

Sposób monitorowania obciążenia zmiennego konstrukcji dachu

- Przedmiotem wynalazku jest sposób monitorowania obciążenia zmiennego konstrukcji dachu, przykładowo obciążenia wywołanego zalegającą pokrywą śniegową. Sposób może być wykorzystany w systemach do monitorowania stopnia wykorzystania nośności (stopnia zagrożenia bezpieczeństwa użytkowania) konstrukcji dachów obiektów budowlanych, zwłaszcza obiektów wielkopowierzchniowych.
- 5 Monitorowanie konstrukcji obiektów budowlanych, w szczególności elementów konstrukcji dachów, służy poprawie bezpieczeństwa ich użytkowania. Podstawowa grupa metod, wykorzystywanych w tym celu, obejmuje metody monitorowania zmian położenia elementów konstrukcyjnych obiektów budowlanych wykorzystujące urządzenia optyczne.
- 10 W polskim opisie zgłoszeniowym P.381578 przedstawiono sposób polegający na kierowaniu promienia świetlnego poniżej belek konstrukcji dachowej. Ugięcie się co najmniej jednej belki ze specjalną przesłoną ponad dopuszczalną założoną wartość powoduje, że przerywa się przebieg wiązki światła i włącza się alarm dźwiękowy i wizualny.
- 15 W opisie patentowym PL183116 ujawniono sposób pomiaru skręcania i ugięcia belki w układach statycznych i dynamicznych, polegający na tym, że mocuje się co najmniej jedno lustro na elemencie badanym, na które kieruje się strumień światła laserowego, który po odbiciu odczytuje się na ekranie.
- 20 Zgłaszający niniejsze rozwiązanie opracował technologię ujawnioną w polskim zgłoszeniu patentowym P.393402 dotyczącą sposobu monitorowania składowej pionowej przemieszczenia i składowej pionowej ugięcia elementów konstrukcji obiektów budowlanych wykorzystującą pomiary wykonywane dalmierzami laserowymi. Pomiary odległości są wykonywane w odniesieniu do elementów stałych, takich jak posadzka.
- 25 W opisie patentowym FI118701B ujawniono sposób monitorowania obciążenia konstrukcji dachu z zastosowaniem inklinometrów, tj. przyrządów mierzących kąt odchylenia prostej (określonej przez położenie osi czułości inklinometru) od płaszczyzny prostopadłej do siły grawitacji, przy czym są one umieszczane na elementach konstrukcyjnych budynków w swobodny sposób,
- 30

np. po jednej stronie konstrukcji dachu czy budynku. Ograniczeniem takiego systemu jest możliwość wystąpienia dużych błędów pomiaru w przypadku niesymetrycznego obciążenia konstrukcji dachu.

5 Znane sposoby monitorowania ugięcia elementów konstrukcji za pomocą dalmierzy laserowych mogą napotykać na trudności, kiedy temperatura otoczenia jest zbyt niska lub zbyt wysoka, kiedy podłoże jest nierówne i zabrudzone lub kiedy monitorowane obiekty cechuje wysokie zapylenie, co ma miejsce np. w przemyśle drzewnym.

10 Celem wynalazku jest opracowanie sposobu monitorowania obciążenia konstrukcji dachu budynku, którego zadaniem jest wiarygodne określanie stopnia zagrożenia bezpieczeństwa jej użytkowania wywołanego przejściowymi czynnikami zewnętrznymi, np. atmosferycznymi. Przy tym, sposób powinien być niewrażliwy na niesymetrię obciążenia konstrukcji dachu oraz trudne warunki środowiskowe, takie jak bardzo niskie temperatury ($<0^{\circ}\text{C}$), szronienie, bardzo
15 wysokie temperatury ($>50^{\circ}\text{C}$), dużą wilgotność, duże zapylenie, zanieczyszczenie podłoża (np. w nieobudowanych wiatach – śnieg, błoto), itp.

Przedmiotem wynalazku jest sposób monitorowania obciążenia zmiennego konstrukcji dachu, szczególnie obciążenia śniegiem, obejmujący pomiary ugięć wybranych elementów i/lub ustrojów konstrukcyjnych za pomocą inklinometrów,
20 charakteryzujący się tym, że dla co najmniej jednego wybranego elementu lub ustroju konstrukcyjnego, korzystnie reprezentatywnego dla poziomu wykorzystania nośności konstrukcji dachu pod obciążeniem zmiennym, w dwóch jego punktach, pierwszym i drugim, dokonuje się pomiarów kątów α_1 i α_2 obrotu jego przekrojów poprzecznych, wywołanego przez obciążenie zmienne, za
25 pomocą dwóch inklinometrów, pierwszego i drugiego, które mocuje się na rzeczonym elemencie/ustroju we wspomnianych dwóch punktach, symetrycznie względem jego poprzecznej osi symetrii, a następnie oblicza się sumę α_{madd} wartości absolutnych kątów α_2 i α_1 zgodnie ze wzorem $\alpha_{madd} = |\alpha_2| + |\alpha_1|$, odzwierciedlającą średnią wartość obciążenia zmiennego rzeczonego elementu
30 lub ustroju, i wskazującą poziom wykorzystania jego nośności.

Korzystnie pomiary inklinometrami wykonuje się okresowo i/lub synchronicznie.

Wyniki pomiarów wykonanych sposobem według wynalazku stanowią wartości bazowe do dalszych obliczeń, w których przetwarza się zarejestrowane wartości w celu określania stopnia zagrożenia bezpieczeństwa użytkowania konstrukcji. Poniżej przedstawiono przykładowe sposoby wykorzystania danych uzyskanych sposobem według wynalazku.

Wykorzystanie nośności każdego z wybranych elementów i ustrojów konstrukcyjnych może być opisane współczynnikiem wykorzystania nośności wwn tego elementu lub ustroju, który przyjmuje się jako równy względnemu obciążeniu średniemu wos tego elementu/ustroju, wyznaczanemu przez podzielenie obliczonej dla tego elementu/ustroju wartości α_{madd} przez jej wartość dopuszczalną $(\alpha_{madd})_{dop}$, przy czym $wwn = wos = 0$ oznacza brak obciążenia zmiennego, natomiast $wwn = wos = 1$ oznacza osiągnięcie dopuszczalnego obciążenia zmiennego rzeczzonego elementu/ustroju.

Monitorowanie obciążenia konstrukcji dachu określające stopień zagrożenia bezpieczeństwa jej użytkowania, wykorzystujące wyniki pomiarów wykonanych sposobem według wynalazku, można realizować tak, że jako aktualne prawdopodobieństwo przeciążenia konstrukcji ppk dachu, będące wielkością analogową, ciągłą z zakresu $(0;1)$, przyjmuje się najwyższy z wyliczonych współczynników wykorzystania nośności wwn wszystkich wybranych elementów i ustrojów konstrukcyjnych, po czym emituje się sygnał o tak określonym aktualnym prawdopodobieństwie przeciążenia konstrukcji ppk dachu.

Monitorowanie obciążenia konstrukcji dachu określające stopień zagrożenia bezpieczeństwa jej użytkowania, wykorzystujące wyniki pomiarów wykonanych sposobem według wynalazku, można również realizować tak, że jako aktualne prawdopodobieństwo przeciążenia konstrukcji ppk dachu przyjmuje się najwyższy z wyliczonych współczynników wykorzystania nośności wwn wszystkich wybranych elementów i ustrojów konstrukcyjnych, a następnie wyznaczoną w taki sposób wartość ppk porównuje się z założonymi dla niego n wartościami progowymi o następującej relacji pomiędzy wartościami: pierwsza wartość progowa < druga wartość progowa < trzecia wartość progowa < < n -ta wartość progowa, określając stopień zagrożenia bezpieczeństwa użytkowania $szbu$ konstrukcji, będący wielkością dyskretną, przyjmującą

wartości ze zbioru liczb naturalnych o zakresie równym liczbie n przyjętych wartości progowych, np. $\{0, \dots, 4\}$, jako równy numerowi najwyższej wartości progowej z tych, których wartości są mniejsze od ppk (pierwszy stopień zagrożenia bezpieczeństwa użytkowania, gdy tylko pierwsza wartość progowa jest mniejsza od ppk ; drugi, gdy pierwsza i druga wartość progowa są mniejsze od ppk ; trzeci, gdy pierwsza, druga i trzecia wartość progowa są mniejsze od ppk ; ...; n -ty, gdy pierwsza, druga, trzecia, ... i n -ta wartość progowa są mniejsze od ppk), po czym emituje się sygnał o tak określonym aktualnym stopniu zagrożenia bezpieczeństwa użytkowania *szbu* konstrukcji dachu.

10 Monitorowanie obciążenia konstrukcji dachu określające stopień zagrożenia bezpieczeństwa jej użytkowania, wykorzystujące wyniki pomiarów wykonanych sposobem według wynalazku, można ponadto realizować tak, że wyznaczony współczynnik wykorzystania nośności wwn każdego z wybranych elementów i ustrojów konstrukcyjnych porównuje się z założonymi dla tego

15 elementu lub ustroju n wartościami progowymi współczynnika wykorzystania nośności o następującej relacji pomiędzy wartościami: pierwsza wartość progowa < druga wartość progowa < trzecia wartość progowa < < n -ta wartość progowa, przy czym korzystne jest, gdy przekroczenie wartości progowej o tym samym numerze w przypadku każdego z wybranych elementów

20 i ustrojów konstrukcyjnych oznacza osiągnięcie takiego samego współczynnika wykorzystania jego nośności, określając stopień wykorzystania nośności swn danego elementu/ustroju, będący wielkością dyskretną, przyjmującą wartości ze zbioru liczb naturalnych o zakresie równym liczbie n przyjętych wartości progowych, np. $\{0, \dots, 4\}$, jako równy numerowi najwyższej wartości progowej z

25 tych, których wartości są mniejsze od wwn (pierwszy stopień wykorzystania nośności, gdy tylko pierwsza wartość progowa jest mniejsza od wwn ; drugi, gdy pierwsza i druga wartość progowa są mniejsze od wwn ; trzeci, gdy pierwsza, druga i trzecia wartość progowa są mniejsze od wwn ; ...; n -ty, gdy pierwsza, druga, trzecia, ... i n -ta wartość progowa są mniejsze od wwn), a następnie

30 najwyższy z określonych stopni wykorzystania nośności swn wszystkich wybranych elementów i ustrojów konstrukcyjnych przyjmuje się jako aktualny stopień zagrożenia bezpieczeństwa użytkowania *szbu* konstrukcji dachu, po

czym emituje się sygnał o tak określonym aktualnym stopniu zagrożenia bezpieczeństwa użytkowania *szbu* konstrukcji dachu.

Monitorowanie obciążenia konstrukcji dachu określające stopień zagrożenia bezpieczeństwa jej użytkowania, wykorzystujące wyniki pomiarów wykonanych sposobem według wynalazku, można także realizować w taki sposób, że wyznaczoną dla każdego z wybranych elementów i ustrojów konstrukcyjnych wartość α_{madd} porównuje się z założonymi dla tego elementu lub ustroju n wartościami progowymi o następującej relacji pomiędzy nimi: pierwsza wartość progowa < druga wartość progowa < trzecia wartość progowa < < n -ta wartość progowa, przy czym korzystne jest, gdy przekroczenie wartości progowej o tym samym numerze w przypadku każdego z wybranych elementów/ustrojów konstrukcyjnych oznacza osiągnięcie takiego samego współczynnika wykorzystania nośności, określając stopień wykorzystania nośności sw_n rzeczzonego elementu/ustroju jako równy numerowi najwyższej wartości progowej z tych, których wartości są mniejsze od α_{madd} (pierwszy stopień wykorzystania nośności, gdy tylko pierwsza wartość progowa jest mniejsza od α_{madd} ; drugi, gdy pierwsza i druga wartość progowa są mniejsze od α_{madd} ; trzeci, gdy pierwsza, druga i trzecia wartość progowa są mniejsze od α_{madd} , ...; n -ty, gdy pierwsza, druga, trzecia, ... i n -ta wartość progowa są mniejsze od α_{madd}), a następnie najwyższy z tak określonych stopni wykorzystania nośności sw_n wszystkich wybranych elementów i ustrojów konstrukcyjnych przyjmuje się jako aktualny stopień zagrożenia bezpieczeństwa użytkowania *szbu* konstrukcji dachu, po czym emituje się sygnał o tak określonym aktualnym stopniu zagrożenia bezpieczeństwa użytkowania *szbu* konstrukcji dachu.

W celu dokonania pomiaru zmiany stopnia wykorzystania nośności konstrukcji wywołanej obciążeniem zmiennym można mierzyć ugięcie jej elementów pod tym obciążeniem. Wraz ze zmianami ugięcia elementu konstrukcji występują obroty jego przekrojów poprzecznych. Kąt takiego obrotu przekroju poprzecznego elementu konstrukcyjnego, zmierzony w odpowiednio dobranym miejscu, jest proporcjonalny do zmiany ugięcia tego elementu. Dla określenia stopnia wykorzystania nośności konstrukcji można więc mierzyć, w odpowiednio wybranym miejscu, kąt obrotu przekroju poprzecznego tego

poprzecznej osi symetrii elementu lub ustroju konstrukcyjnego (naprzeciwlegle, po dwóch stronach osi symetrii).

Elementy konstrukcyjne wybrane dla dokonywania pomiaru powinny być reprezentatywne dla zachowania się konstrukcji budowlanej, co oznacza, że spełniają one istotną rolę w danej konstrukcji, np. są to główne elementy nośne, a nie elementy spełniające drugorzędne funkcje. Korzystne jest aby wybór takich istotnych elementów konstrukcyjnych na potrzeby wynalazku był konsultowany z projektantem rozpatrywanej konstrukcji lub inną osobą posiadającą odpowiednie kwalifikacje.

Sposób według wynalazku objaśniono przykładowo na rysunkach, przy czym na Fig. 1 przedstawiono poglądowo znany sposób mierzenia ugięcia elementów konstrukcyjnych poprzez pomiar kąta obrotu przekroju poprzecznego za pomocą inklinometru zamocowanego na tym elemencie, na Fig. 2 pokazano sposób według wynalazku, tj. schemat obciążenia ramowego ustroju konstrukcyjnego oraz schemat pomiarowy kątów obrotu, przy czym *Incl_1* oraz *Incl_2* to inklinometry mierzące odpowiednio kąty obrotu α_1 i α_2 przekrojów poprzecznych ramy w miejscach ich zamocowania, symetrycznych względem osi symetrii ramy, a na Fig. 3 pokazano obrót całej ramy i wynikające z niego składowe mierzonych kątów obrotu przekrojów poprzecznych ustroju.

Na Fig. 2 i 3 pokazano schematycznie przykładowy ustrój konstrukcyjny w formie ramy, która może być głównym układem nośnym hal o symetrycznym dachu dwuspadowym. Układ ustawionych obok siebie kilku takich ustrojów tworzy główną konstrukcję nośną budynku. Układy nośne hal mogą też mieć inne kształty, np. kratownicy opartej na słupach, łuku lub części łuku osadzonego na pionowych filarach lub opartego bezpośrednio na fundamentach. Dla osoby o odpowiednich kwalifikacjach będzie oczywiste, że możliwe jest praktyczne występowanie różnych typów konstrukcji układów nośnych, które mogą być monitorowane sposobem według wynalazku.

Inklinometry, za pomocą których dokonuje się pomiarów w sposobie według wynalazku, umieszcza się po dwa na wybranych elementach lub ustrojach, tj. na co najmniej jednym elemencie/ustroju lub na dwóch elementach/ustrojach lub większej liczbie elementów/ustrojów, albo na wszystkich elementach/ustrojach - zależnie od potrzeb wynikających ze stopnia

złożoności rozpatrywanej konstrukcji. W sposobie według wynalazku układ inklinometrów na każdym elemencie/ustroju jest symetryczny względem poprzecznej osi symetrii tego elementu/ustroju. Pomiary inklinometrami na elemencie/ustroju powinny być dokonywane jako pomiary synchroniczne, czyli
5 dokonane w tym samym czasie w obu punktach pomiarowych. Wyniki pomiarów są przetwarzane w celu uzyskania dalszych wartości pozwalających ocenić obciążenie zmienne konstrukcji dachu.

Na Fig. 2 pokazano przykładowe symetryczne zamocowanie na ustroju konstrukcyjnym dwóch inklinometrów: pierwszego *Incl_1* i drugiego *Incl_2* w
10 jednakowej odległości d od poprzecznej osi symetrii 6 tego ustroju. W górnej części rysunku pokazano strzałkami obciążenie zmienne dachu, np. śniegiem, występujące na odcinku L_1 . Strzałkami 7 i 8 zwróconymi w dół pokazano obracanie się przekrojów poprzecznych ustroju pod wpływem obciążenia zmiennego w rejonie umocowania inklinometrów *Incl_1* i *Incl_2*. Obroty we
15 wskazanych dwóch miejscach (pierwszym i drugim) mają przeciwne kierunki, czyli jak pokazano na Fig. 2 - kąt pierwszy α_1 jest mniejszy od zera (obrót zgodny z kierunkiem obrotu wskazówek zegara), a kąt drugi α_2 jest większy od zera (obrót przeciwny do kierunku obrotu wskazówek zegara). Punkty umocowania inklinometrów *Incl_1* i *Incl_2* zależą od rodzaju konstrukcji, rodzaju
20 elementu/ustroju i jego rozmiaru, co oznaczono na Fig. 2 literą L (rozstaw słupów). Korzystne jest, aby inklinometry były mocowane w punktach, w których wartości bezwzględne kątów α_1 i α_2 obrotu przekrojów poprzecznych, wywołanego przez obciążenie zmienne, są możliwie duże, przykładowo bliskie maksymalnym. Takie pożądane położenie inklinometrów może być
25 wywnioskowane z danych projektowych dla danej konstrukcji.

W Tabeli 1 zestawione są wyniki obliczeń dla przedstawionego na Fig. 2 ramowego układu konstrukcyjnego o przykładowo zdefiniowanych parametrach, dla obciążenia zmieniającego się od rozłożonego równomiernie na całej szerokości dachu ($L_1 = L$, przypadek 1 w Tabeli 1) do zlokalizowanego na jednej
30 połowie ($L_1 = L/2$, przypadek 10 w Tabeli 1).

Tabela 1: Zestawienie kątów obrotu, momentów zginających oraz błędów pomiaru obciążenia w ramie pokazanej na Fig. 2 (dla $L = 29,5\text{m}$ oraz $d = 11,25\text{m}$) dla różnych schematów obciążenia - od równomiernie rozłożonego na całej szerokości dachu do zlokalizowanego tylko na jednej (prawej) połowie.

Lp.	$a = L_1/L$	α_1 [°]	α_2 [°]	α_1/α_{10}	$\alpha_{madd} = \alpha_2 + \alpha_1 $ [°]	$\alpha_{madd}/\alpha_{madd0}$	M_{max} [kNm]	M_{max}/M_{max0}	$\delta 1^{**}$ [%]	$\delta 2^{***}$ [%]
1	1,00	-0,277 = α_{10}	0,277	1,000	0,554 = α_{madd0}	1,000	482 = M_{max0}	1,000	0,0	0,0
2	0,95	-0,273	0,279	0,985	0,552	0,996	478	0,991	0,6	0,5
3	0,87	-0,252	0,285	0,910	0,537	0,971	462	0,959	5,4	1,3
4	0,80	-0,217	0,292	0,783	0,509	0,921	436	0,911	9,8	1,1
5	0,74	-0,172	0,297	0,621	0,469	0,848	402	0,834	34,0	1,7
6	0,67	-0,124	0,295	0,447	0,419	0,758	361	0,749	67,5	1,2
7	0,63	-0,101	0,291	0,335	0,392	0,708	338	0,701	92,0	1,0
8	0,60	-0,079	0,285	0,325	0,364	0,657	315	0,657	125	0,0
9	0,57	-0,059	0,276	0,213	0,335	0,603	290	0,602	182	0,2
10	0,50	-0,026	0,253	0,094	0,279	0,505	242	0,502	434	0,6
11*	0,25+0,5	-0,151	0,264	0,545	0,415	0,749	361	0,749	37,4	0,0

* Obciążenie 100% równomiernie rozłożone na prawej połowie dachu oraz 50% obciążenia równomiernie rozłożonego na lewej połowie dachu.

** $\delta 1 = [(a_1/a_{10} - M_{max}/M_{max0})/(a_1/a_{10})]^{*100\%}$

*** $\delta 2 = [(a_{madd}/a_{madd0} - M_{max}/M_{max0})/(a_{madd}/a_{madd0})]^{*100\%}$

Wielkością referencyjną, określającą dokładnie obciążenie przedstawionej ramy, jest maksymalna wartość momentu zginającego M_{max} (kolumna h w Tabeli 1) występującego w narożach ramy.

Analiza wyników obliczeń przedstawionych w Tabeli 1 pokazuje, że wartości kątów obrotu α_1 (kolumna c w Tabeli 1) czy α_2 (kolumna d w Tabeli 1) zachowują się zupełnie inaczej dla niesymetrycznego obciążenia (przypadki 1-11 w Tabeli 1) niż moment zginający M (kolumna i w Tabeli 1). Traktowanie ich zatem rozdzielnie jako miary obciążenia mogłoby skutkować, dla nierównomiernego obciążenia, bardzo dużymi błędami (kolumna j w Tabeli 1 dla kąta α_1), zarówno zaniżając wskazywaną wartość obciążenia (kąta α_1) jak i zawyżając (kąta α_2). Taki sposób pomiaru obciążenia stosowany jest do monitorowania konstrukcji budowlanej według stanu techniki, tj. opisu FI118701B.

Zupełnie odmiennie ma się rzecz w przypadku wykorzystania sumy wartości absolutnych kątów obrotu dwóch przekrojów poprzecznych jako wskaźnika obciążenia ramy. Stosunek wartości sumy wartości absolutnych zmierzonych kątów obrotu α_1 i α_2 przekrojów poprzecznych do maksymalnej wartości momentu zginającego jest stały, z błędem wynoszącym, dla przedstawionej ramy, mniej niż 2%, dla zmian równomierności obciążenia w zakresie szerszym niż spotykany w praktyce - od obciążenia równomiernie rozłożonego na całej szerokości dachu do zlokalizowanego tylko na jednej połowie (kolumna k w Tabeli 1). Błąd ten zwiększa się nieznacznie w miarę przybliżania położenia inklinometrów do osi symetrii ramy, przykładowo wynosząc maksymalnie 9% po zmniejszeniu odległości d do 7,75m z 11,25m dla danych przedstawionych w Tabeli 1.

Zatem, w tego typu układach konstrukcyjnych, wartość sumy wartości absolutnych kątów obrotu przekrojów poprzecznych w dwóch punktach układu konstrukcyjnego, symetrycznie usytuowanych względem poprzecznej osi symetrii ustroju konstrukcyjnego, wystarczająco dokładnie dla praktyki odwzorowuje poziom obciążenia / wyężenia konstrukcji w realnym z praktycznego punktu widzenia zakresie zmian obciążeń, a więc z powodzeniem może być wykorzystywana jako miara obciążenia w systemach monitorowania obciążenia konstrukcji dachu. Podobne wartości błędów otrzymuje się również

jako wynik obliczeń dla innych typów układów poprzecznych, np. belek czy kratownic.

W praktyce może wystąpić obrót monitorowanego elementu lub ustroju konstrukcyjnego jako całości, np. wskutek niesymetrycznego osiadania konstrukcji, zakłócający pomiar inklinometrami kątów obrotu przekrojów poprzecznych pochodzących od obciążenia zmiennego. W takich przypadkach inklinometry będą mierzyły sumę kątów obrotu pochodzących od obciążenia zmiennego α , odpowiednio α_1 oraz α_2 , oraz obrotu całego ustroju lub elementu konstrukcyjnego β , odpowiednio β_1 oraz β_2 . Obliczona suma wartości absolutnych kątów zmierzonych przez inklinometry w takich przypadkach nie będzie odzwierciedlała średniej wartości obciążenia zmiennego rzeczonoego elementu lub ustroju. Stosując orientację osi czułości 4 inklinometrów, np. taką jak pokazana na Fig.2, oraz obliczając sumę wartości absolutnych jako moduł różnicy kątów obrotu zmierzonych przez inklinometry eliminuje się wpływ obrotu ustroju konstrukcyjnego jako całości (Fig. 3).



mgr Dorota Orlińska
Rzecznik Patentowy