

Oddziaływanie wiatrów katastrofalnych na budynki w Polsce

Dr hab. inż. Jerzy Antoni Żurański, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa
dr inż. Mariusz Gaczek, mgr inż. Sławomir Fiszer, Politechnika Poznańska

1. Rodzaje, zasięg i częstotliwość występowania wiatrów katastrofalnych w Polsce

Na obszarze Polski występują różnego rodzaju zagrożenia naturalne, a w tym także silne i gwałtowne wiatry, które stanowią niebezpieczeństwo zarówno dla budynków oraz konstrukcji inżynierskich, jak i dla ludności, zwierząt inwentarskich, drzewostanu, maszyn i urządzeń rolniczych oraz przemysłowych, instalacji budowlanych, środków transportu (pojazdów, samolotów) itd. Można je nazwać wiatrami niszczycielskimi lub katastrofalnymi. Należą do nich:

1. wiatry związane z działalnością cyklonalną w chłodnej porze roku (cyklonami pozazwrotnikowymi), przy czym oprócz gwałtownych wiatrów – wichur zimowych – towarzyszących przemieszczaniu się cyklonu wraz z systemem frontów, możliwe jest także powstawanie trąb powietrznych,
 2. wiatry fenowe związane z barierą orograficzną gór,
 3. wiatry występujące w sytuacjach burzowych – ogólnie ujmując wiatry związane z powstawaniem wirów małoskalowych (głównie trąb powietrznych) i wiatry prostoliniowe (ang. straight-line winds).
- W bardzo rzadkich przypadkach niszcząca siła mogą osiągać także wiry małoskalowe niezwiązane z konwekcją burzową, np. wiry pyłowe.

Wszystkie zasadnicze zagrożenia naturalne spotykane na obszarze Polski, określone przez Munich

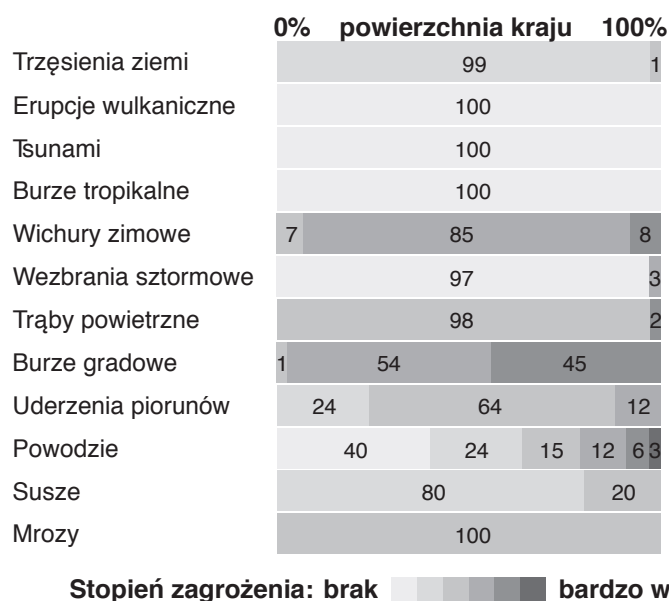
Reinsurance Company, pokazano na rysunku 1. Wynika z niego, że cały obszar naszego kraju jest narażony na występowanie zarówno wichur zimowych, jak i trąb powietrznych. Stopień zagrożenia tymi zjawiskami jest jednak zróżnicowany. Jeśli założyć stopniowanie zagrożeń: brak, bardzo małe, małe, średnie, wysokie, bardzo wysokie, to:

- 1) w przypadku wichur zimowych – 8% powierzchni Polski narażone jest na występowanie tego zjawiska w stopniu wysokim, 85% w stopniu średnim, a 7% w stopniu małym,
 - 2) w przypadku trąb powietrznych – 2% powierzchni Polski narażone jest na ich występowanie w stopniu wysokim, a 98% w stopniu małym.
- W porównaniu do analogicznego

zestawienia z końca roku 2006, zagrożenia powodowane wicherami zimowymi, trąbami powietrznymi, a także burzami gradowymi uległy zwiększeniu. Wówczas bowiem, szacowane zagrożenia powodowane katastrofalnymi wiatrami rozkładały się w sposób następujący:

- 1) w przypadku wichur zimowych – 70% powierzchni Polski narażone było na występowanie tego zjawiska w stopniu średnim, a 30% w stopniu małym,
- 2) w przypadku trąb powietrznych – 30% powierzchni Polski narażone było na ich występowanie w stopniu małym, a 70% w stopniu bardzo małym.

Chociaż trąby powietrzne i inne wiatry związane ze zjawiskami powstającymi w sytuacjach burzo-



Rys. 1. Zagrożenia naturalne w Polsce (wg stanu z lutego 2009 r.) [9]

WIATR	MIESIĄC											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Związany z działalnością cyklonalną	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Typu fenowego (halny, fen sudecki)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Wiry małoskalowe (gł. trąby) i prostoliniowy wiatr niszczycielski	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Częstość występowania (w odniesieniu do wiatru tego samego rodzaju):
 ■ duża ■ umiarkowana ■ mała ■ bardzo mała

Rys. 2. Okresy występowania w Polsce wiatrów katastrofalnych w zależności od genezy ich powstania (dane dotyczące wiatru związanego z działalnością cyklonalną i wiatru fenowego wg [7])

wych mogą występować i są notowane na terenie całego kraju, szczególnie narażonymi obszarami wydają się być w ostatnim czasie rejony Częstochowy i pobliskich powiatów, a także wschodnie rejony Polski.

Okresy występowania w Polsce wiatrów katastrofalnych w zależności od genezy ich powstania pokazano na rysunku 2. Wynika

z niego, że niszczycielskie wiatry mogą pojawiać się w Polsce w ciągu całego roku [7]. Mają one jednak różny potencjał wywoływania zniszczeń.

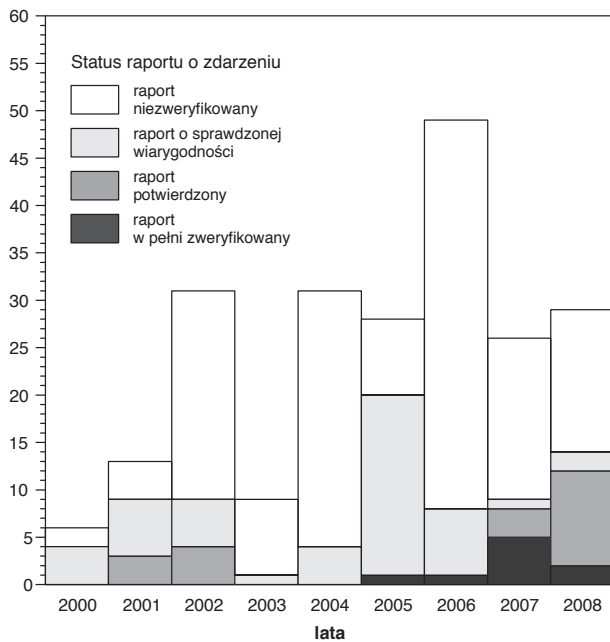
Liczbę odnotowanych trąb powietrznych w Polsce w latach 2000–2008, wg danych zawartych w European Severe Weather Database [2], przedstawiono na rysunku 3. Natomiast na rysunku 4

przedstawiono miesięczny rozkład występowania trąb powietrznych w tym samym czasie.

2. Charakter i przyczyny uszkodzeń budynków w wyniku wystąpienia wiatrów katastrofalnych

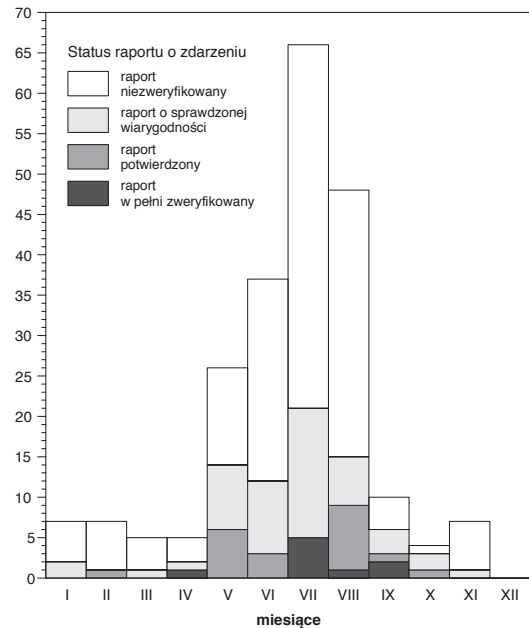
Rozpatrując uszkodzenia powodowane przez wiatry katastrofalne, można mówić o uszkodzeniach bezpośrednich i uszkodzeniach pośrednich [3, 11]. Uszkodzenia bezpośrednie wynikają z bezpośredniego oddziaływania wiatru na obiekt budowlany lub jego część. Są one spowodowane przede wszystkim przez działanie ciśnienia wywieranego przez wiatr (sił aerodynamicznych). Efektem drugorzędym jest wpływ zmian ciśnienia atmosferycznego. Uszkodzenia pośrednie związane są z uderzeniami przewracających się drzew, słupów elektroenergetycznych itp. oraz elementów i urządzeń budowlanych, a także z uderzeniami przedmiotów poruszanych i unoszonych przez wiatr (tzw. pocisków powietrznych). Ponadto szkody mogą wynikać

liczba odnotowanych trąb powietrznych



Rys. 3. Liczba odnotowanych trąb powietrznych w Polsce w latach 2000–2008

liczba odnotowanych trąb powietrznych



Rys. 4. Miesięczny rozkład występowania trąb powietrznych w Polsce w latach 2000–2008

z wystąpienia zjawisk towarzyszących (głównie gradobicia towarzyszącego burzom i trąbom powietrznym, obfitych opadów w przypadku cyklonów, lawin śnieżnych i kamienistych – w przypadku wiatru fenowego). Charakter i zasięg uszkodzeń bezpośrednich zależy od wielu czynników, spośród których można wymienić:

- rodzaj obiektu (budynek mieszkalny, budynek użyteczności publicznej, budynek przemysłowy, budynek rolniczy, budynek gospodarczy itp.),
- rozwiązanie materiałowo-konstrukcyjne (w dużym stopniu zależne od rodzaju obiektu),
 - rodzaj konstrukcji obiektu (lekka, masywna) i jego elementów (materiały konstrukcyjne, ukształtowanie geometryczne),
 - sposób przekazywania obciążeń,
 - usztywnienie przestrzenne,
 - rodzaj elementów wykończenia,
- warunki eksploatacji (przeciążenie, brak konserwacji),
- jakość materiałów (stopień korozji elementów, stosowanie materiałów rozbiórkowych),
- jakość wykonania połączeń konstrukcyjnych, zamocowania elementów wykończenia,
- wymiary rzutu i wysokość,
- ukształtowanie dachu,
- rozczłonkowanie bryły budynku,
- przewiewność przegród,
- wiek i stan techniczny,
- lokalizacja (lokalne warunki topograficzne) i ekspozycja (np. sąsiedztwo).

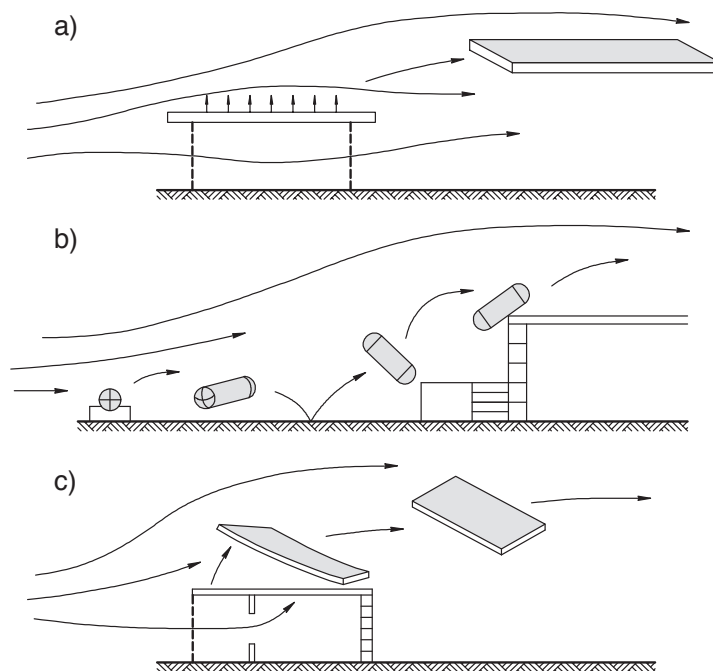
Oddziaływanie wiatru przejawia się bezpośrednio jako ciśnienie wywierane na zewnętrzne powierzchnie budowli zamkniętych, a także, z powodu przepuszczalności przegród zewnętrznych, jako ciśnienie wywierane na powierzchnie wewnętrzne. Wiatr może również bezpośrednio oddziaływać na wewnętrzne powierzchnie budowli otwartych. Ciśnienie wywierane na powierzchnie konstrukcji lub jej indywidualnych elementów osłonowych, wywołuje siły

prostopadłe do nich. Dodatkowo, gdy duże obszary konstrukcji są opływane przez wiatr, powstają – czasem znaczące – siły tarcia, działające stycznie do powierzchni. W przypadku elementów podatnych na drgania, siły wynikające z ciśnienia zwiększane są o czynnik dynamiczny.

Szczególnie niebezpieczna jest sytuacja, gdy budynek ma duży otwór w zewnętrznej ścianie nawietrznej. W takim przypadku powietrze jest bowiem wtłaczane do budynku, który jest w wyniku tego rozsadzany. Niebezpieczna może być także sytuacja, gdy duże otwory zlokalizowane są w ścianie bocznej lub tylnej, znajdujących się w obszarach podciśnienia. Spowodowany tym spadek ciśnienia wewnątrz budynku może powodować zapadnięcie się do środka ścian i stropu względnie dachu. Rozpatrywane zjawiska dotyczą nie tylko całego budynku, ale także różnego typu przybudówek, garaży, obudowanych ścianami i zadaszonych do drzwi wejściowych.

Znaczna liczba uszkodzeń związana jest z pokryciem dachowym i konstrukcją dachu. Wynika

to z charakteru opływu dachu, a także z oddziaływania ciśnienia wewnętrznego. Przy małych kątach nachylenia połaci dachowych ($\alpha < 20^\circ$) nad całym dachem tworzy się obszar podciśnienia (ssa-nia). Na połaci nawietrznej ciśnienie zmienia się w miarę oddalania od krawędzi dachu, natomiast na połaci zawietrznej, podobnie jak i na ścianie zawietrznej, rozkład ciśnienia jest dość równomierny. Gdy kąt pochylenia jest większy ($20^\circ < \alpha < 40^\circ$), występuje wprawdzie oderwanie strumienia powietrza na krawędzi nawietrznej, lecz strumień znów przylega w pobliżu szczytu i dopiero przy kalenicy powstaje zasadnicze oderwanie. Przy kątach $\alpha > 40^\circ$ oderwanie powstaje dopiero na szczycie dachu. Oderwanie strumienia powietrza wywołuje podciśnienie za krawędziami nawietrznymi w najbliższym ich sąsiedztwie. Obszary przykrawędziowe są w związku z tym szczególnie narażone na zwiększone oddziaływanie wiatru, a możliwe pulsacje ciśnienia powodować mogą zwiększenie ryzyka wystąpienia uszko-



Rys. 5. „Pociski powietrzne” powstające w wyniku: a) sił aerodynamicznych, b) toczenia się i koziółkowania, c) ciśnienia wewnętrznego i zewnętrznego (rozerwania budynku) [8]

dzeń w tych obszarach budynku. Uszkodzenia zainicjowane przy krawędziach mogą pociągać za sobą zniszczenia większych obszarów. Dodatkowym czynnikiem, mogącym teoretycznie wpływać na wielkość uszkodzeń bezpośrednich, jest zmiana ciśnienia atmosferycznego występującego w obrębie wiru trąby powietrznej. Powoduje ona powstawanie na wszystkich powierzchniach budynku ciśnienie o zwrocie skierowanym na zewnątrz. Budynek, który jest „uszczelniony” tak, aby żadna ilość powietrza nie mogła się wydostać na zewnątrz w chwili przechodzenia trąby powietrznej, będzie podlegał różnicom ciśnienia po obu stronach każdego z elementów ścian i dachu, równym co do wielkości zmianie ciśnienia atmosferycznego spowodowanej na zewnątrz przez trąbę. Ponadto tempo, w którym występują zmiany ciśnienia zależy od szybkości przemieszczania się trąby, gdy przechodzi ona w bezpośredniej bliskości budynku. Tak więc, w czysto teoretycznym rozważaniu wpływu ciśnienia powodowane przez zmianę ciśnienia atmosferycznego mogą stanowić dodatkowe zagrożenie.

Faktyczne ciśnienia działające na elementy tradycyjnego budynku w rezultacie zmiany ciśnienia atmosferycznego są jednak zupełnie inne od tych, rozważanych w powyższym czysto teoretycznym przypadku. Każde odchylenie od stanu uszczelnionego, znacząco zmniejsza wielkość ciśnień działających na elementy ściennie i dachowe, ponieważ w miarę zbliżania się trąby, powietrze będzie wydostawać się na zewnątrz przez otwory w przegrodach zewnętrznych. Poza tym, w miarę zmniejszania się prędkości przemieszczania trąby powietrznej, wpływy zmiany ciśnienia atmosferycznego na nieuszczelniony budynek stają się mniej znaczące. Wpływy te są zmniejszane, ponieważ powietrze wewnątrz budynku ma więcej czasu na wydostanie się z niego i utrzymanie w ten sposób wzglę-

nej równowagi pomiędzy ciśnieniem wewnętrznym a zewnętrznym. Ponadto, silne strumienie powietrza oddziałują na budynek wcześniej zanim zmiana ciśnienia atmosferycznego zdoła stać się istotnym czynnikiem. Zatem zniszczenia elementów budynku powodowane działaniem wiatru, częstokroć niejako otwierają obiekt i eliminują tym samym jego szczelność zanim zmiana ciśnienia atmosferycznego ma możliwość okazania się czynnikiem zagrożenia [8].

Duża liczba uszkodzeń jest natomiast odnotowywana na skutek uderzeń tzw. „pocisków powietrznych”, czyli przedmiotów poruszanych i unoszonych przez wiatr. Przykładowe mechanizmy tworzenia się tego typu zagrożeń przedstawiono na rysunku 5. Wynika z niego, że wprowadzenie elementu w strumień powietrza może być skutkiem wystąpienia sił aerodynamicznych przy opływie, toczenia (zwłaszcza po pochyłości), a następnie odbijania się od napotkanych konstrukcji, czy wreszcie skutkiem rozpadnięcia się (rozerwania) budynku lub jego ustroju [8].

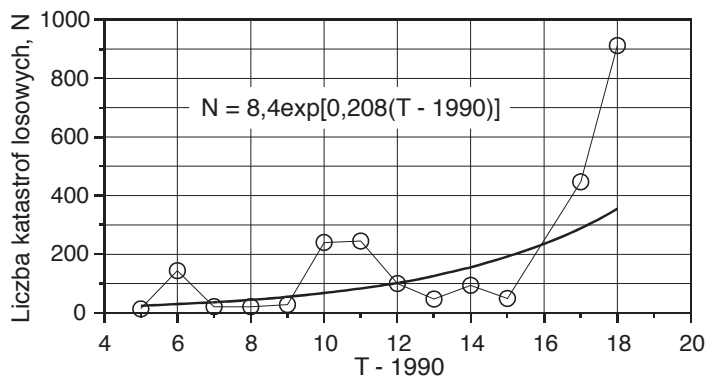
Trajektorie przemieszczania się przedmiotów lub elementów niesionych przez wiatr zależą od sposobu wprowadzenia w strumień powietrza, a także od charakterystycznych właściwości tych elementów oraz początkowej wysokości nad poziomem terenu. Znaczenie ma także pierwotne usytuowanie elementu w stosunku do głównego przepływu powietrza, czy też do ścieżki przejścia trąby powietrznej [8].

3. Szkody powodowane przez wiatr w Polsce

Istotne znaczenie ma znajomość szkód wyrządzanych przez wiatr. Źródłem informacji może być kilka, lecz są one różnej wartości. Najważniejszym źródłem są dane o awariach i katastrofach, zbierane przez Powiatowe i Wojewódzkie Inspektoraty Nadzoru Budowlanego i przekazywane do Głównego

Urzędu Nadzoru Budowlanego. Obejmują one jednak stosunkowo krótki okres, od utworzenia GUNB w 1995 r. Drugim źródłem są dane o odszkodowaniach, wypłacanych przez instytucje ubezpieczeniowe. Przez długi czas jedyną taką instytucją w Polsce był Powszechny Zakład Ubezpieczeń, co ułatwiało pozyskiwanie danych o szkodach wyrządzanych przez wiatr. Jednakże ubezpieczenia nie były obowiązkowe, a za wartością progową przyjęto prędkość wiatru 24,5 m/s (10 stopni w skali Beauforta), zapewne chwilową, chociaż nie zostało to podane. Obecnie, z powodu większej liczby firm ubezpieczeniowych i ograniczeń w upowszechnianiu informacji, pozyskiwanie danych o odszkodowaniach może być utrudnione. Innym źródłem informacji o szkodach wyrządzanych przez wiatr mogą być doniesienia medialne, a zwłaszcza prasowe, obejmujące dłuższy okres. Ich wynajdowanie i zbieranie, aczkolwiek bardzo pracochłonne, było jednak stosowane [6]. W przypadku zjawisk niezwykle gwałtownych, takich jak trąby powietrzne, które ostatnio wystąpiły na terenie Polski, źródłem informacji są także zestawienia szkód sporządzane przez gminy i lokalne jednostki straży pożarnej. Duże znaczenie ma także dokumentacja fotograficzna prezentowana w Internecie.

Uszkodzenia budynków powodowane przez wiatr są klasyfikowane przez GUNB do grupy zdarzeń losowych, w której stanowią zdecydowaną większość [4, 5]. Na rysunku 6 przedstawiono liczby katastrof losowych według danych GUNB. W ostatnich dwóch latach, z powodu trąb powietrznych w okolicy Częstochowy, liczba zdarzeń losowych znacznie wzrosła. Wśród tych z roku 2007, na ogólną liczbę 447 zdarzeń losowych było 401 katastrof spowodowanych przez wiatr, w tym 263 katastrofy w powiecie częstochowskim powstałe w wyniku trąby powietrznej 20 lipca 2007 r. Warto zauważyć, że w 2007 r. nie



Rys. 6. Liczba katastrof losowych według danych GUNB; T – rok kalendarzowy

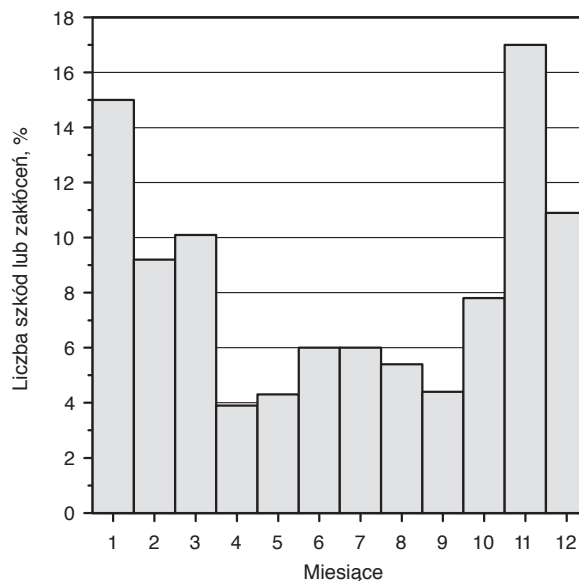
było katastrof w województwach nadmorskich, pomorskim i zachodniopomorskim, nawet w okresie silnych sztormów jesiennych i zimowych. Silna wichura zimowa spowodowała natomiast 59 katastrof w styczniu 2007 r. w województwie łódzkim.

W 2008 r. wydarzyło się 912 katastrof z przyczyn losowych, w tym 901 z powodu silnego wiatru [5]. Podstawową przyczyną była trąba powietrzna (lub kilka trąb) w dniu 15 sierpnia 2008 r. Spowodowała ona 534 katastrofy w województwie łódzkim (w powiatach radomszczańskim i piotrkowskim), 237 katastrof w województwie opolskim (w powiecie strzeleckim) oraz 17 katastrof w województwie śląskim (powiaty częstochowski i gliwicki). Następnego dnia silny wiatr spowodował 113 katastrof w województwie podlaskim, w powiatach zambrowskim i wysokomazowieckim.

Próbę oceny szkód wywołanych przez różne zjawiska losowe, w tym przez wiatr podjął Lisowski [6]. Z analizy danych PZU z lat 1960 – 1986 wynika, że szkody w budynkach były szkodami drobnymi, a wartość wypłacanych odszkodowań z powodu większych szkód na ogół nie przekraczała 1/3 wartości budynku [6]. W rozpatrywanym okresie było przynajmniej kilka przypadków wiatru katastrofalnego w Polsce, nie wpłynęło to jednak na ogólną ocenę szkód.

Przedmiotem analizy były także doniesienia prasowe. Przeanalizo-

wano 9539 numerów „Życia Warszawy” z lat 1960–1990, w których zidentyfikowano łącznie 601 numerów zawierających informacje o szkodach wywołanych przez silne wiatry [6]. Dotyczyły one jednak nie tylko budynków. Wśród doniesień prasowych najczęściej było o szkodach w liniach energetycznych i telefonicznych (19,4%), o zakłóceniach w rybołówstwie (16,8%) i szkodach w leśnictwie (15,4%) oraz zakłóceniach w pracy portów (13,0%). Budynki, z 7,6% udziału w doniesieniach o szkodach, znalazły się na szóstym miejscu. Interesujący jest podział doniesień o szkodach według miesięcy, świadczyć on bowiem może o przyczynach szkód według dwóch głównych rodzajów wiatrów katastrofalnych. Procentowy rozkład doniesień „Życia Warszawy” o szkodach lub zakłóceniach w pracy spowodowanych przez silny wiatr, opracowany przez Lisowskiego [6], przedstawiono na rysunku 7. Wyróżniają się dwa okresy: półrocze chłodne, od października do marca, łącznie 70% doniesień, i półrocze ciepłe, od kwietnia do września, 30% przypadków. W porze ciepłej na uwagę zasługuje zwiększenie szkód w czerwcu, lipcu i sierpniu



Rys. 7. Procentowy rozkład szkód lub zakłóceń w pracy w podziale na miesiące wg [6]

(o ok. 50% w stosunku do kwietnia, maja i września), co się wiąże z aktywnością burzową przypadającą przede wszystkim na te miesiące.

Oprócz ogólnych informacji o uszkodzeniach i zniszczeniach powodowanych przez wiatry katastrofalne, konieczne jest rozpoznanie bardziej szczegółowe, w podziale na rodzaje budynków, ich rozwiązanie konstrukcyjne, użyte materiały, wiek.

Przykładem bardziej szczegółowych informacji jest podane w tabeli 1 zestawienie zniszczeń w gminach Klomnice, Mstów i Rędziny w pow. częstochowskim, w wyniku trąby powietrznej z 20 lipca 2007 [1]. Ogólnie ujmując, do najczęściej spotykanych w Polsce uszkodzeń bezpośrednich powodowanych przez wiatry katastrofalne zalicza się:

- przewrócenie parkanów i ogrodzeń,
- wybicie szyb, wyrwanie okien i wrót,
- deformacja lub oderwanie tablic informacyjnych, anten itp.,
- przewrócenie lub złamanie słupów oświetleniowych i energetycznych,
- oberwanie rynien i rur spustowych,

Tabela 1. Uszkodzenia budynków przez trąbę powietrzną w dniu 20.07.2007 wg [1]

Rodzaj budynku	Rodzaje uszkodzeń				
	zerwany dach	uszkodzone pokrycie dachu	uszkodzona więźba dachowa	uszkodzony strop	naruszona konstrukcja dachu
Mieszkalny	39	71	24	26	18
Gospodarczy	33	49	8	3	2

- oderwanie ocieplenia ścian zewnętrznych,
- oderwanie ocieplenia dachu płaskiego,
- lokalne uszkodzenia lub zerwanie pokrycia dachowego,
- uszkodzenia elementów konstrukcji dachu,
- zerwania całego przekrycia dachowego,
- zerwanie hełmów wież kościelnych,
- uszkodzenia lub przewrócenie kominów ponad połacią dachową,
- naruszenie stateczności warstwy elewacyjnej ścian szczelinowych (3-warstwowych),
- zawalenie się ścian szczytowych poddasza i kominów w obrębie poddasza,
- zawalenie się lub poderwanie w górę stropu między kondygnacją mieszkalną a poddaszem,
- zawalenie się ścian zewnętrznych.

Należy zauważyć, że wartości charakterystyczne prędkości wiatru w Polsce, w normowej strefie 1, przeliczone z czasu uśredniania 10 minut na wartości chwilowe (z 1–3 sekund), wynoszą obecnie 30–34 m/s (wartość większa z $\sqrt{v_f}$). Są to prędkości jakie najczęściej występują w czasie wicher zimowych, ale także podczas burz letnich (bez trąb powietrznych). Po wprowadzeniu normy europejskiej wzrosną do 41 m/s [11]. Wzrost ten wynika ze zwiększenia wartości charakterystycznej prędkości wiatru oraz współczynnika częściowego.

4. Wnioski i uwagi końcowe

Analiza występowania silnych wiatrów w Polsce, a także ogólne spojrzenie na szkody powodowane

przez wiatr pozwalają na sformułowanie niżej podanych wniosków i uwag.

1. W Polsce występuje kilka rodzajów wiatrów mogących powodować uszkodzenia budynków i innych budowli. Jednak największe zagrożenie stanowią trąby powietrzne i niszczycielskie wiatry prostoliniowe mogące tworzyć się w sytuacjach burzowych, a także gwałtowne wichury, wiatry o sile huraganu, występujące w chłodnej porze roku.

2. Szacuje się, że zagrożenia wynikające z oddziaływania wiatrów katastrofalnych wzrastają (w wyniku zwiększenia się gwałtowności zjawisk, obszaru ich występowania, częstości występowania, a także w wyniku niewłaściwej eksploatacji obiektów i ich zużycia naturalnego), jednak wymaga to potwierdzenia na podstawie wiarygodnych danych zebranych z dłuższego czasu. O wykładniczym wzroście liczby katastrof losowych (rys. 6) zdecydowały trąby powietrzne z lat 2007 i 2008. Jest to jednak zbyt mało, aby taki wzrost uznać za tendencję trwałą.

3. Charakter zniszczeń powodowanych przez wiatr w Polsce świadczy niejednokrotnie o usterkach wykonawczych, ale także o niedociągnięciach projektowych mogących wynikać z lekceważenia różnorodnych oddziaływań wiatru na elementy budynku.

4. Potrzebne są wytyczne przedstawiające sposoby ograniczania skutków wystąpienia wiatrów katastrofalnych w Polsce. Odpowiednie działania zostały już podjęte.

5. Opracowanie zasad projektowania i wykonywania budynków i innych budowli w celu ograniczenia skutków oddziaływania wiatrów

katastrofalnych, wymaga zebrania możliwie dużej liczby danych dotyczących charakteru zjawisk i rodzajów uszkodzeń.

BIBLIOGRAFIA

[1] Beblot G., Hołda I., Rorbek K., Trąba powietrzna w rejonie Częstochowy 20 lipca 2007 roku (w „Ekstrema pogodowe Polsce”, red. M. Maciejewski, M. S. Ostojki). IMGW, Warszawa 2007

[2] European Severe Storms Laboratory, European Severe Weather Database, www.esssl.org/eswd

[3] Gaczek M., Żurański J. A., Uszkodzenia budynków wywołane huraganowym wiatrem, cz. II – Szkody i ich ograniczanie. Inżynier Budownictwa, 10, 2008, s. 76–80

[4] Katastrofy Budowlane w 2007 roku. Główny Urząd Nadzoru Budowlanego, Departament Prawno-Organizacyjny, Warszawa, maj 2008

[5] Katastrofy Budowlane w 2008 roku. Główny Urząd Nadzoru Budowlanego, Departament Prawno-Organizacyjny, Warszawa, luty 2009

[6] Lisowski A., Skutki występowania wybranych zagrożeń naturalnych i ich percepcja w Polsce. Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Warszawa 1993

[7] Lorenc H., Struktura i zasoby energetyczne wiatru w Polsce. Materiały Badawcze, seria: Meteorologia – 25, IMiGW, Warszawa 1996

[8] Minor J. E., McDonald J. R., Mehta K. C., The tornado: An engineering-oriented perspective. NOAA Technical Memorandum NWS SR-147

[9] Munich Re Group, Natural Hazards Assessment Network, Country Profile: Poland

[10] Windstorm mitigation manual for light frame construction. Federal Emergency Management Agency, 1997

[11] Żurański J. A., Gaczek M., Oddziaływanie huraganowego wiatru na budowlę. X Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy Rzeczoznawstwa Budowlanego”, Warszawa Miedzeszyn, 22–24 kwietnia 2008 r. Wyd. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2008