywów wiatru. Dla konstrukcji niepodatnych przeliczenie

wartości średniej 10 minutowej ciśnienia wiatru na wartość chwilową realizowaną jest poprzez stały współczynnik działania porywów wiatru  $\beta = 1,8$ . Odpowiada on przeliczeniu na wartość 10-15 sekundową. Stały współczynnik  $\beta = 2,2$  służy do przeliczenia ww. wartości na wartość 3 sekundową i jest wykorzystywany do obliczania obciążenia wiatrem małych elementów budowli. Przy określaniu obciążenia na budowle podatne współczynnik  $\beta$  obliczany jest z uwzględnieniem rozmiarów budowli, podstawowego okresu drgań własnych, logarytmicznego dekrementu tłumienia oraz prędkości i turbulencji wiatru. Obliczenia wg normy SABS [8] prowadzone są od samego początku na wartościach szczytowych prędkości i ciśnienia wiatru, więc nie przewiduje się przeliczania z wartości średnich na chwilowe i odwrotnie. Przeliczenie wartości średniej na chwilową zgodnie z założeniami SANS [9] następuje w momencie obliczania wartości szczytowej prędkości wiatru. Współczynnik porywistości jest stały i wynosi 1,4. Ponieważ ciśnienie prędkości wiatru jest wprost proporcjonalne do kwadratu prędkości wiatru, współczynnik ten dla przeliczania ciśnienia średniego na chwilowe osiąga wartość 1,96.

Na rysunkach 7, 8 i 9 przedstawiono wykresy współczynników ekspozycji dla poszczególnych norm. Ponieważ w normach SABS [8] i SANS [9] nie przewidziano zastosowania współczynnika  $c_e(z)$ , na potrzeby porównania przekształcono równanie na ciśnienie prędkości wiatru zgodnie ze wzorami (8) i (9) i wyszczególniono składniki odpowiadające współczynnikowi ekspozycji w pozostałych normach. Dodatkowo, w przypadku normy SABS [8], uwzględniono współczynnik przeliczenia prędkości wiatru o czasie uśredniania 10 min na czas uśredniania 3s, zgodnie z SANS [9] równy 1,4. Stąd:

- dla SANS [9]

$$q_z = \frac{1}{2} \rho V_p^2(z) = \frac{1}{2} \rho [c_r(z) v_{b,peak}]^2 = \frac{1}{2} \rho [c_r(z) 1,4 v_b]^2 = \frac{1}{2} \rho v_b^2 \cdot \left[ 1,36 \left( \frac{z - z_0}{z_g - z_0} \right)^\alpha 1,4 \right]^2 \quad (8)$$

- dla SABS [8]

$$q_z = k_p V_z^2(z) = \frac{1}{2} \rho \cdot \left[ 1,36 \left( \frac{z - z_0}{z_g - z_0} \right)^\alpha V \right]^2 = \frac{1}{2} \rho v_b^2 \cdot \left[ 1,36 \left( \frac{z - z_0}{z_g - z_0} \right)^\alpha 1,4 \right]^2 \quad (9)$$

Ponieważ w normie PN-B [5, 6] współczynnik  $C_e(z)$  nie realizuje zmiany wartości średnich na szczytowe przyjęto, że wartość szczytowa jest iloczynem współczynnika ekspozycji  $C_e(z)$  w wartości współczynnika działania porywów wiatru  $\beta = 2,2$ . Na potrzeby porównania przyjęto  $c_o(z) = 1$  oraz klasę A obiektu dla normy SABS [8].

Wykresy współczynnika ekspozycji dla poszczególnych norm i kategorii terenów są bardzo podobne, co do charakteru do krzywych obrazujących współczynnik chropowatości. Zwiększenie różnic pomiędzy normami południowo-afrykańskimi a polską i europejską wynika z zastosowania współczynnika działania porywów wiatru, który dla normy SANS [9] jest stały i wynosi 1,96. Analogiczny współczynnik według Eurokodów, na wysokości 10m w terenie otwartym wynosi 2,32. Jednocześnie zależy on od intensywności turbulencji, więc zależy od rodzaju terenu i wysokości nad nim. Dla normy PN-B [5, 6] analogiczny współczynnik jest stały i wynosi  $\beta = 2,2$ .

Inną wielkością, która bezpośrednio wpływa na wielkość ciśnienia wiatru jest gęstość powietrza. Norma EN [2] wskazuje wartość zalecaną równą  $1,25 \text{ kg/m}^3$  jednocześnie przewidując możliwość zastosowania innych wartości w załącznikach krajowych. W PN-EN [7] przewidziano zmianę gęstości powietrza jedynie dla terenów położonych powyżej 300 m n.p.m. w III strefie obciążenia wiatrem. Zmiana ta jest realizowana poprzez mnożnik do wartości podstawowej ciśnienia prędkości wiatru, zależny od wysokości terenu nad poziomem morza, który wynosi  $[(20000-A)/(20000+A)]$ , gdzie A oznacza wysokość nad poziomem morza. Zakładając z pewną dokładnością, że na wysokości 0 m n.p.m. gęstość powietrza wynosi  $1,25 \text{ kg/m}^3$  to dla wysokości równych 500, 1000, 1500 i 2000 m n.p.m. wartości gęstości będą wynosić odpowiednio:  $1,19 \text{ kg/m}^3$ ,  $1,13 \text{ kg/m}^3$ ,  $1,08 \text{ kg/m}^3$  i  $1,02 \text{ kg/m}^3$ . W normie PN-B [5, 6] dla stref I i II podano gęstość powietrza równą  $1,23 \text{ kg/m}^3$ . Zmienną gęstość powietrza uwzględniono tylko w strefie III, gdzie do wysokości 200 m n.p.m. gęstość ta wynosi  $1,23 \text{ kg/m}^3$  a powyżej jest zmienna liniowo zgodnie ze wzorem wskazanym w PN-EN [7]. Normy SANS [9] i SABS [8] zakładają gęstość powietrza równą  $1,20 \text{ kg/m}^3$  dla wysokości wynoszącej 0 m n.p.m.,  $1,12 \text{ kg/m}^3$  dla 500 m,  $1,06 \text{ kg/m}^3$  dla 1000 m,  $1,00 \text{ kg/m}^3$  dla 1500 m oraz  $0,94 \text{ kg/m}^3$  dla 2000 m n.p.m. Pomędzy poszczególnymi wartościami dopuszcza się interpolację liniową.

### **Metody obciążenia konstrukcji**

Szeroki zakres norm związany z procedurami konwersji ciśnienia prędkości wiatru na obciążenia powierzchni i konstrukcji, a w szczególności ze współczynnikami ciśnienia i siły, powoduje, że nie jest możliwe przedstawienie szczegółowych zagadnień z tym związanych. W związku z tym w niniejszym artykule wskazano jedynie najistotniejsze różnice dotyczące sposobów szacowania obciążeń przegród budynków oraz ogólne wnioski.



Istotną różnicą pomiędzy normami polskimi i europejską a południowo-afrykańskimi, wpływającą na wartości obciążenia budynków od wiatru jest współczynnik konstrukcyjny  $c_s c_d$ . W SANS [9] wskazano, że dla obiektów objętych tą normą współczynnik konstrukcyjny powinien być stały i wynosić 1,0. Norma EN [2], a za nią PN-EN [7], podaje bardzo szczegółowe procedury obliczania tego współczynnika. W normie SABS [8], poza krótkimi komentarzami, nie podano dokładnej procedury szacowania dynamicznego oddziaływania wiatru na konstrukcje natomiast w PN-B [5, 6] podana została procedura obliczania współczynnika działania porywów wiatru dla budowli podatnych na dynamiczne działanie wiatru.

Metody obliczania współczynników ciśnienia a także same współczynniki, są dla budynków niemal identyczne w normach EN [2], PN-EN [7] i SANS [9]. Normy SABS [8] i PN-B [4, 5] różnią się znacznie od norm je zastępujących.

Jak wskazał Żurański na przykładzie dwóch reprezentatywnych typów budynków [12], współczynniki ciśnienia wyznaczone według starej normy PN-B [5, 6], poza nielicznymi przypadkami takimi jak np.: część połaci nawietrznej dachu dwuspadowego, są niższe co do wartości bezwzględnej od tych wyznaczonych według nowej normy PN-EN [7]. Jednocześnie jako czynnik zwiększający różnice w wynikach obciążenia wiatrem wskazał współczynnik ciśnienia wewnętrznego, nie występujący w normie PN-B [5, 6]. Porównując obie normy należy zauważyć ponadto, że w nowej normie [7] ilość wariantów obciążenia przegród budynków jest dużo większa, a współczynniki obciążenia zewnętrznego zostały dodatkowo podzielone ze względu na rozmiary elementów, co poza możliwością dokładniejszego oszacowania obciążeń zauważalnie zwiększyło pracochłonność obliczeń oraz w niektórych przypadkach stwarza pewne utrudnienia w analizie porównawczej obu norm.

Porównanie oddziaływań wiatru według norm południowo-afrykańskich zostały przedstawione w opracowaniach [1, 3]. Wnioski płynące z tych opracowań nie są tak jednoznaczne jak przy porównaniu norm polskich, jednak pozwalają na sformułowanie kilku ogólnych spostrzeżeń. Sumaryczne wartości bezwzględne obciążenia wiatrem prostopadłym do kalenicy dachu dwuspadowego są w przypadku normy SANS [9] wyższe dla połaci zawietrznych (ok. 50%) i w większości przypadków niższe dla nawietrznych (do ok. 50%). W efekcie obciążenie całego dachu przyjmuje bardziej symetryczny charakter. Wartości obciążeń dachu przy wietrze wiejącym wzdłuż kalenicy nie wykazują wyraźnych różnic. Dla dachów płaskich bardzo trudno wskazać stałą tendencję. Na różnice w wartościach obciążenia zdecydowany wpływ mają wymiary budynków i kierunki wiatru. Związane jest to z bardziej

szczegółowym podziałem powierzchni dachu w nowej normie [9]. Wartości obciążenia ścian nawietrznych nie wykazują dużych różnic, natomiast wyraźnie wyższe obciążenia w przypadku nowej normy [9] występują na ścianach równoległych do kierunku wiatru (nawet ponad dwukrotnie) i ścianach zawietrznych, gdzie w niektórych przypadkach obciążenie było niemal czterokrotnie wyższe.

W przypadku szacowania obciążenia wiatrem ścian budynków we wszystkich porównywanych normach uwzględniono zmienną zależną od wysokości budynku wartość szczytowego ciśnienia prędkości. Zgodnie z EN [2] budynki w tym zakresie zostały podzielone na 3 grupy. Dla budynków, których wysokość nie przekracza szerokości (wymiaru prostopadłego do kierunku wiatru), wartość szczytowego ciśnienia prędkości obliczana jest dla wysokości odniesienia równej wysokości budynku. Budynki, których wysokość mieści się w granicach od szerokości do podwojonej szerokości należy podzielić na dwie części: część dolną, rozciągającą się w górę od poziomu podstawy do wysokości równej szerokości, i pozostałą część górną. Dla powstałych obszarów wartość szczytowego ciśnienia prędkości liczona jest dla najwyższych ich punktów. Pozostałe budynki, czyli te których wysokość jest większa od podwojonej szerokości należy traktować jak składające się z kilku części zawierających: część dolną, od poziomu podstawy do wysokości równej szerokości budynku, część górną, od górnej krawędzi do poziomu odpowiadającego szerokości budynku i część pośrednią. Część pośrednia może zostać dodatkowo podzielona, jednak autorzy normy EN [2] pozostawili określenie zasad podziału do decyzji komitetom tworzącym załączniki krajowe. Zgodnie z Załącznikiem Krajowym do PN-EN [7] obszar pośredni, między częścią górną a dolną, dzieli się na jak najmniejszą liczbę części lecz o wymiarach w pionie nie większych niż szerokość budynku. Dla powstałych obszarów, podobnie jak dla pozostałych typów budynków, wartość szczytowego ciśnienia prędkości liczona jest dla najwyższych ich punktów. Procedura w normie SANS [9] w tym zakresie jest identyczna jak w EN [2] z tą różnicą, że nie wskazano sposobu podziału obszaru pośredniego. Norma SABS [8] wskazuje możliwość zastosowania zmiennych wartości szczytowego ciśnienia prędkości zgodnie z pionowymi profilami wiatru, jednak nie została wskazana szczegółowa procedura dzielenia przegród na poszczególne obszary. Warto w tym miejscu nadmienić, że istotną różnicą pomiędzy starą normą południowo-afrykańską a pozostałymi normami jest wskazanie w SABS [8] jako górnej wysokości odniesienia przy obliczaniu obciążenia ścian – wysokości ściany a nie wysokości budynku, jak ma to miejsce w pozostałych normach [2, 5, 6, 7, 9]. Różnica ta może spowodować istotne dysproporcje w wartościach obciążenia ścian dla budynków przekrytych dachami o dużych kątach nachylenia. Norma PN-B [5, 6] zakłada

podział budynków na dwie grupy. Dla budynków, których wysokość nie przekracza podwojonej szerokości (wymiaru prostopadłego do kierunku wiatru), współczynnik ekspozycji jest stały i określony dla wysokości budynku. Dla drugiej grupy budynków, których wysokość jest większa od podwojonej szerokości, należy przyjmować zmienną wartość współczynnika ekspozycji. Zgodnie z zapisami normy zamiast liniowo zmiennego rozkładu wartości można przyjmować rozkład skokowy o wartościach stałych równych średnim na odcinkach nie dłuższych niż 10 m. Procedura PN-B [5, 6] jest więc w tej kwestii, co do zasady, różna od tej zastosowanej w EN [2] i PN-EN [7], gdzie przyjmuje się, że ciśnienie działające na dany obszar odpowiada ciśnieniu w najwyższym punkcie tego obszaru.

### **Podsumowanie**

W artykule przedstawiono sposób wyznaczania obciążenia wiatrem budynków według nowych norm polskiej PN-EN 1991-1-4 [7], europejskiej EN 1991-1-4 [2] i południowo-afrykańskiej SANS 10160 [9]. W aspektach związanych z obliczaniem ciśnienia prędkości wiatru porównano zasady ujęte w nowych normach z zasadami ujętymi w normach zastępowanych, odpowiednio SABS 0160-1989 [8] i PN-77/B-02011 [5, 6]. Czynnikiem zwiększającym obciążenie obliczane zgodnie z zasadami normy SANS [9], w porównaniu do nowej normy polskiej [7] i europejskiej [2], są większe wartości podstawowej bazowej prędkości wiatru oraz założenie stałego współczynnika konstrukcyjnego  $c_s c_d = 1$ . Czynnikiem zmniejszającym są natomiast mniejsze wartości współczynnika ekspozycji związane z użyciem stałego współczynnika działania porywów wiatru równego 1,96 (przy analogicznym współczynniku według Eurokodów, na wysokości 10m w terenie otwartym równym 2,32), mniejsze wartości gęstości powietrza oraz zastosowanie stałego współczynnika kierunkowego  $c_{dir} = 1$ .

### **Piśmiennictwo**

- [1] Dunaiski P.E., Dunaiski W.I., Retief J.V., Goliger A.: Comparison of wind load effects – calculated according to SABS 0160-1989 and the proposed procedure based on prEN 1991-1-4.6. Internal Report, ISE – Institute of Civil Engineering, University of Stellenbosch, 2005.

- [2] EN 1991-1-4, Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions.
- [3] Goliger A.M., Retief J.V., Dunaiski P.E.: Background to SANS 10160. Part 3 Wind actions. 3-1 Review of codification of wind-loading for structural design. Retief J.V., Dunaiski P.E. (red.). Sun Media, Stellenbosch, 2009.
- [4] Goliger A.M., Retief J.V., Dunaiski P.E., Kruger A.C.: Background to SANS 10160. Part 3 Wind actions. 3-2 Revised wind-loading design procedures for SANS 10160. Retief J.V., Dunaiski P.E. (red.). Sun Media, Stellenbosch, 2009.
- [5] PN-B-02011:1977 Obciążenia w obliczeniach statycznych – Obciążenie wiatrem.
- [6] PN-B-02011:1977/Az1:2009, Zmiana do Polskiej Normy Obciążenia w obliczeniach statycznych – Obciążenie wiatrem.
- [7] PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje - Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru.
- [8] SANS 10160-1989. (Reprinted 1994). South African Standard Code of Practice for the General Procedures and Loadings to be Adopted in the Design of Buildings. South African Bureau of Standards, Pretoria.
- [9] 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.
- [10] Żuranski J.A.: Obciążenia wiatrem budowli i konstrukcji, wyd. 2. Arkady, Warszawa 1978.
- [11] Żuranski J.A.: Wpływ warunków klimatycznych i terenowych na obciążenie wiatrem konstrukcji budowlanych. Wydawnictwo Instytutu Techniki budowlanej, Warszawa 2005.
- [12] Żuranski J.A.: Oddziaływania wiatru na konstrukcje budowlane w ujęciu normy PN-EN 1991-1-4:2008. Inżynieria i budownictwo nr 7/2010, 360-367.
- [13] Żuranski J.A.: Obciążenie wiatrem budynków w ujęciu normy PN-EN 1991-1-4:2008. Inżynieria i budownictwo nr 9/2010, 494-501.
- [14] Żuranski J.A.: Oddziaływania na konstrukcje. Rozdział 2, t. V „Budownictwo Ogólne”: Stalowe konstrukcje budynków – Projektowanie według eurokodów z przykładami obliczeń (pod kier. M.A. Giżejowski, J. Ziółko), Arkady 2010.

Dr hab. inż. Marian Giżejowski, prof. PW

Mgr inż. Michał Ćwik

Politechnika Warszawska

Dr inż. Adam Goliger

CSIR Built Environment, Pretoria, Republika Południowej Afryki

**Oddziaływania wiatru na budynki według nowych norm  
krajowej PN-EN 1991-1-3 i południowo-afrykańskiej SANS 10160**

**Cz. 1 Podstawy normalizacji obliczeń**

Przedstawiono zasady określania oddziaływania wiatru na budynki według norm krajowych i południowo-afrykańskich. Uwzględniono charakterystyki prędkości wiatru, sposób konwersji na ciśnienie prędkości wiatru oraz metody obliczania obciążenia powierzchni i konstrukcji, a także porównano procedury obliczeniowe.

**Wind actions on buildings according to new codes  
Polish PN-EN 1991-1-4 and South-African SANS 10160-3**

**Part 1: Basis for codification procedures**

Aspects of the wind action determination for buildings according new South African and Polish design codes are described. The wind speed, conversion rules for velocity pressure and wind pressure on surfaces and construction as well as calculation procedures are included.

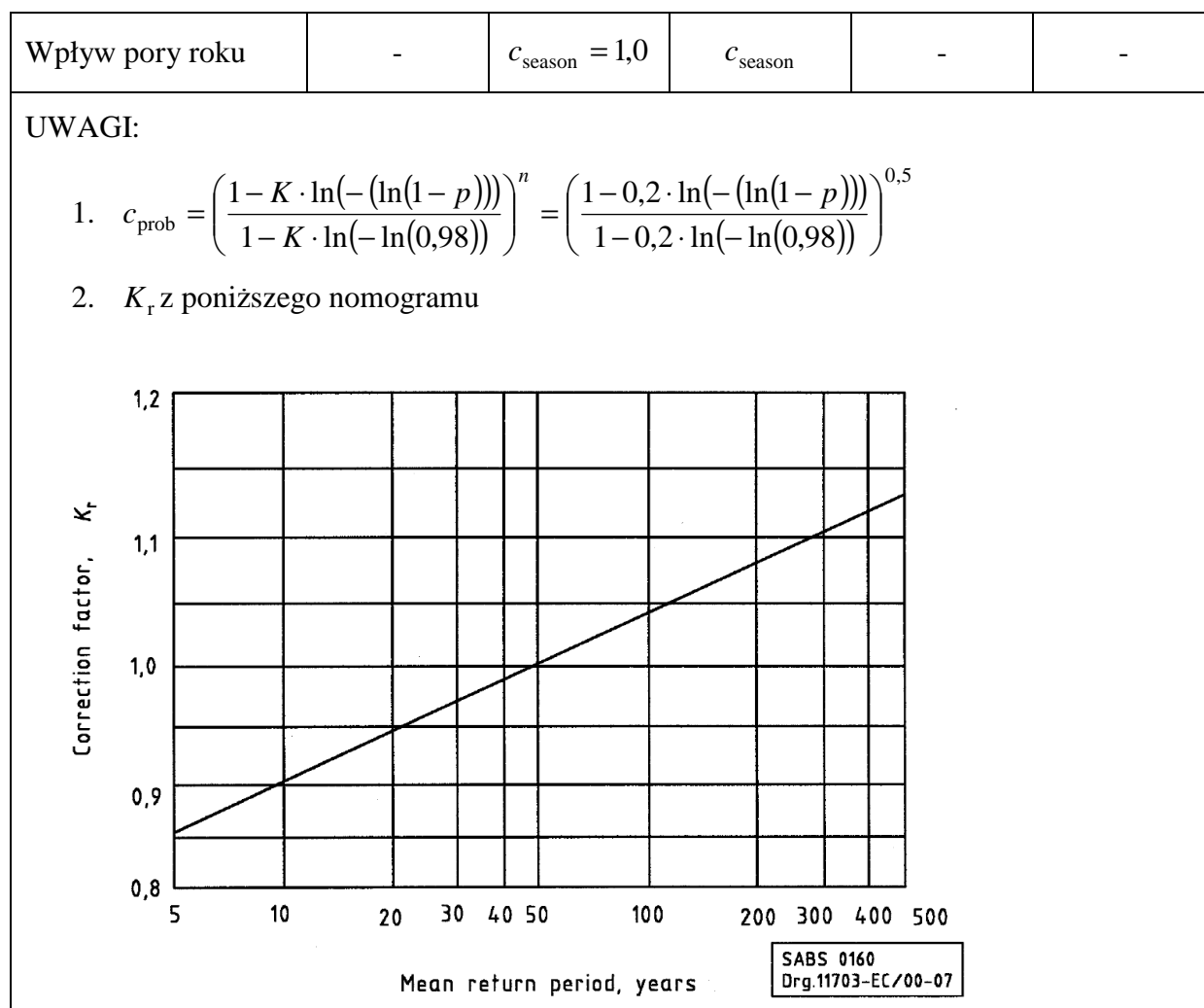
Tablica.1. Wartości podstawowe bazowej prędkości wiatru dla Polski według [6, 7].

Strefa	$V_{b,0}$ [m/s]	$V_{b,0}$ [m/s]
	$a \leq 300$ m	$a > 300$ m
1	22	$22 \cdot [1 + 06 (a - 300)]$
2	26	26
3	22	$22 \cdot [1 + 06 (a - 300)]$

UWAGA:  $a$  – wysokość nad poziomem morza [m]

Tablica.2. Charakterystyki wielkości podstawowych prędkości wiatru oraz współczynniki zmieniające wg [2, 5, 7, 8, 9].

	Norma				
	PN-B	PN-EN	EN	SANS	SABS
Wielkość podstawowa	$V_k$	$v_{b,0}$	$v_{b,0}$	$v_{b,0}$	$V$
Czas uśredniania	10 min.	10 min.	10 min.	10 min.	3 s
Roczne prawdopodobieństw o przekroczenia / okres powrotu	2 % 50 lat	2 % 50 lat	2 % 50 lat	2 % 50 lat	2 % 50 lat
Kategoria terenu odniesienia	B	II	II	A	2
Wysokość odniesienia	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m
Wpływ wysokości terenu nad poziom morza	dla strefy 1 i 3 dla $H > 300$ m	dla strefy 1 i 3 dla $H > 300$ m	dopuszcza	-	-
Wpływ rocznego prawdopodobieństwa przekroczenia	-	$c_{prob}$	$c_{prob}$	$c_{prob}$	$K_r$
Wpływ kierunku wiatru	-	$c_{dir}$	$c_{dir}$	-	-



Tablica.3. Wartości współczynnika kierunkowego w Polsce wg [7]

Strefa	Kierunek wiatru (sektor)											
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,8	0,7						0,8	0,9	1,0		0,9
2	1,0	0,9	0,8	0,7				0,8	0,9	1,0		
3	0,8	0,7				0,9	1,0					

**UWAGA:** Sektor 1 oznacza kierunek północny 0° (360°)

Tablica.4. Podział na kategorie terenu wg [2, 5, 7, 8, 9].

Opis terenu	Kategoria terenu				
	PN	PN-EN	EN	SANS	SABS
Obszary morskie i przybrzeżne wystawione na otwarte morze	-	0	0	-	-
Jeziora lub tereny płaskie, poziome, o nieznaczonej roślinności i bez przeszkód terenowych	-	I	I	A	-
Tereny o niskiej roślinności, takiej jak trawa, i o pojedynczych przeszkodach takich jak drzewa i budynki	A	II	II	B	1
Tereny regularnie pokryte roślinnością lub budynkami albo o pojedynczych przeszkodach (takie jak wsie, tereny podmiejskie, stałe lasy)	B	III	III	C	2 i 3
Tereny regularnie pokryte wysokimi budynkami i wieloma przeszkodami (takie jak tereny miejskie i centra miast)	C	IV	IV	D	4

Tablica.5. Porównanie współczynników chropowatości i parametrów terenu dla poszczególnych kategorii terenu wg [2, 5, 7, 8, 9].

Kat. terenu wg EN i parametry terenu	Norma				
	PN-B	PN-EN	EN	SANS	SABS
$c_r(z)$	$k_t \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^\alpha$	$k_r \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^\alpha$	$k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$	$1,36 \cdot \left(\frac{z - z_0}{z_g - z_0}\right)^\alpha$	$1,36 \cdot \left(\frac{z - z_0}{z_g - z_0}\right)^\alpha$
0	$k_t = 1,00$ $\alpha = 0,14$ $z_{\min} = 2$ $z_g = 300$	$k_r = 1,3$ $\alpha = 0,11$ $z_{\min} = 1$ $z_{\max} = 200$	$k_r = 0,156$ $z_0 = 0,003$ $z_{\min} = 1$ $z_{\max} = 200$	$\alpha = 0,070$ $z_0 = 0$ $z_{\min} = 1$ $z_g = 250$	



I		$k_r = 1,2$ $\alpha = 0,13$ $z_{\min} = 1$ $z_{\max} = 200$	$k_r = 0,170$ $z_0 = 0,010$ $z_{\min} = 1$ $z_{\max} = 200$		
II		$k_r = 1,0$ $\alpha = 0,17$ $z_{\min} = 2$ $z_{\max} = 300$	$k_r = 0,190$ $z_0 = 0,050$ $z_{\min} = 2$ $z_{\max} = 200$	$\alpha = 0,095$ $z_0 = 0$ $z_{\min} = 2$ $z_g = 300$	$\alpha = 0,070$ $z_o = 0$ $z_{\min} = 5$ $z_g = 250$
III	$k_t = 0,80$ $\alpha = 0,19$ $z_{\min} = 5$ $z_g = 400$	$k_r = 0,8$ $\alpha = 0,19$ $z_{\min} = 5$ $z_{\max} = 400$	$k_r = 0,215$ $z_0 = 0,300$ $z_{\min} = 5$ $z_{\max} = 200$	$\alpha = 0,120$ $z_0 = 3$ $z_{\min} = 5$ $z_g = 350$	$\alpha = 0,090$ $z_o = 0$ $z_{\min} = 5$ $z_g = 300$
					$\alpha = 0,140$ $z_o = 5$ $z_{\min} = 7,5$ $z_g = 400$
IV	$k_t = 0,63$ $\alpha = 0,24$ $z_{\min} = 10$ $z_g = 500$	$k_r = 0,6$ $\alpha = 0,24$ $z_{\min} = 10$ $z_{\max} = 500$	$k_r = 0,234$ $z_0 = 1,000$ $z_{\min} = 10$ $z_{\max} = 200$	$\alpha = 0,150$ $z_0 = 5$ $z_{\min} = 10$ $z_g = 400$	$\alpha = 0,180$ $z_o = 12$ $z_{\min} = 20$ $z_g = 500$

**UWAGI:**

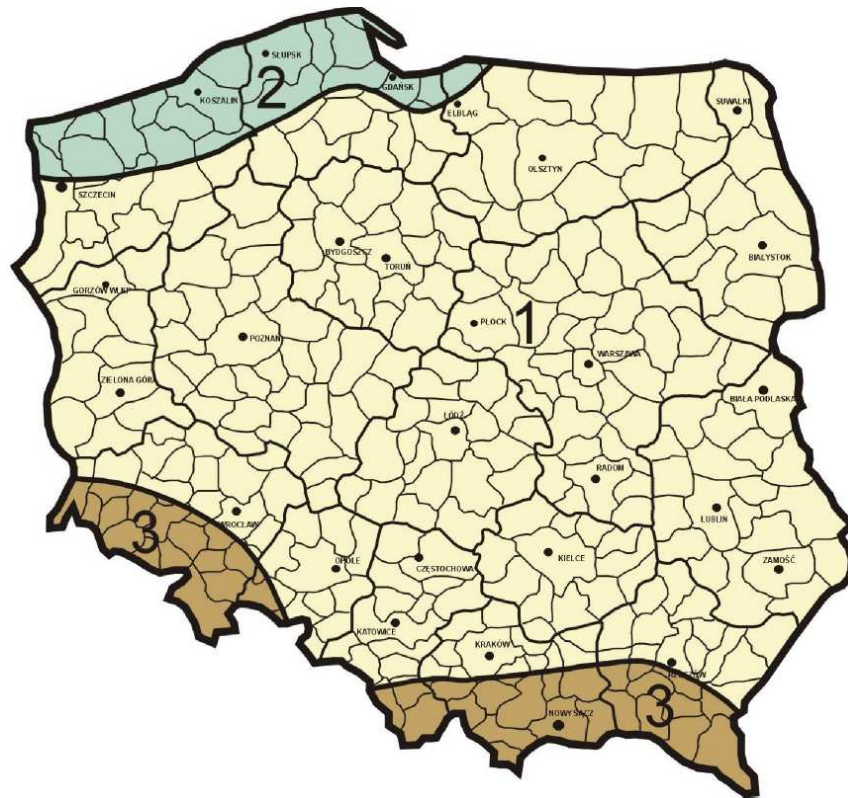
1. dla EN współczynnik terenu został obliczony zgodnie ze wzorem:

$$k_r = 0,19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}$$

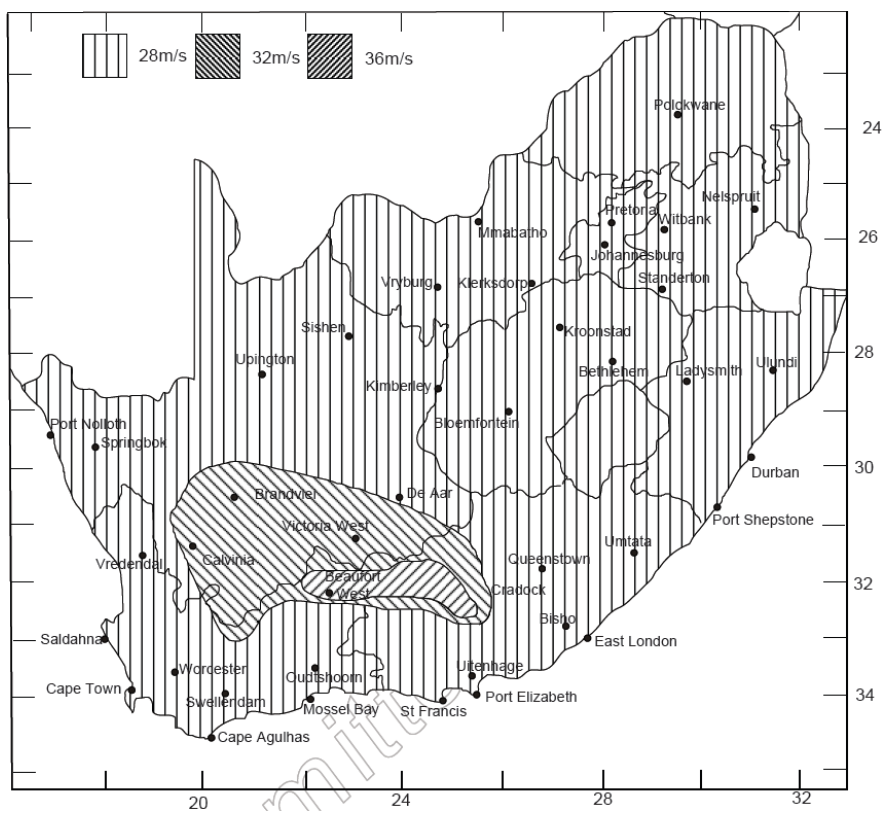
2. dla PN-B parametry terenu zostały zaczerpnięte z [9]

Tablica.6. Współczynnik ekspozycji według [7].

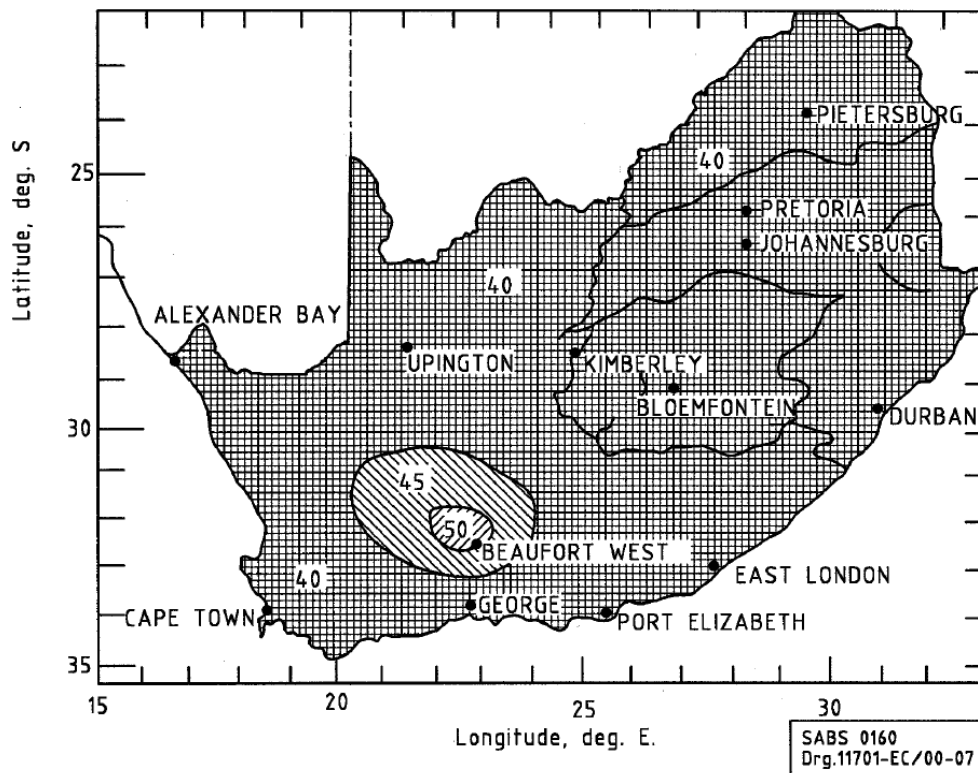
Kategoria terenu	$c_e(z)$	$z_{\min}$ [m]	$z_{\max}$ [m]
0	$3,0\left(\frac{z}{10}\right)^{0,17}$	1	200
I	$2,8\left(\frac{z}{10}\right)^{0,19}$	1	200
II	$2,3\left(\frac{z}{10}\right)^{0,24}$	2	300
III	$1,9\left(\frac{z}{10}\right)^{0,26}$	5	400
IV	$1,5\left(\frac{z}{10}\right)^{0,29}$	10	500
<p>UWAGA: <math>c_e(z)</math> dla wysokości <math>z &gt; z_{\max}</math> należy przyjmować jak dla <math>z_{\max}</math>.</p>			



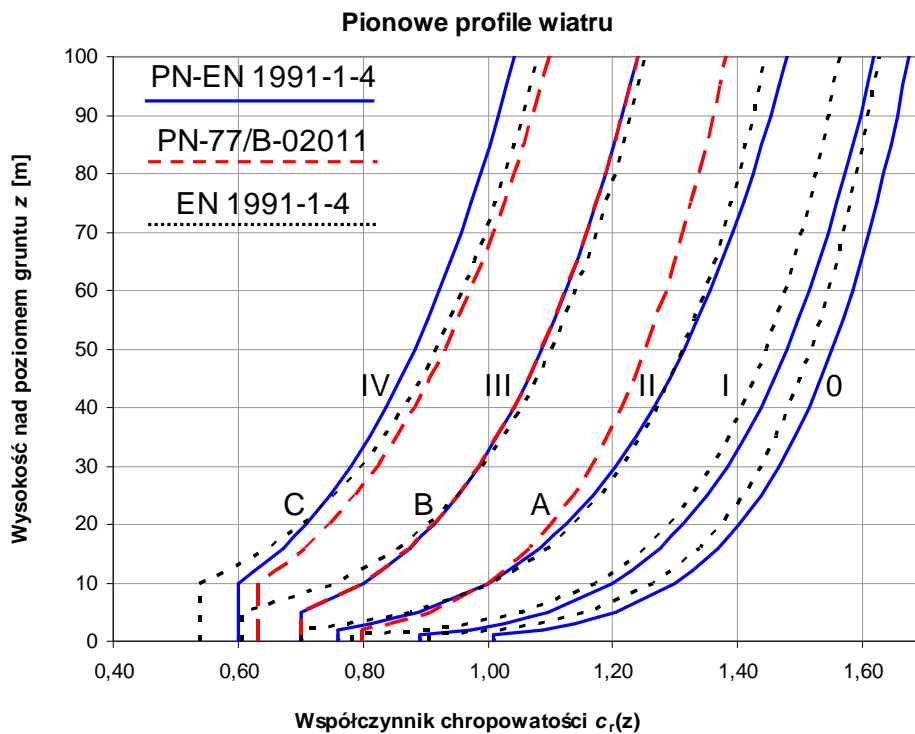
Rys.1. Podział Polski na strefy obciążenia wiatrem według [6, 7].



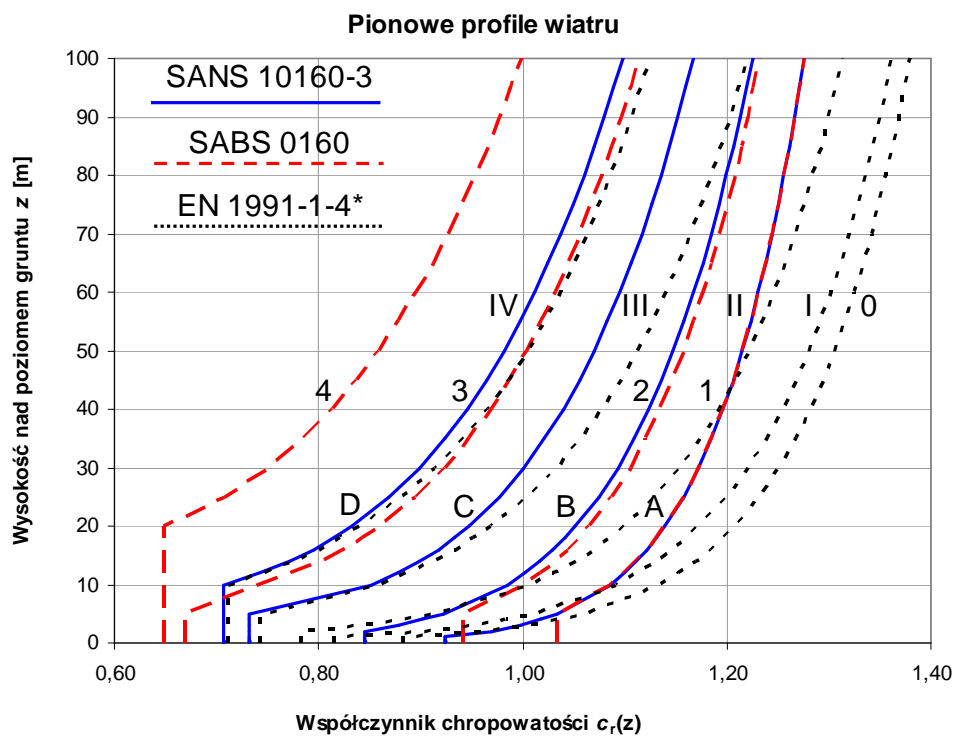
Rys.2. Podział RPA na strefy obciążenia wiatrem według [8].



Rys.3. Podział RPA na strefy obciążenia wiatrem według [9].

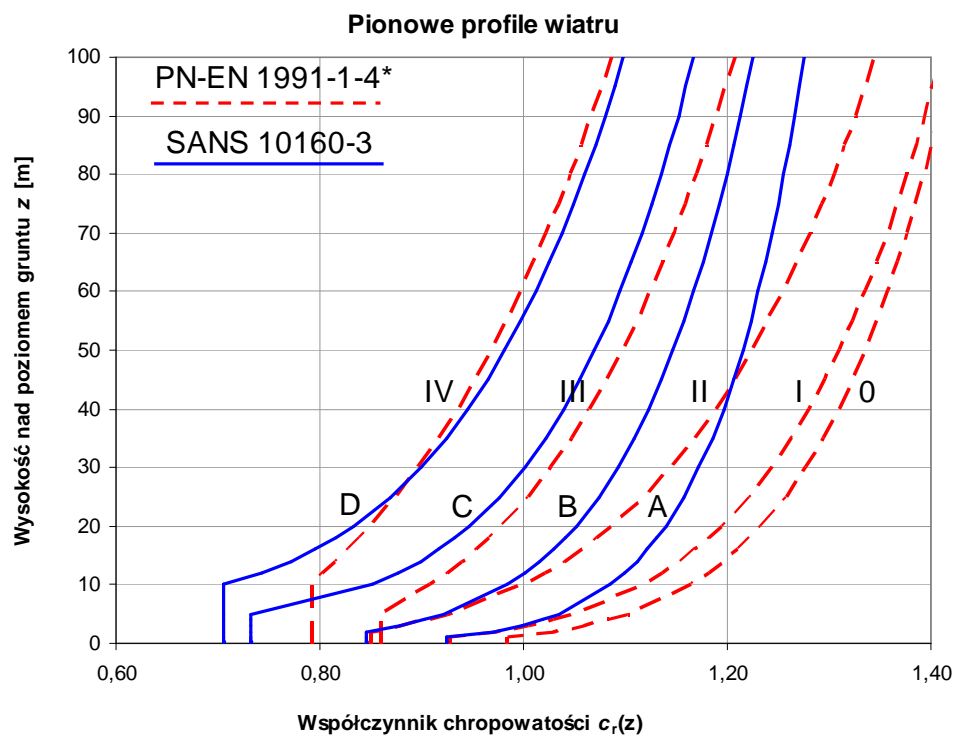


Rys.4. Porównanie pionowych profili wiatru wg EN [2], PN-EN [7] i PN-B [5, 6].



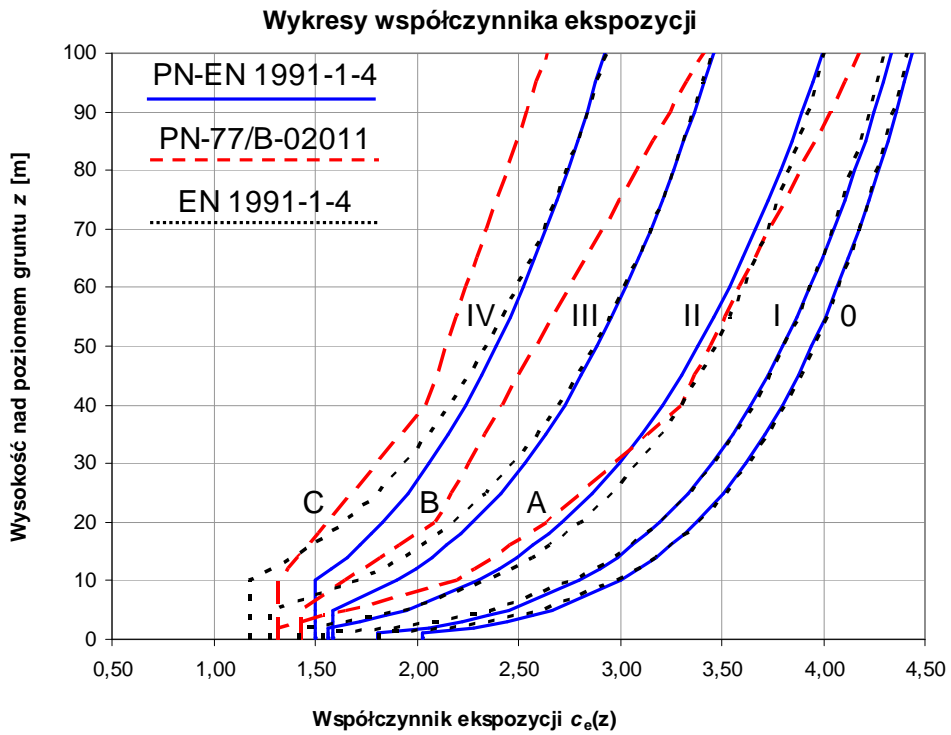
Rys.5. Porównanie pionowych profili wiatru wg EN [2], SANS [8] i SABS [9].

Wykres dla EN 1991-1-4\* znormalizowany zgodnie z równaniem (1).

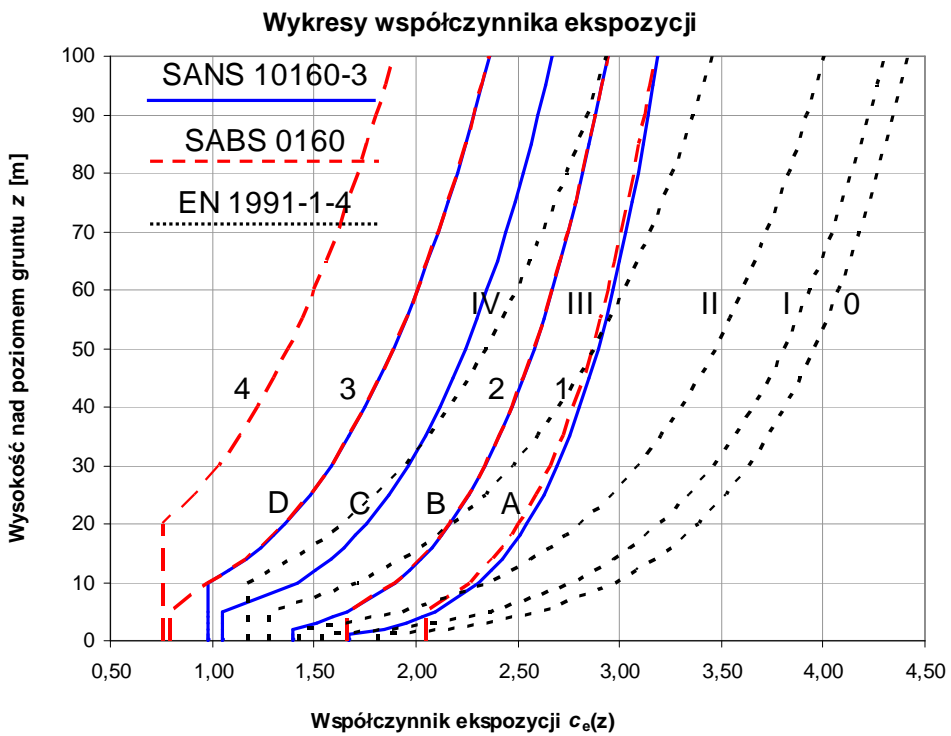


Rys.6. Porównanie pionowych profili wiatru wg PN-EN [7] i SANS [8].

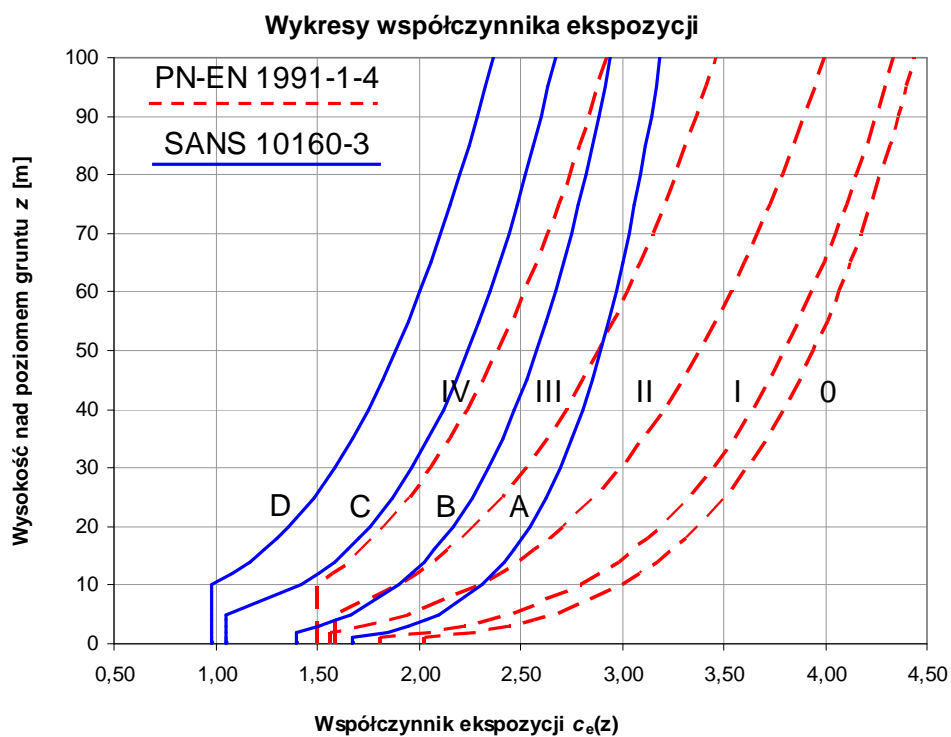
Wykres dla PN-EN 1991-1-4\* znormalizowany zgodnie z równaniem (2).



Rys.7. Porównanie współczynnika ekspozycji wg EN [2], PN-EN [7] i PN-B [5, 6].



Rys.8. Porównanie współczynnika ekspozycji wg EN [2], SANS [8] i SABS [9].  
 Wykres SANS 10160-3 zgodnie z równaniem (8), SABS 0160 zgodnie z równaniem (9).



Rys.9. Porównanie współczynnika ekspozycji wg PN-EN [7] i SANS [8].  
 Wykres SANS 10160-3 zgodnie z równaniem (8).