

Aerodynamiczne kształtowanie bryły budynku



dr inż.
JAROSŁAW SZULC
Instytut Techniki Budowlanej
ORCID: 0000-0002-4498-8829



mgr inż.
JAN SIECZKOWSKI
Instytut Techniki Budowlanej
ORCID: 0000-0002-3191-8602



dr inż.
ŁUKASZ GOŁĘBIOWSKI
Instytut Techniki Budowlanej
ORCID: 0000-0002-8017-9893

Obserwowane ocieplenie klimatu, wywołane wzrastającą emisją CO₂ do atmosfery, generuje powstawanie zjawisk klimatycznych o intensywnościach wykraczających niekiedy ponad wartości graniczne przyjmowane w kombinacjach oddziaływań przy projektowaniu obiektów budowlanych. W ostatnich latach w różnych obszarach Polski rejestruje się występowanie silnych wiatrów i gwałtownych trąb powietrznych.

W Polsce, analogicznie jak w innych państwach, coraz częściej występują niespotykane wcześniej oddziaływania klimatyczne, prawdopodobnie wywoływane efektami cieplarnianymi i nadmierną emisją dwutlenku węgla do atmosfery. Zjawiska te powodują znaczące straty materialne w gospodarce, a także mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi. Na zmiany klimatu zachodzące na naszej planecie zwracają uwagę także przyrodnicy [1], np. sir David Attenborough – brytyjski biolog i pisarz, popularyzator wiedzy przyrodniczej na świecie (rys. 1.), który łączy stężenie dwutlenku węgla w atmosferze z liczbą ludności oraz powierzchnią obszarów zielonych, neutralizujących destrukcyjny wpływ CO₂. Wzrost stężenia dwutlenku węgla w atmosferze obserwowany jest od połowy XX wieku i jest wynikiem rewolucji w przemyśle i rolnictwie oraz znaczącego wzrostu produkcji energii z wykorzystywaniem paliw kopalnych. Szacuje się, że od okresu przedprzemysłowego, w którym klimat był kształtowany przez naturalne procesy, stężenie dwutlenku węgla wzrosło o ok. 50%.

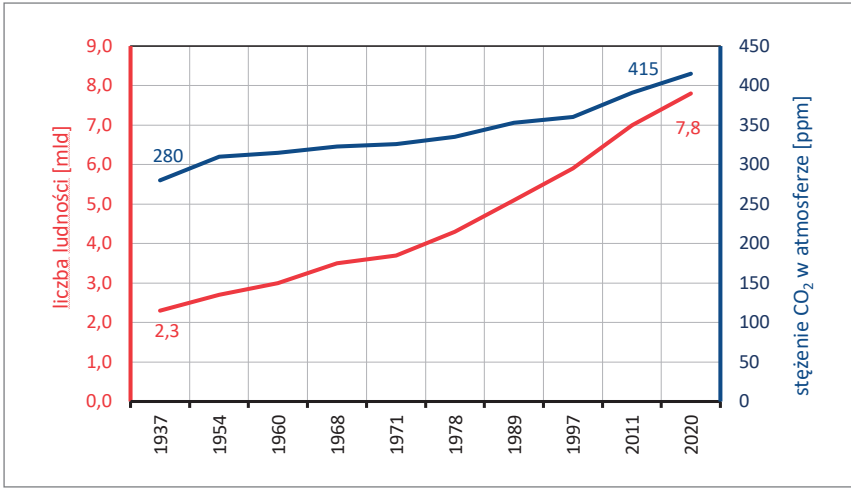
Dynamiczne zmiany klimatu prowadzą do ogrzewania atmosfery i oceanów oraz zmniejszenia się masy śniegu i lodu, wywołując jednocześnie pojawianie się wielu ekstremów pogodowych. Na rys. 2. pokazano trendy zmian liczby dni (w roku) z temperaturą poniżej 0° i powyżej 25° w okresie 1971–2050 r.

Zachodzące zmiany klimatu prowadzą w konsekwencji do ryzyka częstego występowania:

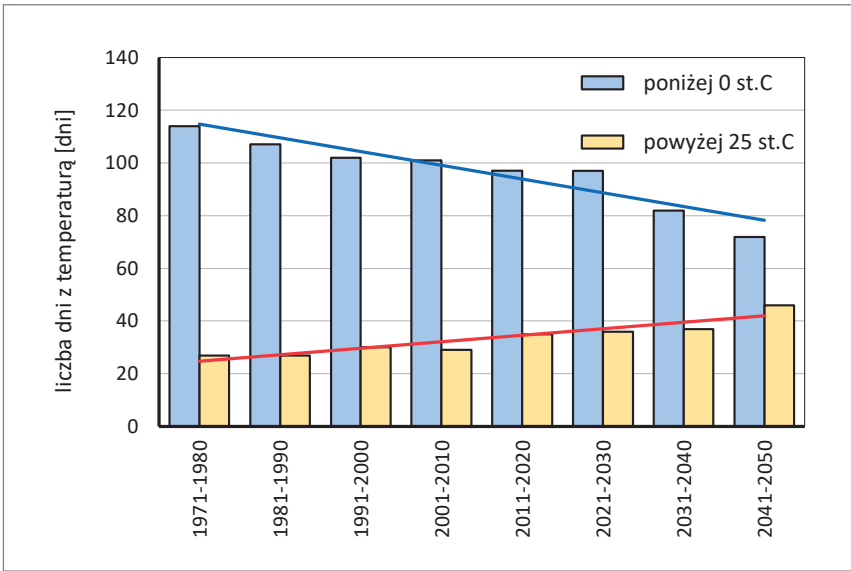
- gwałtownych burz i silnych wiatrów;
- intensywnych opadów deszczu powodujących powodzie lub podtopienia;
- wzrostu temperatury, a w konsekwencji zakresu i czasu trwania susz (w okresie letnim);
- zwiększonych opadów śniegu powodujących również oblodzenie elementów budowli;
- zalewania nadmorskich miast podczas sztormów.

Poważnym zagrożeniem dotyczącym budownictwa stają się w Polsce huraganowe wiatry (rys. 3.) i silne burze prowadzące np. do zrywania napowietrznych linii energetycznych, niszczenia drzewostanów, ale również wpływające negatywnie na bezpieczeństwo użytkowania obiektów budowlanych i otaczających je terenów. Przykładowo w sierpniu 2017 roku na Pomorzu Zachodnim zniszczone zostało 35 km linii wysokiego napięcia, w kulminacyjnym momencie bez dostaw energii elektrycznej pozostawało ok. 480 tys. odbiorców, a blisko 5 tys. budynków zostało uszkodzonych.

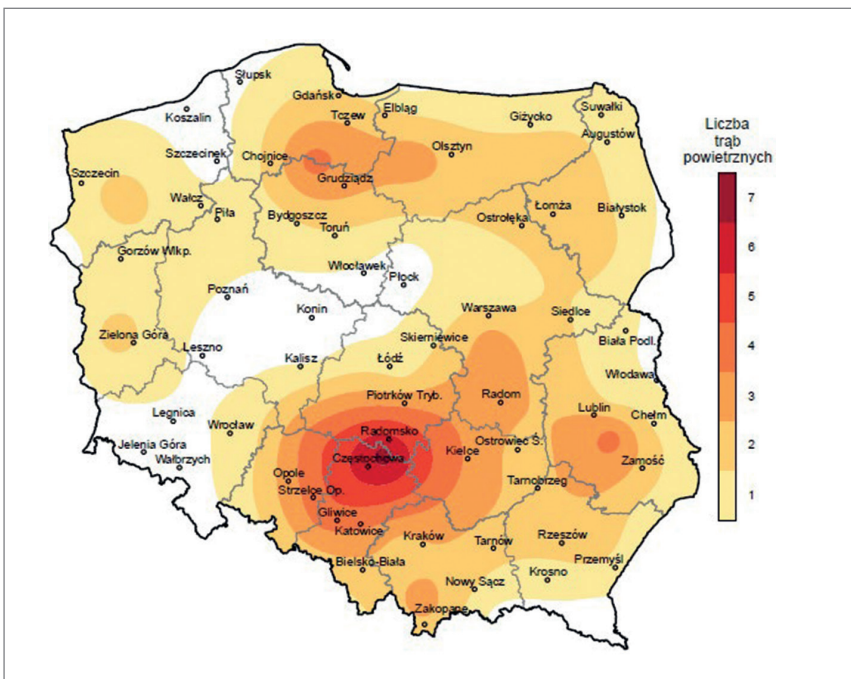
Na podstawie pomiarów prowadzonych przez stacje Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowego Instytutu Badawczego (IMiGW PIB) w czasie ostatnich kilkudziesięciu lat oszacowano maksymalne roczne chwilowe prędkości wiatru w Polsce



Rys. 1. Geneza zmian klimatycznych



Rys. 2. Efekty zmian klimatu w Polsce w latach 1971–2050



Rys. 3. Rozkład liczby silnych/gwałtownych trąb powietrznych w Polsce w okresie 2000–2019 (w obszarach 100 × 100 km); źródło: [2]

(zarówno w porze chłodnej, jak i podczas letnich burz) na poziomie 25 m/s. W publikacji [3] wskazano natomiast wartości prędkości wiatru w porywach na ok. 40 m/s, zwracając jednocześnie uwagę na sporadyczne występowanie bardziej intensywnych zjawisk, np. o prędkości 46 m/s – Kalisz 1989 r.

W przypadku trąb powietrznych pomiary prędkości wiatru są praktycznie niemożliwe, ich wartości określa się na podstawie spowodowanych zniszczeń (np. według skali Fujity, TORRO). Szacuje się, że w czasie trąb powietrznych występujących w Polsce w latach 2000–2014 największa prędkość wiatru mogła wynosić nawet 80–100 m/s, a więc znacznie przekraczała normowe wartości progowe dla określonych stref. W przeciwieństwie do wiatrów huraganowych, wiejących zwykle przez kilkanaście godzin, przejście frontu szkwatowego, gwałtownego podmuchu zstępującego lub trąby powietrznej trwa najwyżej kilka minut.

Prognozy intensywności wiatrów w Polsce w latach 2021–2030 przedstawiono na rys. 4.

Oddziaływanie wiatru na budynki

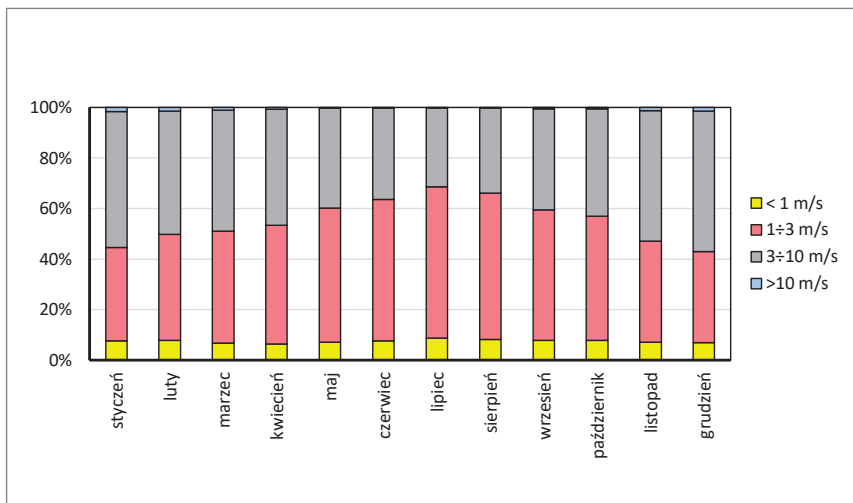
Podczas wiatru budynki stanowią przeszkodę, którą powietrze musi optynać. Przed budynkami następuje spiętrzenie przepływu i wyhamowanie prędkości, po ich bokach przeciwnie, występują prędkości powietrza większe niż przy swobodnym przepływie daleko przed przeszkodą (rys. 5.). Powietrze optywa budynek bokami i nad dachem, a u dołu przed budynkiem tworzy się wir, z którego powietrze, dzieląc się na dwie części, optywa dolną część budynku. Za budynkiem powstaje rozległy wir o stosunkowo małej prędkości przepływu powietrza; wiry powstają również za krawędziami nawierzchni [4], [5].

Wiatr, oddziałując na budynki, wywołuje obciążenia w postaci ciśnienia wywieranego na powierzchnie albo w postaci sił uwzględniających m.in. efekt drgań konstrukcji, które zależą od prędkości wiatru i od właściwości budynków: kształtu i rozmiarów, proporcji wymiarów, ich elementów oraz rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych.

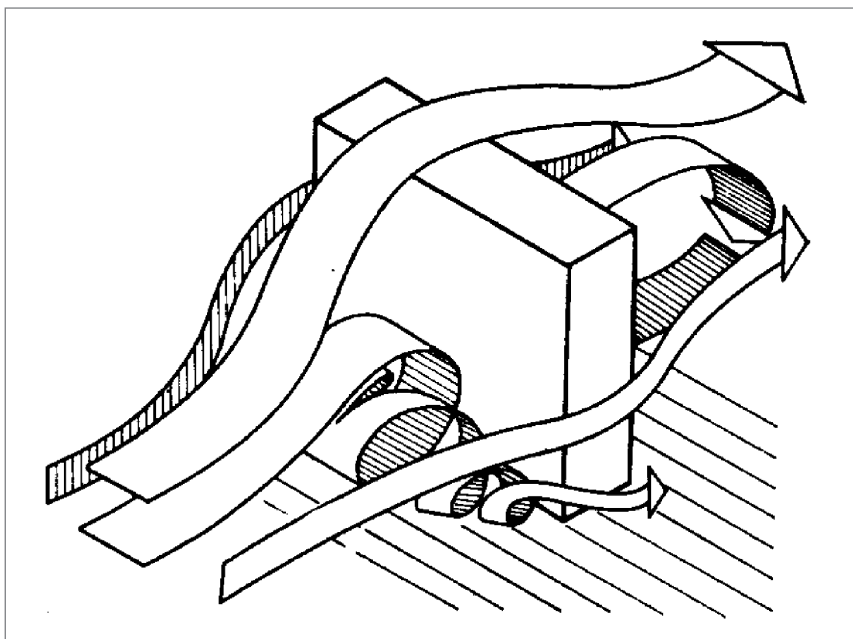
Oddziaływania wiatru przejawiają się w postaci:

- nadciśnienia działającego na nawierzchnie zewnętrzne ścian oraz połacie stromych dachów;
- podciśnienia działającego na powierzchnie zewnętrzne ścian bocznych i tylnych oraz wewnętrznej połacie dachów płaskich lub o małym kącie spadku;
- lub podciśnienia działającego na powierzchnie wewnętrzne, zależnie od położenia dużego otworu w ścianie w stosunku do kierunku wiatru.

W obszarach, gdzie prędkość przepływu rośnie (np. przy krawędziach nawierzchni),



Rys. 4. Prognozowana intensywność wiatrów w Polsce w latach 2021–2030



Rys. 5. Optyw powietrza wokół budynku podczas silnego wiatru [5]

spada ciśnienie, zaś występuje podciśnienie, powodujące najczęściej największe obciążenie powierzchni budynku. Szczególnie silne podciśnienia na ścianach i dachach występują w obszarach oderwania przepływu, za nawietrznymi, ostrymi krawędziami, a także na obszarach objętych wirami powietrza podczas wiatru wiejącego na narożniki budynków (rys. 6.) – w tych miejscach zwykle występują uszkodzenia pokrycia dachowego [5].

Warto także zauważyć, że w zabudowie miejskiej specyficzny układ budynków może spowodować zmniejszenie albo zwiększenie prędkości przepływu powietrza w ich otoczeniu. Budynki zlokalizowane w gęstej zabudowie będą w pewnym stopniu osłaniane od wiatru. Przeciwnie niskie budynki znajdujące się w pobliżu budynku wysokiego, w sąsiedztwie jego naroży nawietrznych, będą poddane oddziaływaniu wiatru o zwiększonej prędkości. Działanie to może być wzmocnione

w przestrzeni między dwoma budynkami wysokimi, gdzie może wystąpić tzw. efekt lejka.

Bardzo niebezpieczna jest sytuacja, gdy budynek ma duże otwory w nawietrznej ścianie zewnętrznej. Powoduje to wtłaczanie powietrza do budynku, wywołując w nim nadciśnienie mogące przyczynić się do rozzerwania budynku lub oderwania jego fragmentów. Duże otwory w ścianach bocznych lub tylnej, znajdujących się w obszarach podciśnienia, powodują natomiast spadek ciśnienia wewnątrz budynku. Otwory w ścianach mogą wynikać z ukształtowania bryły budynku, ale także mogą pojawić się jako efekt pierwotnych uszkodzeń powodowanych wiatrem – wyrwania elementów budynku takich jak wrota i drzwi lub wybicia szyb w oknach i drzwiach tarasowych/balkonowych (przedzie wszystkim potoczonych ze sobą). Podobnie mogą działać częściowo otwarte przybudówki do zasadniczej bryły budynku.

Ogólna charakterystyka uszkodzeń i zniszczeń powodowane przez wiatr

Uszkodzenia powodowane przez silny wiatr można podzielić na dwie grupy [6], [7]:

- uszkodzenia natychmiastowe, występujące w momencie oddziaływania wiatru na obiekt budowlany;
- uszkodzenia opóźnione w czasie, stopniowo narastające, aż do wystąpienia stanu awaryjnego obiektu budowlanego lub jego części.

Uszkodzenia bezpośrednie można z kolei podzielić na:

- uszkodzenia wynikające z oddziaływania wiatru na obiekt budowlany lub jego część, spowodowane przede wszystkim przez działanie ciśnienia wywieranego przez wiatr – działanie sił aerodynamicznych;
- uszkodzenia związane z uderzeniami przewracających się drzew lub słupów elektroenergetycznych, uderzeniami spadających lub przewracających się elementów i urządzeń budowlanych, a także z uderzeniami przedmiotów poderwanych i unoszonych przez wiatr (tzw. pocisków powietrznych); wiążą się one przede wszystkim ze zjawiskami spowodowanymi wiatrem [2], takimi jak zacinanie deszczu, nanoszenie soli oraz uderzeniami ziaren piasku. Zjawiska te mogą być odpowiedzialne albo współodpowiedzialne z innymi czynnikami za występowanie takich uszkodzeń jak:
 - zawilgocenie w wyniku wnikania wody deszczowej w materiały porowate,
 - pogorszenie stanu powierzchni ze względu na erozję,
 - pogorszenie wyglądu powierzchni na skutek wystąpienia wykwitów solnych.

Uszkodzenia pośrednie mogą przyczyniać się do wystąpienia uszkodzeń bezpośrednich wskutek „otwarcia” budynku na przykład w wyniku zniszczenia, okien, drzwi lub wrót garażowych. Ponadto szkody mogą wynikać z wystąpienia zjawisk towarzyszących gwałtownym wiatrom – głównie gradobicia i obfitych opadów deszczu.

Najczęściej występującymi w Polsce uszkodzeniami budynków spowodowanych wiatrem bezpośrednim są zniszczenia i uszkodzenia dachów oraz ich elementów. Występują zarówno duże zniszczenia, z zerwaniem całej połaci albo całego dachu włącznie, jak i mniejsze, lokalne, o ograniczonym zakresie. Miejscami szczególnie narażonymi są obszary przykrawędziowe, zwłaszcza gdy połacie dachowe mają małe kąty spadku.

W przypadku nowych pokryć dachówkowych uszkodzenia najczęściej są ograniczone do stref (o mniejszym lub większym zasięgu) za krawędziami nawietrznymi, a także w pobliżu kominów i lukarn. Stare pokrycia dachówkowe mogą być niszczone

w większym stopniu (mały ciężar, erozja, brak zamocowania lub korozja łączników). Dachówki mogą być zerwane i przenoszone przez wiatr poza obręb budynku, ale spotyka się także postawienie dachówek do pionu bez ich zerwania. Jeśli dachówki krawędziowe są dodatkowo specjalnie mocowane, obszar uszkodzeń najczęściej zaczyna się nieco dalej od krawędzi.

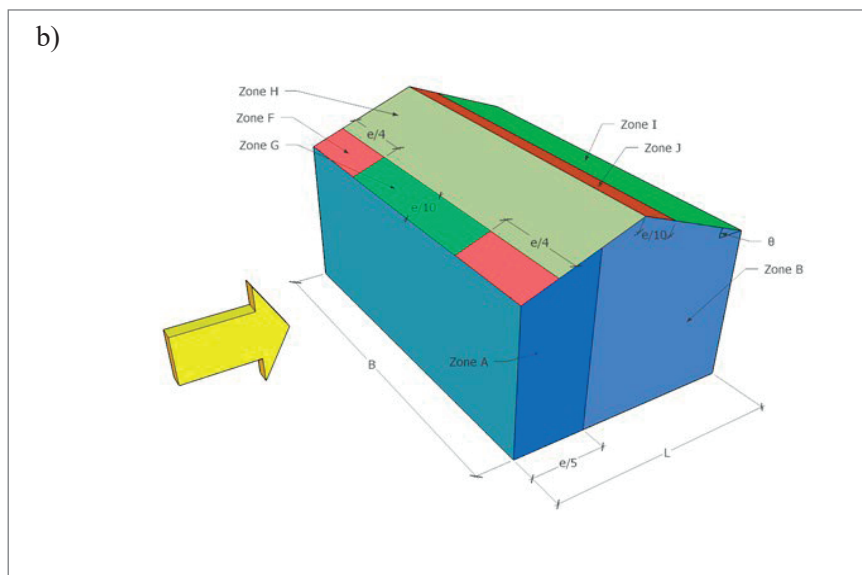
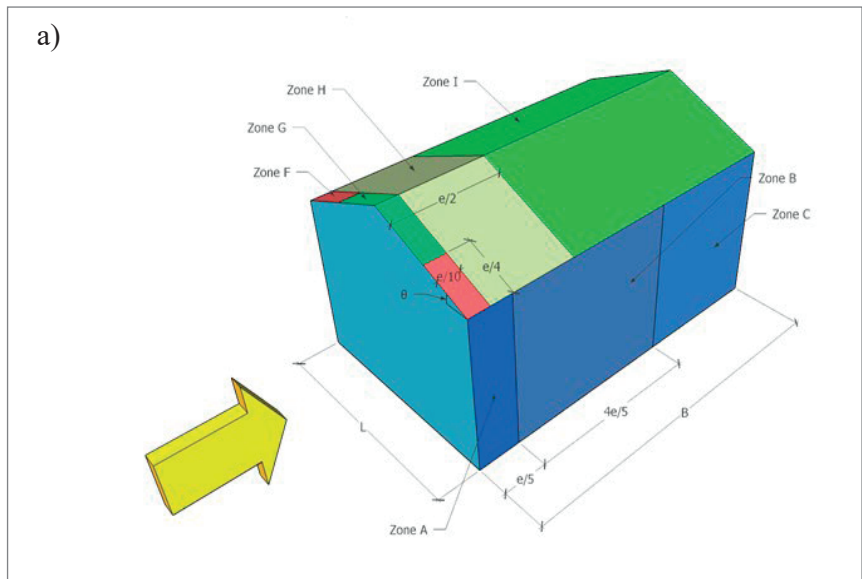
W przypadku pokryć arkuszowych blaszanych (z blach falistych, fałdowych, blachodachówki – blach profilowanych), a także innych pokryć z płyt dachowych uszkodzenia są rozległe, z zerwaniem całego przekrycia (pokrycia i konstrukcji nośnej) włącznie. Dzieje się tak najczęściej w efekcie zastąpienia starego pokrycia dachówkowego nowym – arkuszowym, bez wzmocnienia mocowania elementów konstrukcyjnych. Zdarza się, że po naprawie dach kryty blachą ponownie ulega zerwaniu. W wyniku wystąpienia siły aerodynamicznej na dużej powierzchni przekrycia dachowe przenoszone są czasem na znaczne odległości.

Zestawiając spotykane uszkodzenia związane z dachami, można wyróżnić:

- lokalne uszkodzenia lub zerwania pokrycia dachowego budynków,
- oderwania ocieplenia dachów płaskich,
- zerwania pokryć z podkładem dachowym i poszyciem,
- uszkodzenia elementów konstrukcji dachu,
- zerwania całego dachu,
- zniszczenia zadaszeń wiat lub przystanków komunikacyjnych,
- zerwania albo uszkodzenia hełmów wież kościelnych.

Oprócz zniszczeń dachów do często spotykanych uszkodzeń wywołanych bezpośrednim oddziaływaniem wiatru na budynki można zaliczyć m.in.:

- wybicia szyb, wyrwania okien i wrót;
- deformacje lub oderwania tablic informacyjnych, anten, balustrad balkonowych itp.;
- oberwania rynien i rur spustowych oraz uszkodzenia obróbek blacharskich;
- odspojenia tynku elewacyjnego od płyt termoizolacyjnych ocieplających ściany lub ocieplenia ścian zewnętrznych;
- uszkodzenia lub przewrócenia kominów ponad potacją dachową;
- naruszenia stateczności warstw elewacyjnych ścian warstwowych;
- całkowite albo częściowe zawalenia się ścian poddasza, zwłaszcza ścian szczytowych, ścian przybudówek (szczególnie otwartych), ścian zewnętrznych (parteru lub piętra);
- oderwania lekkiej zabudowy lub ścian budynków o konstrukcji szkieletowej;
- zawalenia się albo poderwania stropów między kondygnacjami mieszkalnymi a poddaszami;



Rys. 6. Strefy (ang. zones) najsilniejszego podciśnienia wywieranego przez wiatr na budynek; źródło: www.skyciv.com

a) wiatr wiejący na ścianę szczytową, b) wiatr wiejący na ścianę boczną
oznaczenie:

$e = \min(b; 2h)$, gdzie: b jest wymiarem poprzecznym do kierunku wiatru oraz h jest wysokością od terenu do kalenicy lub wysokością ściany przy dachu zagłębionym

- przewrócenia znaków drogowych, parkanów i ogrodzeń oraz innych elementów małej architektury;
- przewrócenia albo złamania słupów oświetleniowych i elektroenergetycznych, masztów telekomunikacyjnych itp.;
- uszkodzenia murowanych kominów przemysłowych;
- przewrócenia lub przemieszczenia urządzeń budowlanych, przemysłowych lub rolniczych.

Do miejsc najbardziej podatnych na uszkodzenia w wyniku działania wiatru należą:

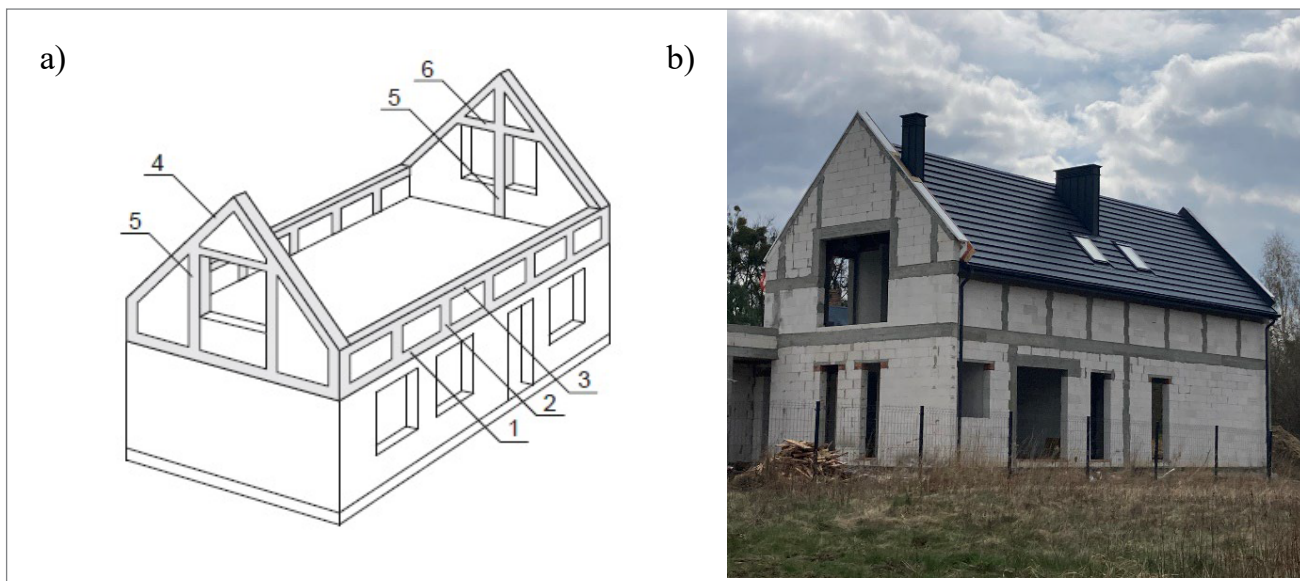
- mocowania elementów dachu;
- zakotwienia potaci dachowych do ściany szczytowej i więzarów;
- wzajemne połączenia konstrukcji dachu, ścian i stropów;

- szyby okienne, zakotwienia ościeżnic;
- mury o niskiej wytrzymałości na rozciąganie przy rozrywaniu i na zginanie poziome (z płaszczyny).

Ograniczanie szkód wyrządzanych przez wiatr

Szkody wyrządzane przez silny wiatr mogą być ograniczane już na etapie projektowania budynków przez właściwe wykorzystanie:

- kształtowania architektonicznego (aerodynamicznego) – takiego ukształtowania budynków i ich otoczenia, aby zmniejszało obciążenie zewnętrzne wywierane przez wiatr;
- kształtowania konstrukcyjnego – takiego ukształtowania konstrukcji budynków, które zapewni ciągłość przekazywania



Rys. 7. Przykład usztywnienia ścianek kolankowych oraz ścian szczytowych poddasza
 a) schemat usztywnienia elementów poddasza budynku; b) przykład praktycznego zastosowania usztywnień
 1 – wieńiec stropowy, 2 – słupek żelbetowy łączący wieńiec stropowy z wieńcem dachowym, 3 – wieńiec dachowy na ścianie kolankowej, 4 – ukośny wieńiec dachowy na ścianach szczytowych, 5 – słupy wzmacniające ścianę szczytową (w przypadku ściany jednowarstwowej należy wykonać pilastry), 6 – nadproże

obciążeń i wzmocni te fragmenty konstrukcji, które podczas wiatru są narażone na największe obciążenia, a więc zagrożone przekroczeniem ich nośności (rys. 7).

Ograniczanie szkód wyrządzanych przez wiatr poprzez architektoniczne projektowanie budynków wymaga nadania im (lub ich

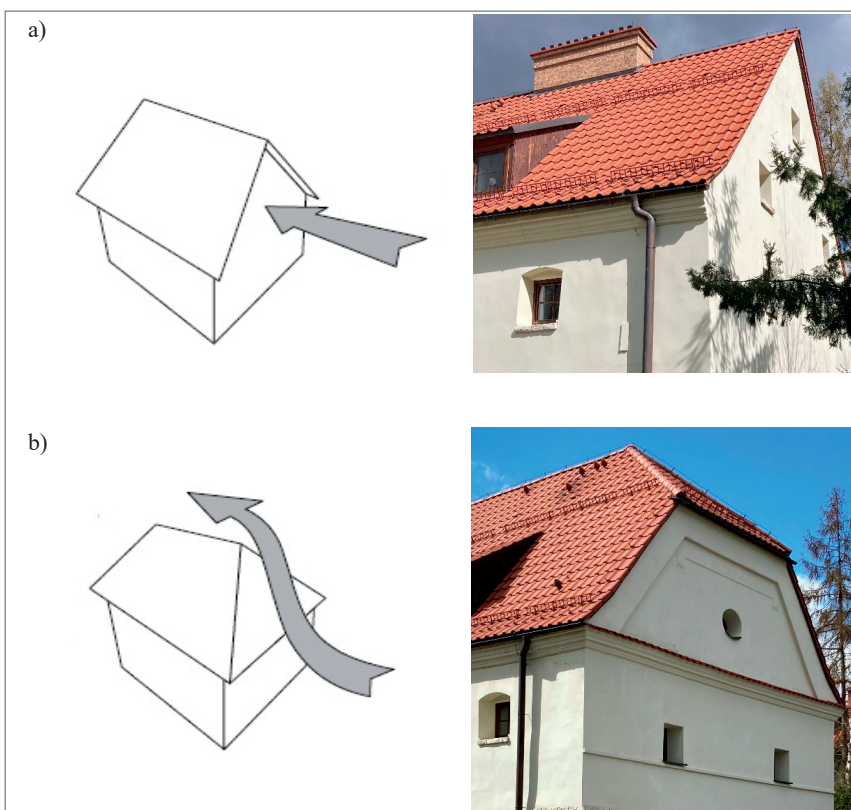
częściom) odpowiednich kształtów, zmniejszających wpływy oddziaływania wiatru. Bryła budynku powinna być tak ukształtowana lub powinny być do niej dodane elementy specjalne, które ograniczą wielkość podciśnienia (ssania wiatru) na zewnętrznych powierzchniach budynków, głównie na dachach. Nadciśnienia na powierzchniach

zewnętrznych mogą być natomiast zrównoważone albo zmniejszone przez ciśnienie pojawiające się za przewiewnymi częściami przegród lub przez ciśnienie wewnętrzne, które może wystąpić we wnętrzach budynków. Możliwe jest również zredukowanie prędkości wiatru przez odpowiednie ukształtowanie otoczenia wokół budynków.

Uwzględniając aerodynamiczne mechanizmy działania, redukcję podciśnienia zwłaszcza przy narożnych krawędziach dachów mogą nastąpić w wyniku [8]:

- wyeliminowania prostych, ostrych krawędzi, które tworzą wiry (rys. 8);
- ograniczanie możliwości tworzenia się wiru (np. przez stosowanie częściowych albo przewiewnych atak);
- zaktócenia wiru (np. przez stosowanie przewiewnych przegród albo ekranów, walców na dachach i rozgałęźników przepływu);
- przesuwania uformowanych wirów (np. w wyniku zastosowania wysokich atak).

Skutki jakościowe i ilościowe kształtowania dachu w budynkach określono, wykorzystując teorię przepływów i symulację Computational Fluid Dynamics (CFD) w programie RWIND. Analizy przeprowadzono wariantowo dla budynku z dachem dwuspadowym, naczółkowym i czteropółkowym. Uproszczeniem w tych symulacjach jest przyjęcie stacjonarnego przepływu powietrza w domenie (objętości otaczającej badany obiekt). W symulacjach założono budynek o wymiarach w rzucie poziomym 10×15 m i wysokości do kalenicy 8 m. Przyjęto ponadto: 2 strefę oddziaływania wiatru, I kategorię terenu i położenie 100 m n.p.m – w takich warunkach bazowa prędkość wiatru wynosi 26 m/s [9]. ▶



Rys. 8. Różnice oddziaływania wiatru na XV w. budynek
 a) dach dwuspadowy; b) dach naczółkowy

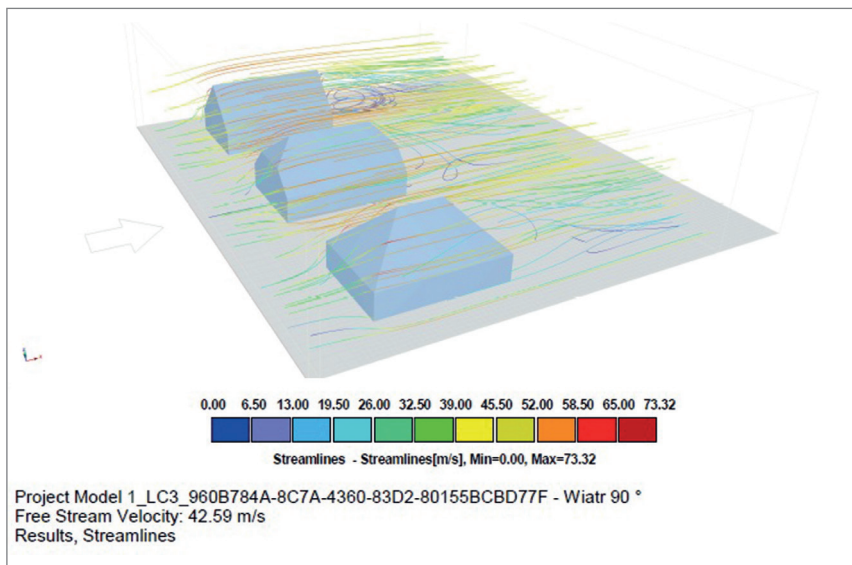
Wyniki symulacji dla trzech kształtów dachu budynków przedstawiono na rys. 9., 10., na których widoczny jest wpływ właściwości aerodynamicznych dachu na kierunku przepływu wiatru i wartości ciśnienia (parcia i ssania) wywieranego na elementy budynku.

Wpływ na obciążenia wiatrem budynków może mieć także odpowiednie rozplanowanie ich najbliższego otoczenia w ramach tzw. małej architektury, do której można zaliczyć np. zastosowanie osłon przeciwwiatrowych w sąsiedztwie budynków lub często uczęszczanych przejść. Jednym z rozwiązań może być również usypanie wałów ziemnych lub ustawienie ścian osłonowych od strony występowania silnego wiatru.

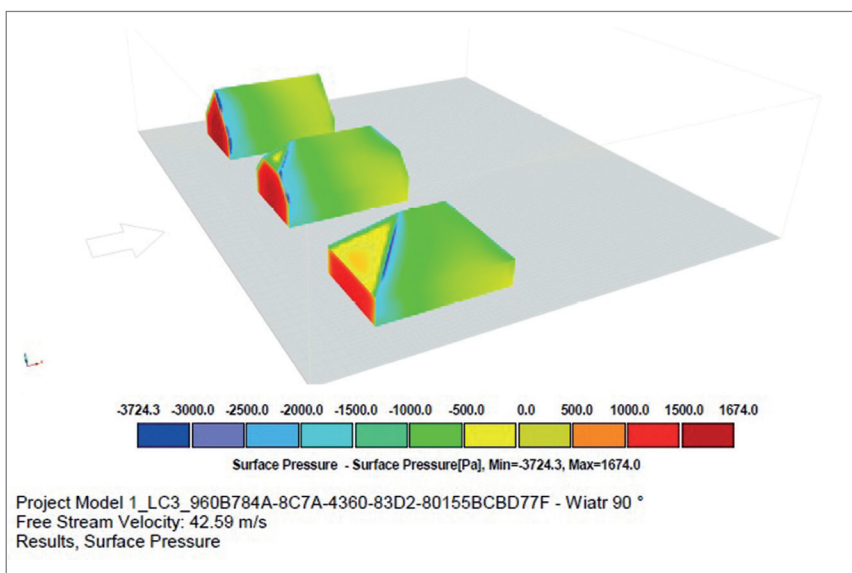
Podstawową zasadą w fazie projektowania i wznoszenia budynków jest likwidacja przerw w ścieżce przekazywania obciążeń, zarówno pionowych, jak i poziomych. Przykładami nieciągłości mogą być np.: nieodpowiednie zamocowanie pokryć dachowych, zbyt słabe zamocowanie konstrukcji dachów do ścian budynków, nieciągłości w połączeniach pomiędzy ścianami poddaszy i dolnymi kondygnacjami (względnie pomiędzy poszczególnymi kondygnacjami budynków o konstrukcji szkieletowej), niewłaściwe zamocowanie lekkich ścian szkieletowych do fundamentów, niedostateczne kotwienie do siebie warstw ścian, niedostateczna przyczepność/mocowanie warstw elewacyjnych.

Istotną rolę w zabezpieczaniu elementów budynków oraz jego otoczenia przed uszkodzeniami wiatru odgrywają alerty Rządowego Centrum Bezpieczeństwa (alert RCB), rozsyłane do mieszkańców terenów, na których przewidziane jest występowanie wiatru, umożliwiające właściwe zabezpieczenie budynków.

W przypadku architektonicznego kształtowania niskich budynków z uwagi na oddziaływanie wiatru podstawowym zadaniem powinno być ograniczenie podciśnienia działającego w miejscach oderwania przepływu, a więc za krawędziami nawietrznymi. Najprostszym sposobem realizacji tego zadania jest analiza kształtu dachu i przyjęcie odpowiedniego pochylenia potaci dachowych. Dach płaski, o małym kącie spadku, jest narażony na duże podciśnienie przy krawędziach nawietrznych. Lekkie dachy płaskie są zatem łatwe do zerwania w czasie silnego wiatru. W celu zminimalizowania wpływu ssania na dachu spadek potaci nie powinien być mniejszy niż 22°. W miarę wzrostu kąta pochylenia potaci podciśnienie maleje, a przy kącie 45° i kierunku wiatru na potać spada do zera. Przy większych kątach spadku pozostaje tylko obciążenie nadciśnieniem (w zakresie kątów od 5° do 45° w normach podaje się zwykle wartości ujemne i dodatnie współczynnika ciśnienia, a więc podciśnienie albo nadciśnienie, biorąc pod uwagę ewentualne zawirowania albo interferencje). Określając



Rys. 9. Kierunki przepływu powietrza podczas oddziaływania wiatru na budynki z dachem dwuspadowym, naczółkowym i czteropłaciowym



Rys. 10. Ciśnienie wiatru (parcie i ssanie) działające na elementy budynków z dachem dwuspadowym, naczółkowym i czteropłaciowym

pochylenie potaci dachowych, należy jednak brać pod uwagę rodzaj przewidywanego pokrycia dachowego. Przy mniejszych spadkach potaci (10–30°) ma miejsce silne podciśnienie, lecz jednocześnie największy jest docierający wpływ pokrycia dachowego. Przy spadkach 30–55° występuje mniejsze ssanie, ale mniejszy jest też wpływ ciężaru własnego pokrycia. Spadki powyżej 55° charakteryzują się najmniejszym ssaniem wiatru, ale też wpływ ciężaru własnego jest nieznaczny [10].

Aby uniknąć największego podciśnienia za krawędziami nawietrznymi dachu, w obszarach jak na rys. 6., przy kierunku wiatru zwróconym na ścianę szczytową, korzystnym rozwiązaniem jest dach naczółkowy lub czteropłaciowy. Przy takich rozwiązaniach, przy niewielkim nadciśnieniu na nachylennej potaci szczytowej dachu, wystąpi także

niewielkie podciśnienie za jego krawędziami nawietrznymi.

Często wskazuje się też na korzystniejsze zachowanie się dachów czteropłaciowych (zwłaszcza namiotowych – bez krawędzi kalenicowej) podczas silnego wiatru w stosunku do dachów dwupłaciowych, pomimo większej liczby krawędzi nawietrznych występujących w dachach czteropłaciowych. Przy stosowaniu tych dachów i ścian o konstrukcji szkieletowej (żebrowej) podkreśla się korzystniejsze zachowanie balonowej konstrukcji ścian szczytowych w stosunku do konstrukcji platformowej [11]. Należy jednak zwrócić uwagę, że źle zakotwiony dach czteropłaciowy zostanie zerwany jedynie kilka minut później niż dach dwupłaciowy.

Jeżeli budynek ma mieć dach o małym kącie spadku albo wręcz płaski (o kącie

spadku nie większym niż 5°), to zmniejszenie podciśnienia można osiągnąć przez wykonanie odpowiednio ukształtowanych attek, przewiewnych (szczelinowych) elementów okapowych wystających poziomo poza lico ściany, tłumików (przerywaczy) wirów krańdowych, spoilerów i innych elementów zmieniających przepływ powietrza w sąsiedztwie naroży ścian i dachu.

Przewiewność attyki powinna wynosić około 50%. Attyki albo okapy o większej przewiewności będą mało efektywne, bariery o większym przestonięciu mogą powodować lokalne zwiększenie prędkości przepływu.

W przypadku dachów płaskich najprostszym rozwiązaniem jest zastosowanie pełnej attyki. Jak wynika z normy [9], wartość współczynnika ciśnienia zewnętrznego ulega wówczas istotnemu zmniejszeniu, na przykład w polu narożnikowym (oznaczonym w normie literą F) współczynnik $C_{pe,1}$ zmniejsza się z wartości -2,5 w przypadku braku attyki do wartości -2,2 przy niskiej attyce i -1,8 przy wysokiej attyce. Należy jednak zdawać sobie sprawę z możliwości tworzenia się w okresie zimowym zasy py śnieżnej przy attyce i związanego z tym dodatkowego obciążenia śniegiem.

W dachu lub w ścianie szczytowej poddasza należy unikać otworów, które nie mogą być bezpiecznie zamknięte podczas silnego wiatru. Jeżeli otwory takie występują, należy przewidzieć możliwość ich zabezpieczenia dodatkowymi elementami zastępującymi (np. płytami OSB).

Podsumowanie

Obserwowane w ostatnich latach zmiany klimatu, prawdopodobnie spowodowane emisją gazów cieplarnianych do atmosfery, wywołują powstawanie wielu niekorzystnych zjawisk, do których zaliczyć można intensywne burze, powodzie i podtopienia oraz silne wiatry, a nawet trąby powietrzne.

Zjawiska te powodują znaczne szkody materialne w postaci uszkodzonych elementów budynków, zerwanych dachów, napowietrznych linii energetycznych, zniszczonego drzewostanu itp.

Niszczycielskie wiatry, o prędkościach przekraczających wartości podawane w normach, występują w Polsce z częstotliwością 5–7 razy rocznie. Brak więc uzasadnienia traktowania ich jako oddziaływania wyjątkowego (podobnie jak intensywne trzęsienia ziemi) i projektowania obiektów budowlanych przy założeniu spełnienia warunków stanów granicznych.

Możliwe natomiast jest, przy znajomości negatywnych zjawisk towarzyszących silnym wiatrom, ograniczanie ich skutków np. przez odpowiednie kształtowanie architektoniczne (aerodynamiczne) i konstrukcyjne. Podstawowym kierunkiem takich działań jest zmniejszenie obciążenia zewnętrznego oraz

wzmocnienie tych elementów konstrukcji, które są najmocniej narażone na oddziaływanie wiatru.

Na terenach, gdzie stwierdzono występowanie wiatrów huraganowych, zaleca się w szczególności odpowiednie kształtowanie brył budynków, szczególnie ich dachów, wzmocnienia ścian murowanych elementami żelbetowymi oraz skuteczne mocowanie do konstrukcji elementów wykończeniowych (termoizolacji, pokrycia dachowego i in.), a także częste kontrole stanu technicznego i regularne konserwacje bieżące.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Attenborough D., Hughes J.: Życie na naszej planecie. Moja historia, wasza przyszłość. Wydawnictwo Poznańskie. Poznań 2021.
- [2] Climate Change and World Heritage – Report on predicting and managing the impacts of climate change on World Heritage and Strategy to assist States Parties to implement appropriate management responses. World Heritage reports, 22, UNESCO.
- [3] Lorenc H.: Maksymalne prędkości wiatru w Polsce, IMGW PIB, Warszawa 2012.
- [4] Banks D., Sarkar P.P., Wu F., Structures for mitigating wind suction atop a flat or slightly inclined roof. United States Patent US 6601348 B2, 2003.
- [5] Żurański J.A.: Obciążenia wiatrem budowli i konstrukcji. Arkady, Warszawa 1978.
- [6] Gaczek M., Żurański J. A.: Uszkodzenia budynków wywołane huraganowym wiatrem, cz. II – Szkody i ich ograniczanie, Inżynier Budownictwa, 10/2008, s. 76–80.
- [7] Żurański J.A., Gaczek M., Fisz S.: Oddziaływanie wiatrów katastrofalnych na budynki w Polsce. XXIV Konferencja naukowo-techniczna „Awaryje Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje 2009, s. 595–604.
- [8] Surry D., Lin J.X., The Effect of Surroundings and Roof Corner Geometric Modifications on Roof pressures on Low-rise Buildings. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 58, 1995.
- [9] PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru.
- [10] FOS. Windsogssicherung. Fr. Ossenbergschule & Söhne GmbH & Co. KG, 2006.
- [11] Seven Steps to a Wind-Resistant Home. Blueprint For Safety – News, vol. 4, issue 1. Federal Alliance for Safe Homes – FLASH, Inc., 2007.

DOI: 10.5604/01.3001.0054.6280

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA
Szułc Jarostaw, Sieczkowski Jan, Gotębiowski Łukasz, 2024, Aerodynamiczne kształtowanie bryły budynku, „Builder” 07 (324).
DOI: 10.5604/01.3001.0054.6280

STRESZCZENIE:

Obserwowane ocieplenie klimatu, wywołane wzrastającą emisją CO₂ do atmosfery, generuje powstawanie zjawisk klimatycznych o intensywnościach wykraczających niekiedy ponad wartości graniczne przyjmowane w kombinacjach oddziaływań przy projektowaniu obiektów budowlanych. W ostatnich latach w różnych obszarach Polski rejestruje się występowanie silnych wiatrów i gwałtownych trąb powietrznych. Wywołane przez nie szkody prowadzą do wielomilionowych strat ponoszonych przez budżet państwa, firmy ubezpieczeniowe oraz prywatnych właścicieli budynków. Straty obejmują zakresem infrastrukturę budownictwa mieszkaniowego, drogowego i energetycznego, zniszczenia dotykają również terenów zielonych i majątku ruchomego. Z tego względu konieczne stają się działania zmierzające do ograniczenia

szkód wywołanych przez wiatr, np. poprzez właściwie opracowane plany zagospodarowania przestrzennego, odpowiednie kształtowanie bryły budynku i jego elementów oraz projektowanie i wdrażanie w wykonawstwie rozwiązań konstrukcyjnych przeciwstawiających się obciążeniom wywołanym również przez silne wiatry.

SŁOWA KLUCZOWE:

ocieplenie klimatu, obciążenie wiatrem, aerodynamika bryła budynku

ABSTRACT:

AERODYNAMIC SHAPING OF THE BUILDING SHAPE. Observed warming of the climate, caused by the impact of CO₂ emissions to the environment, generates climatic phenomena with intensities sometimes exceeding the limit values adopted in combinations of actions when designing building structures. In recent years, strong winds and violent whirlwinds have been recorded in various areas of Poland. The damage caused by them leads to multi-million losses incurred by the state budget, insurance companies and private building owners. Losses include housing, road and energy infrastructure, damage also affects green areas and movable property. For this reason, it becomes necessary to take actions aimed at limiting damage caused by wind, e.g. through properly designed area development plans, appropriate shaping of the building body and its elements, as well as designing and implementing structural solutions that resist loads also caused by strong winds.

KEYWORDS:

climate warming, wind load, aerodynamics, building shape