

Pomiary odkształceń posadzki hangaru – nowa metoda interpretacji wyników

ADAM KANCIRUK

Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

Streszczenie

W lutym 2011 roku w hangarze lotniczym zainstalowano aparaturę do obserwacji deformacji jego płyty posadzkowej. W latach 2011-2016 w hangarze tym serwisowano wyłącznie samoloty jednego typu, które wprowadzono do niego w ściśle określony sposób. Począwszy od września 2017 roku hangar służy też samolotom większym, które poprzez swe podwozie wywołują nacisk i odkształcanie się płyty posadzkowej w sposób odmienny niż standardowy. Aby odkształcenia te wyodrębnić, konieczne stało się zastąpienie automatycznego sposobu ich wyznaczania sposobem półautomatycznym, który uwzględnia wszystkie istotne przypadki odkształceń płyty. Dodatkowo uwzględnia on też niemożność uzyskania wyników pomiarowych z jednego z tensometrów, uszkodzonych podczas prac modernizacyjnych hangaru w 2016 roku. Zgodnie z tym sposobem przeliczono ponownie wszystkie uzyskane od początku 2017 roku wyniki pomiarowe, przez co wykryto kilka niestandardowych przypadków hangarowania samolotów.

Słowa kluczowe: metrologia, nawierzchnie lotniskowe

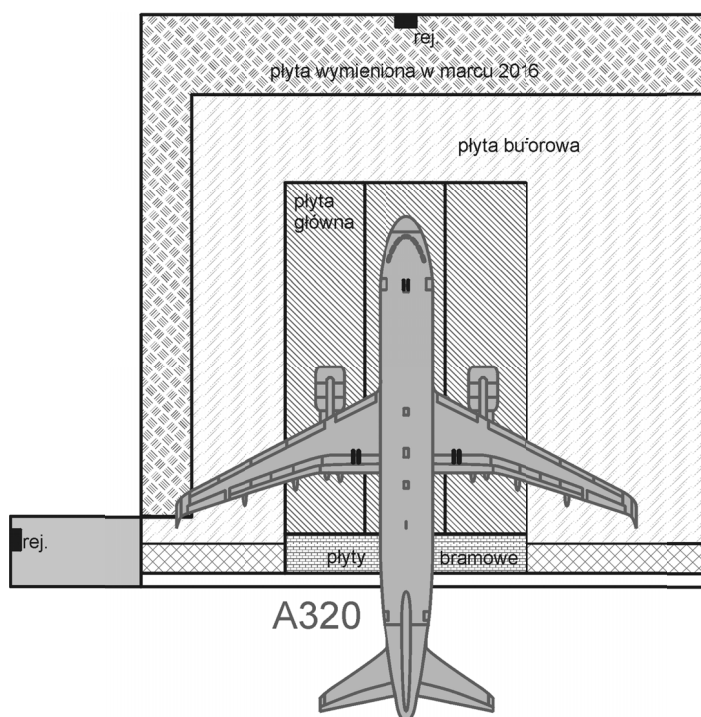
1. Wstęp

W pierwszej połowie 2011 roku przeprowadzono prace modernizacyjno-adaptacyjne hangaru znajdującego się na terenie jednego z międzynarodowych lotnisk w Polsce. Lotnisko to, niegdyś wojskowe zostało zaadoptowane do celów cywilnych. Wspomniany hangar, zbudowany pod koniec lat 40-tych XX wieku do obsługi lekkich samolotów myśliwskich o masie nieprzekraczającej 9000 kg, został dostosowany do serwisowania samolotów pasażerskich typu Airbus A320 o masie ok. 43000 kg [źródło internetowe 1], bez paliwa i ładunku. Dlatego zasadniczym elementem wspomnianych prac była przebudowa posadzki hangaru, w celu zwiększenia jej nośności.

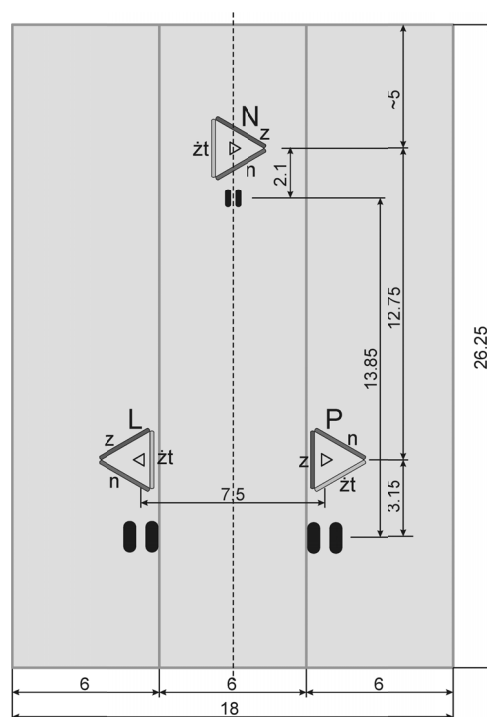
Obecnie hangar może służyć do serwisowania 2 samolotów jednocześnie. Rysunek 1 przedstawia plan wschodniej części hangaru, część zachodnia jest jej lustrzanym odbiciem. Zasadniczą częścią posadzki jest płyta główna o grubości 30 cm, wykonana ze zbrojonego betonu, przenosząca ciężar samolotu na podbudowę. W płycie tej, w trakcie jej budowy zainstalowano 3 rozety tensometryczne w miejscach z założenia szczególnie narażonych na naprężenia eksploatacyjne, a więc w miejscach nacisku kół goleni serwisowanego samolotu. Każda rozeta złożona jest z 3 tensometrów strunowych i jest umieszczona płasko w dolnej części płyty, około 5 cm ponad jej dolną powierzchnią, przylegającą do podbudowy.

Po przebudowaniu posadzki zamontowano nową bramę hangaru. Jej konstrukcja i wymiary nie pozwalają na wtaczanie samolotów na założoną wcześniej pozycję, ze względu na niebezpieczeństwo uszkodzenia statecznika pionowego samolotu, który (ze względu na zbyt niski dach) wraz z całym usterzeniem musi wystawać na zewnątrz hangaru (Rys. 1). Rysunek 2 przedstawia plan płyty głównej wraz z zainstalowanymi rozetami tensometrycznymi i naniesionymi rzutami kół samolotu. Poszczególne tensometry rozet *N* (nosowej), *L* (lewej) i *P* (prawej) oznaczone są ze względów praktycznych kolorami, zarówno w rzeczywistości jak i na wszystkich rysunkach i dla przejrzystości rysunku znacznie powiększone. Ich faktyczne rozmiary i położenie reprezentują małe wewnętrzne trójkąty. Wskutek zabudowy bramy samoloty wprowadzane są nieco płycej – koła goleni nosowej 2.1 m przed rozetą *N* (Rys. 2), a koła goleni głównych – 3.15 m przed rozetami *L* i *P*. Odległość kół goleni nosowej i goleni głównych ustalono na podstawie dokładnych rysun-

kół umieszczonych w [źródło internetowe 1], w roku 2011 tak dokładne rysunki nie były dostępne, stąd powyższa rozbieżność. Koła goleni głównych przenoszą co najmniej 80% ciężaru samolotu, zatem płyta w miejscu ich nacisku jest szczególnie narażona na odkształcenia. Ze względu na dystans 3.15 m między miejscem nacisku kół a rozetami, mierzone przez nie odkształcenia są znacznie mniejsze i są odwrotnego znaku – zamiast rozciągania występuje ściskanie. Należy też zwrócić uwagę na niezbyt fortunny podział płyty głównej na 3 płyty składowe (Rys. 2) z których każda jest o szerokości 6 m. Płyty składowe rozdzielone są szczelinami dylatacyjnymi wypełnionymi elastycznym tworzywem. Rozstaw kół goleni głównych wynoszący 7.5 m sprawia zatem, że koła te toczą się bardzo blisko (0.3 i 1.2 m) krawędzi zewnętrznych płyt składowych, dodatkowo narażając je na odkształcenia.



Rys. 1. Plan posadki wschodniej części hangaru wraz z naniesioną sylwetką samolotu typu Airbus A320

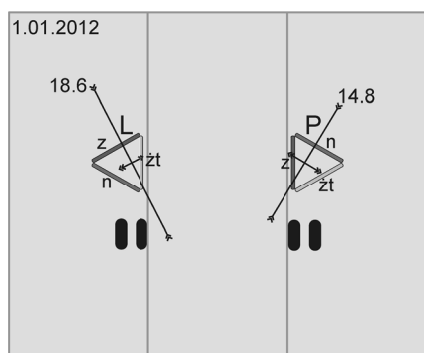


Rys. 2. Rozmieszczenie rozet tensometrycznych względem kół goleni samolotu. 'zt' – tensometry 'złote', 'z' – 'zielone', 'n' – 'niebieskie'

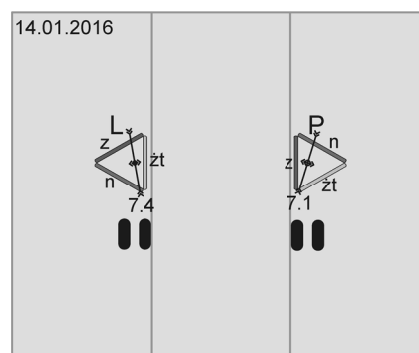
W czerwcu 2011 roku w hangarze zainstalowano 2 mierniki-rejestratory (oznaczone na rysunku 1 jako 'rej.' i od tego czasu prowadzone są w sposób automatyczny pomiary wskazań tensometrów wszystkich rozet, jak również temperatur w miejscach gdzie są one posadowione. Serwisowanie w hangarze samolotów niemal wyłącznie tego samego typu i wprowadzanie ich do niego według stałej procedury sprawiało, że odkształcenia płyty głównej dla każdego przypadku były bardzo podobne (Rys. 3-6). Procedura ta wymaga ustawienia samolotu tak, aby koła goleni nosowej znajdowały się w ściśle określonym miejscu. Nie dotyczy to kół goleni głównych, samolot może być ustawiany nieco skośnie względem osi płyty głównej.

Ze względu na wspomniane podobieństwo, do wyodrębnienia odkształceń eksploatacyjnych płyty głównej z odkształceń całkowitych, na które składają się też odkształcenia termiczne i spowodowane starzeniem się betonu, opracowano specjalny program. Wyznacza on automatycznie m in. momenty wjazdu i wyjazdu samolotu na podstawie skokowych zmian czasowych odkształceń tensometru 'złotego' rozety L i tensometru 'zielonego' rozety P (Rys. 2). Tensometry te, jako położone równoległe do osi płyty reagują najsilniej na ruch samolotów. Metodyka ta jest zilustrowana na rysunku 7. Zmiany odkształceń dla obydwu tensometrów są bardzo wyraźne i zgodne, ich detekcja na poziomie $\pm 4 \mu\text{m/m}$ (linia przerywana) określa bezbłędnie momenty wjazdu/wyjazdu samolotu.

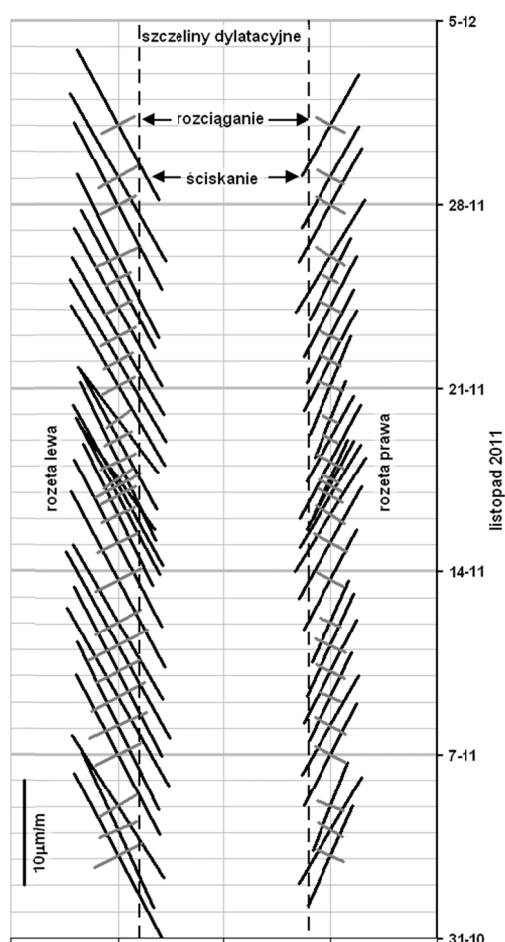
Z czasem jednak następowała powolna stabilizacja płyty posadzkowej i jej podbudowy, której skutkiem jest wyraźnie widoczny na rysunkach 4 do 6 spadek wartości odkształceń głównych płyty i niewielka zmiana ich kierunków w miejscu instalacji rozet. Również skokowe zmiany odkształceń spowodowane ruchem samolotów zmniejszyły się (Rys. 8), przez co konieczne było zmniejszenie poziomu detekcji zmian i zwi-



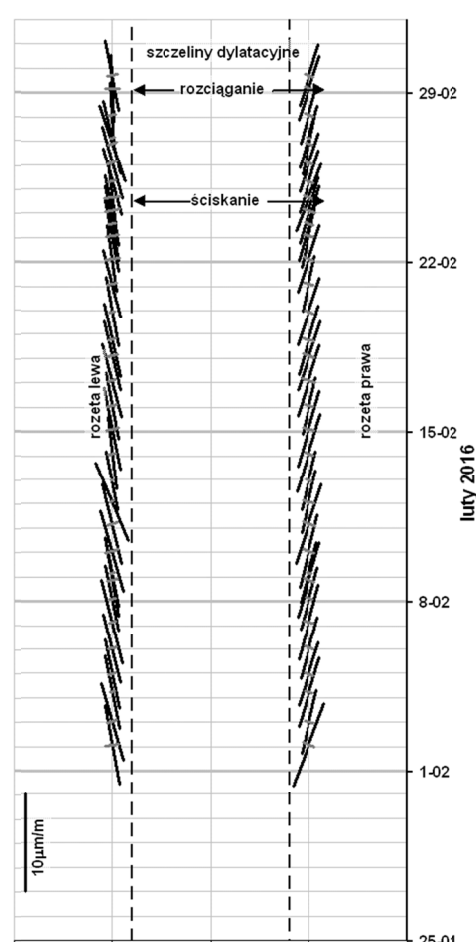
Rys. 3. Odkształcenia główne dla przypadku serwisowania samolotu 01.01.2012. 'żt' – tensometry 'żółte', 'z' – 'zielone', 'n' – 'niebieskie'. Liczby oznaczają odkształcenia ściskające w [$\mu\text{m/m}$]



Rys. 4. Odkształcenia główne dla przypadku serwisowania samolotu 14.01.2016. 'żt' – tensometry 'żółte', 'z' – 'zielone', 'n' – 'niebieskie'. Liczby oznaczają odkształcenia ściskające w [$\mu\text{m/m}$]



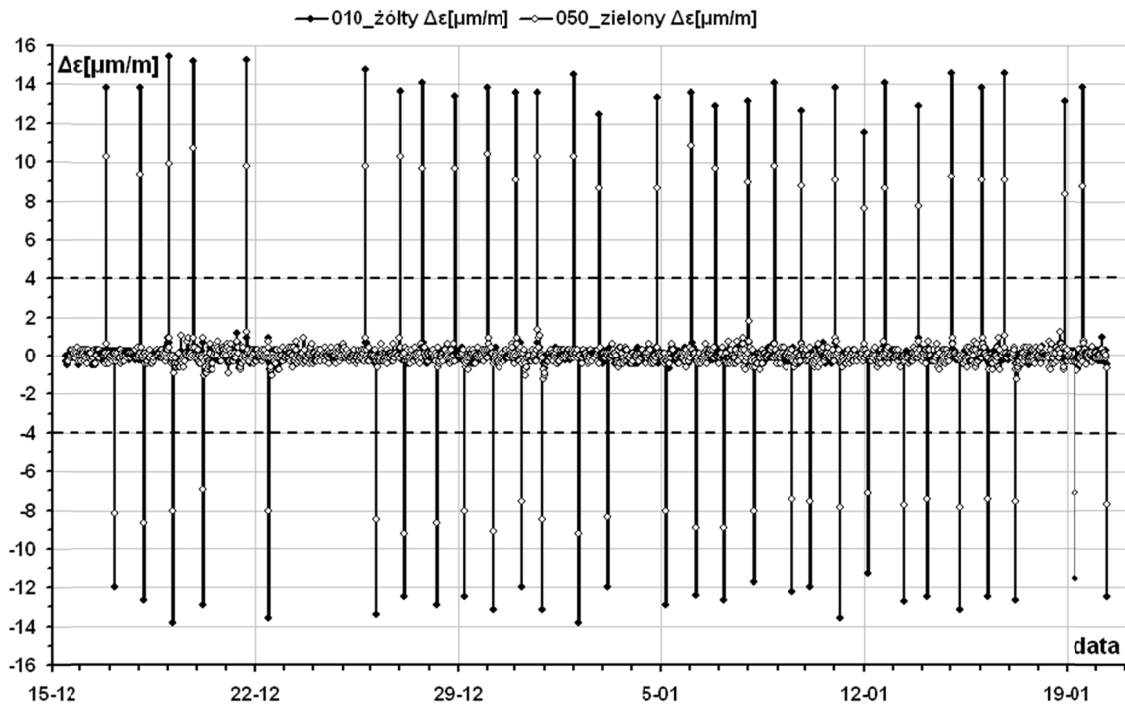
Rys. 5. Odkształcenia główne dla wszystkich przypadków serwisowania samolotu w listopadzie 2011 roku



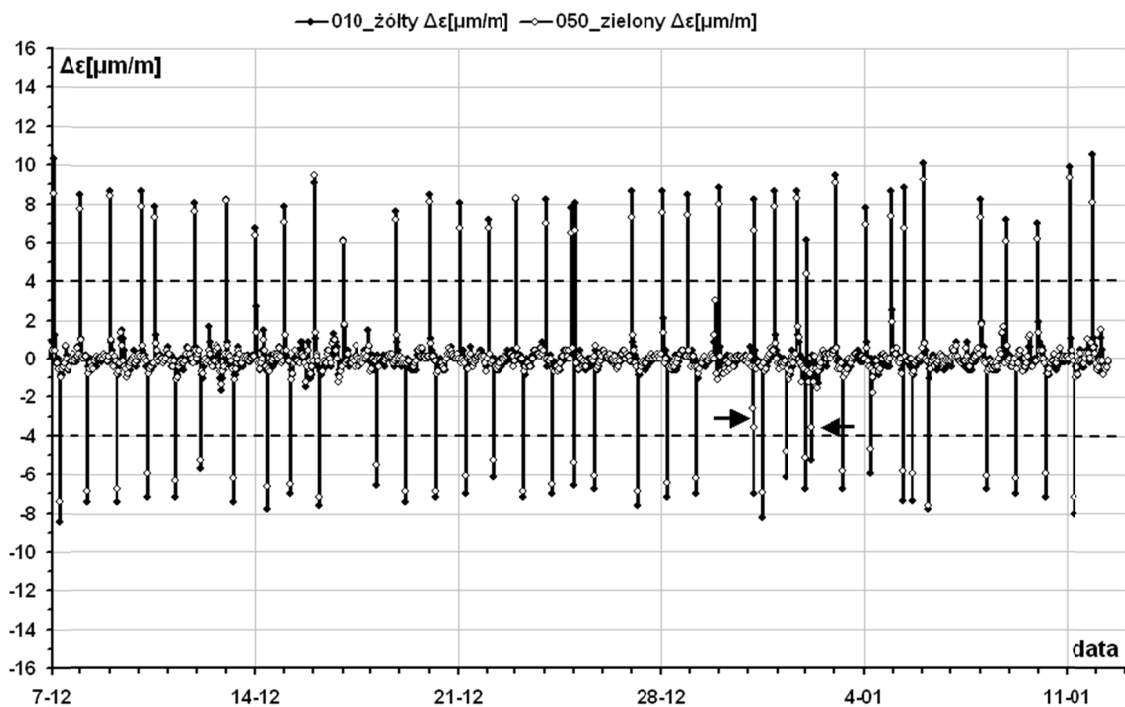
Rys. 6. Odkształcenia główne dla wszystkich przypadków serwisowania samolotu w lutym 2016 roku

zane z tym ryzyko błędnej kwalifikacji przyczyn tych zmian. Dodatkowo w czasie prac modernizacyjnych hangaru prowadzonych przy końcu marca 2016 roku został zerwany kabel łączący rozetę L z rejestratorem (Rys. 2). Niezwłoczna naprawa przywróciła połączenie tensometrów 'zielonego' i 'niebieskiego', tensometr 'żółty' został niestety do dalszych pomiarów utracony.

Utrata tensometru 'żółtego' rozety L jest szczególnie istotna dla detekcji momentów wjazdu/wyjazdu samolotów. Wyniki pomiarów uzyskanych za pomocą tego tensometru były potwierdzeniem wyników z tensometru 'zielonego' rozety prawej i *vice versa*. W związku z tym koniecznym stało się wypracowanie innej metody wyznaczania momentów wjazdu/wyjazdu samolotów w oparciu o wskazania wszystkich czynnych tensometrów.



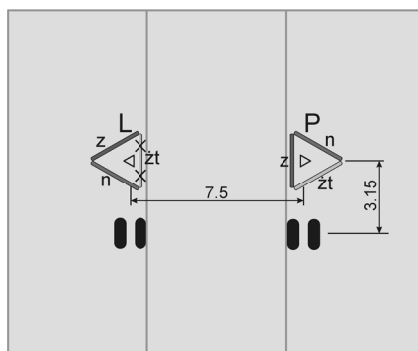
Rys. 7. Skokowe zmiany czasowe odkształceń tensometru 'żółtego' rozety L i tensometru 'zielonego' rozety R. Zwrot dodatni oznacza wjazd, ujemny – wyjazd samolotu. Okres rejestracji 15.12.11-20.01.12



Rys. 8. Skokowe zmiany czasowe odkształceń jw. Okres rejestracji 7.12.15-12.01.16. Strzałki wskazują zbyt niskie zmiany odkształceń mierzonych przez tensometr 'zielony' dla prawidłowej detekcji momentu wyjazdu samolotów

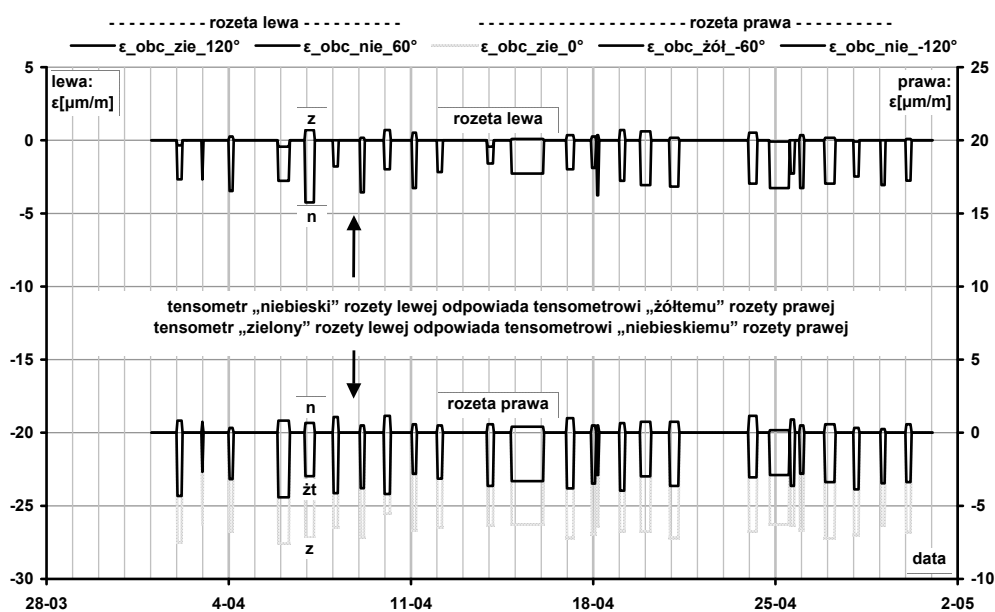
2. Ocena stanu płyty posadzkowej na podstawie wskazań niepełnego zestawu tensometrów

Jak wspomniano we wstępie, na skutek prac modernizacyjnych hangaru prowadzonych przy końcu marca 2016 roku utracono połączenie pomiędzy tensometrem 'żółtym' rozety lewej i rejestratorem (Rys. 9). Od tej pory dalsza kontrola stanu płyty posadzkowej w rejonie nacisku kół goleni lewej jest możliwa na podstawie wskazań tylko 2 tensometrów, 'zielonego' i 'niebieskiego'.



Rys. 9. Funkcjonujący obecnie poprawnie zestaw tensometrów zainstalowanych w rejonie nacisku kół goleni głównych. 'zt' – tensometry 'żółte', 'z' – 'zielone', 'n' – 'niebieskie'. Regulaminowe położenie ww. kół

Ze względu na przybliżoną symetrię sposobu obciążania płyty, odkształcenia mierzone przez odpowiadające sobie tensometry rozety lewej i prawej są też zbliżone. Wykorzystując ten fakt, zaproponowano następujący sposób interpretacji graficznej odkształceń mierzonych przez tensometry (Rys. 10).



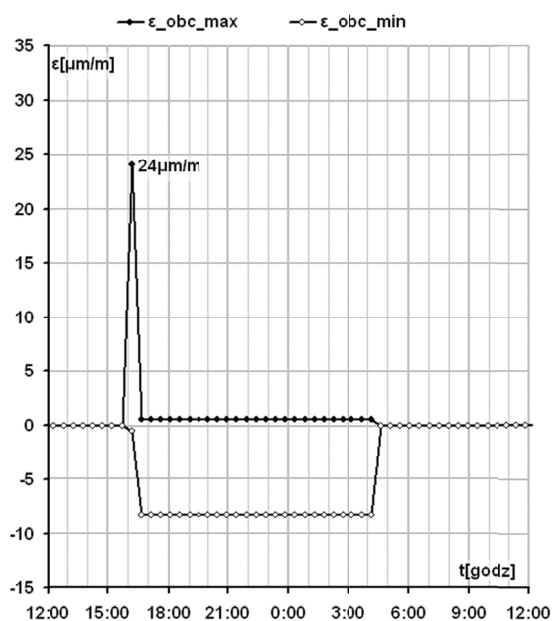
Rys. 10. Porównanie odkształceń mierzonych przez odpowiadające sobie tensometry rozety lewej i prawej. Kwiecień 2016

Rysunek ten umożliwia wizualne porównanie odkształceń mierzonych przez odpowiadające sobie tensometry rozety lewej i prawej. Jak widać, odkształcenia mierzone przez 2 funkcjonujące tensometry rozety lewej są porównywalne z odkształceniami mierzonymi przez odpowiadające im tensometry rozety prawej, a często ich wartości są nieco mniejsze. Zatem płyta posadzkowa w rejonie nacisku goleni lewej zachowuje się podobnie jak w rejonie nacisku goleni prawej, gdzie kontrola odkształceń jest pełna.

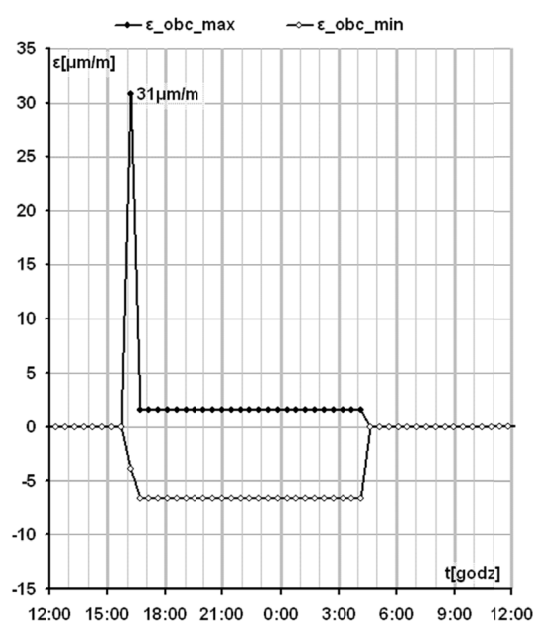
3. Pierwsze nietypowe przypadki zarejestrowanych odkształceń płyty posadzki

Regulaminowe wtaczanie samolotów do hangaru tak, że koła ich goleni głównych nie osiągną miejsca gdzie są zainstalowane rozety (Rys. 2) nie jest oczywiście korzystne dla oceny odkształceń płyty w miejscach szczególnie narażonych na naprężenia eksploatacyjne. Jednakże zdarzały się przypadki nieregulaminowego wprowadzania samolotu do hangaru, których skutkiem było zwiększenie obciążenia płyty w miejscu zainstalowanych rozet.

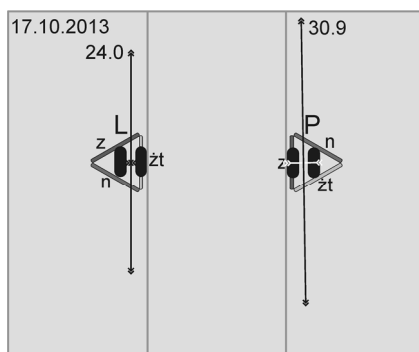
Pierwszy taki przypadek miał miejsce 17 października 2013 roku. Z pomiarów zarejestrowanych przez rozety L i P wynika, że samolot na krótko został wtoczony do hangaru głębiej niż normalnie, po czym został wycofany do regulaminowego położenia. Zmierzone odkształcenia główne były typu rozciągającego, a ich wartości co do modułu kilkakrotnie większe (z lewej 2.85 razy, z prawej 4.61) niż następujące po nich, co



Rys. 11. Przypadek nieregularnego wjazdu samolotu do hangaru. Wartości odkształceń głównych, rozeta lewa



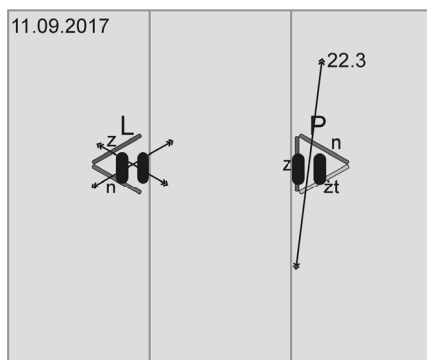
Rys. 12. Przypadek nieregularnego wjazdu samolotu do hangaru. Wartości odkształceń głównych, rozeta prawa



Rys. 13. Odkształcenia główne płyty posadzkowej oraz przypuszczalne położenie kół goleni głównych samolotu dla przypadku wjazdu samolotu do hangaru w dniu 17.10.2013. 'zt' – tensometry 'żółte', 'z' – 'zielone', 'n' – 'niebieskie'. Liczby oznaczają odkształcenia rozciągające w $[\mu\text{m}/\text{m}]$

obrazują rysunki 11 i 12. Kierunki tych odkształceń były niemal równoległe do osi płyty (i samolotu) jak pokazuje rysunek 13.

Opisany przypadek był tylko incydem, z pewnością niezamierzonym. Natomiast 11 września 2017 roku pomiary wykazały podobne odkształcenia utrzymujące się przez 29 godzin (Rys. 14). Świadczy to o tym, że nieregularna pozycja samolotu była celowa. Zdarzenie to zbiegło się w czasie z przyjęciem przez najemcę hangaru do swej floty pierwszych samolotów typu Airbus A321, które są przedłużoną wersją samolotu typu A 320 [źródło internetowe 1]. W samolocie tego typu odległość pomiędzy jego usterzeniem a kołami goleni głównych jest większa o niemal dokładnie 3 m niż w A320. Zatem po wtoczeniu samolotu do hangaru jego koła mają dużą szansę znaleźć się dokładnie w miejscu instalacji rozet bez ryzyka kolizji usterzenia z bramą czyli tak, jak w czasie instalacji rozet tensometrycznych zakładano (Rys. 2). W związku z tym pomiary przeprowadzane w takich przypadkach są szczególnie istotne dla wyznaczenia odkształceń płyty, a co za tym idzie oceny jej stanu, gdyż dotyczą miejsc poddanych maksymalnym naprężeniom eksploatacyjnym.

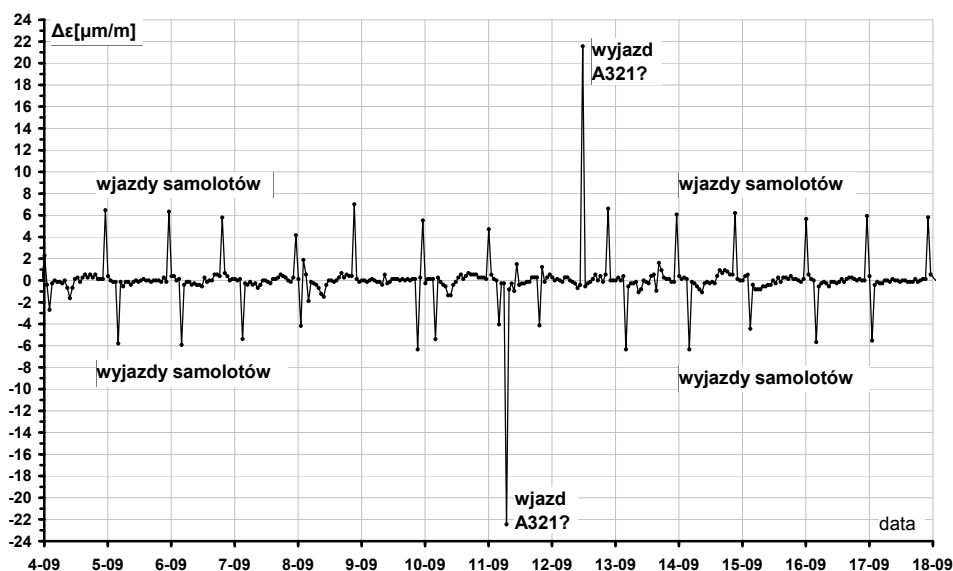


Rys. 14. Odkształcenia główne płyty posadzkowej w rejonie zainstalowanej rozety prawej i odkształcenia zmierzone przez tensometry 'zielony' i 'niebieski' rozety lewej. Przymuszczone położenie kół głównych samolotu. Liczba oznacza odkształcenie rozciągające w [$\mu\text{m}/\text{m}$]

4. Nowa metoda wyznaczania odkształceń eksploatacyjnych płyty posadzkowej hangaru

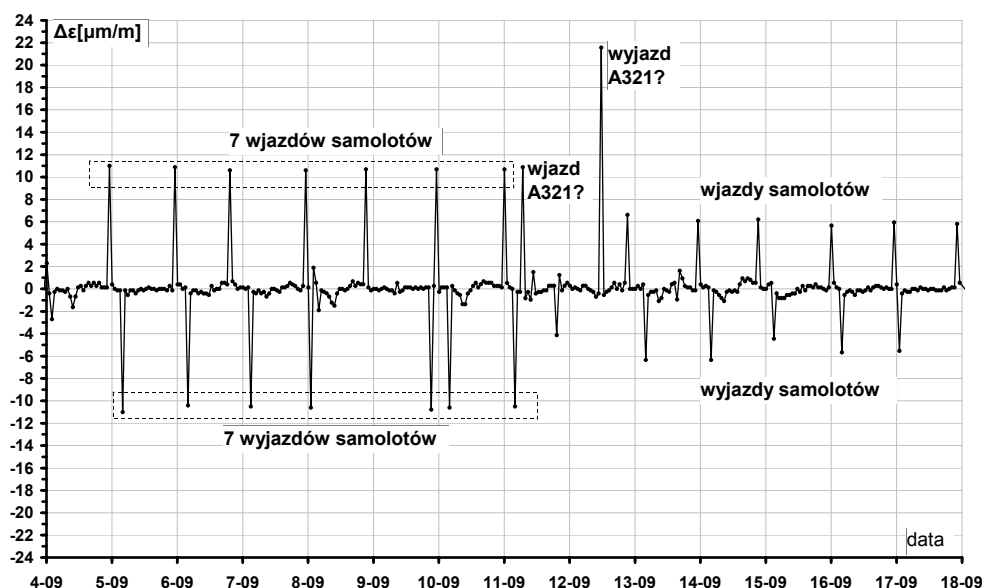
Konieczność uwzględnienia skokowych zmian odkształceń mierzonych przez wszystkie czynne tensometry rozet L i P (Rys. 9) jest podyktowana utratą jednego z tensometrów, nieregularnością obciążania płyty posadzkowej przez serwisowanie samolotów innego typu niż A320, jak też i relatywnym zmniejszeniem się tych odkształceń w związku z czasowym ustabilizowaniem się płyty i jej podbudowy. Opracowanie niezawodnego algorytmu do tego celu jest z pewnością bardzo pracochłonne, dlatego zdecydowano się na wykorzystanie dotychczas używanych programów, napisanych specjalnie do tego celu w języku 'Pascal for Windows'. Programy te zmodyfikowano w niewielkim stopniu, tak aby uwzględniały dodatkową tabelę momentów wjazdu/wyjazdu samolotów z hangaru. Tabela ta sporządzana jest w sposób manualny, z wykorzystaniem aplikacji Microsoft Excel.

Podstawą do wyznaczenia tabeli momentów wjazdu/wyjazdu samolotów jest wykres zmian odkształceń zmierzonych przez tensometr 'zielony' rozety prawej (Rys. 15).



Rys. 15. Wykres zmian odkształceń zmierzonych przez tensometr 'zielony' rozety prawej. Wrzesień 2017

Na wykresie tym widać, że wjazd samolotu manifestuje się 'impulsem' dodatnim, a wyjazd ujemnym, z wyjątkiem przypadku jaki miał miejsce 11 i 12 września 2017, – 'impulsy' mają większą wartość szczytową i są spolaryzowane przeciwnie. Jest to przypadek domniemanego serwisowania samolotu typu Airbus A321 (Rys. 14). Aby program przeliczający ogół odkształceń płyty wyznaczył z nich odkształcenia eksploatacyjne, należy te 'impulsy' ujednotlić, uwzględniając pojawiające się



Rys. 16. Częściowo ujednoczone ‘impulsy’ wykresu zmian odkształceń zmierzonych przez tensometr ‘zielony’ rozety prawej

w tych samych chwilach ‘impulsy’ na wykresach dotyczących pozostałych tensometrów. Do tego celu wygodnie jest użyć wspomnianej aplikacji, za pomocą której możliwe jest ‘przecignięcie’ na wykresie jak na rysunku 15 wartości szczytowych ‘impulsów’ do wartości jakie mogą być wystarczające do jednoznacznego określenia przez program komputerowy momentu wjazdu/wyjazdu samolotu. Procedura ta jest wyjaśniona na rysunku 16.

Wartości szczytowe pierwszych 7 ‘impulsów dodatnich’ zostały zwiększone do wartości ponad $10 \mu\text{m/m}$, podobnie pierwsze 7 ‘impulsów ujemnych’ mają teraz wartości szczytowe mniejsze niż $-10 \mu\text{m/m}$. I jedne i drugie jednoznacznie wskazują na momenty wjazdu/wyjazdu samolotów. Ujemny ‘impuls’ świadczący o domniemanym wjeździe samolotu typu A321 został też ‘przecignięty’ ale tym razem ze zmianą polaryzacji. To samo oczywiście należy uczynić z impulsem ‘wyjazd A321?’. ‘Przeciąganie’ to zachowuje współrzędne czasowe ‘impulsów’, czas wjazdu/wyjazdu samolotu nie jest zatem naruszany. Należy zauważyć, że niektóre ‘impulsy’ jak na rysunku 15 nie są uznawane jako świadczące o wjeździe/wyjeździe samolotu. Zwykle nie mają one jednoznacznego potwierdzenia na wykresach dotyczących innych tensometrów. Mogą one świadczyć tylko o zmianie nacisku na goleń wskutek prac serwisowych, np. ‘impulsy’ pomiędzy wjazdem i wyjazdem A321 (Rys. 15), albo ruchem samochodowym i przemieszczaniem ładunków w hangarze.

Na podstawie towarzyszącego wykresowi jak na rysunku 16 zmodyfikowanego arkusza kalkulacyjnego sporządzany jest plik tekstowy ‘wzor.txt’ dla wspomnianego zmodyfikowanego programu do wyznaczania odkształceń eksploatacyjnych płyty posadzkowej hangaru.

5. Inne nietypowe przypadki zarejestrowanych odkształceń płyty posadzki

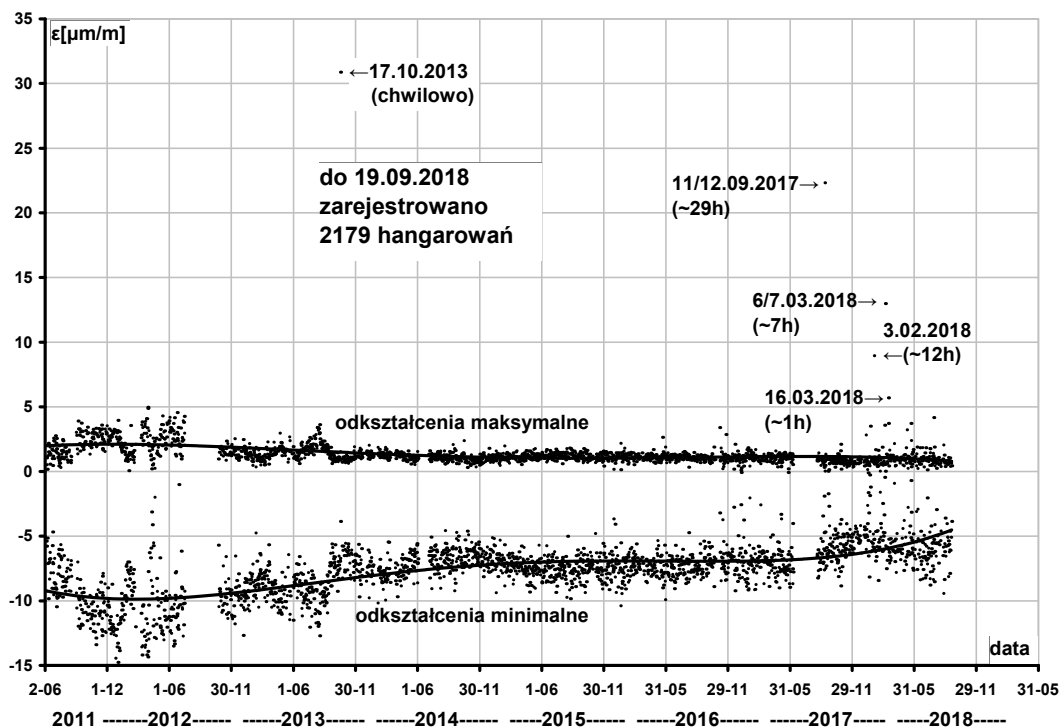
Dzięki zmodyfikowanej metodzie wyznaczania odkształceń eksploatacyjnych płyty posadzkowej hangaru wykryto kilka dalszych przypadków nietypowych odkształceń płyty posadzki wywołanych nie-standardowym jej obciążeniem. Poniżej przedstawione zostaną tylko niektóre z nich.

Rysunek 17 przedstawia wykres wartości odkształceń głównych dla każdego przypadku wprowadzania samolotu do hangaru od początku funkcjonowania systemu pomiarowego. Dotyczy on rozety prawej, podobny wykres sporządzono też dla rozety lewej, ale z powodu wspomnianego uszkodzenia kończy się on 22 marca 2016 roku. Na wykresie zaznaczono oprócz przypadków przedstawionych w rozdziale 3, przypadki nietypowych odkształceń, o wartościach maksymalnych powyżej $5 \mu\text{m/m}$. Przypadki te miały miejsce w roku bieżącym, podczas hangarowania samolotów 3 lutego, 5 marca, 6/7 marca i 16 marca.

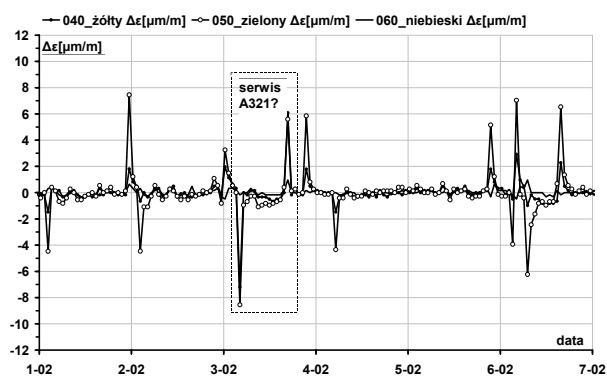
We wszystkich tych przypadkach zaobserwowano odwrócenie polaryzacji ‘impulsów’ (jak na Rys. 15) świadczących o wjeździe bądź wyjeździe samolotów do/z hangaru. W związku z tym, wyliczone na podstawie wyników pomiarów uzyskanych za pomocą tensometrów rozety prawej odkształcenia główne miały

charakter rozciągający. Świadczy to o obciążeniu płyty niemal dokładnie w miejscu posadowienia rozety. Według symulacji numerycznej w [Kanciruk 2012, str. 183] obciążanie to musiało być przykładane bliżej niż 0.5 m od środków symetrii zainstalowanych rozet. Jak wspomniano w rozdziale 3 ten sposób obciążania jest możliwy tylko przy serwisowaniu w hangarze samolotów typu Airbus A321.

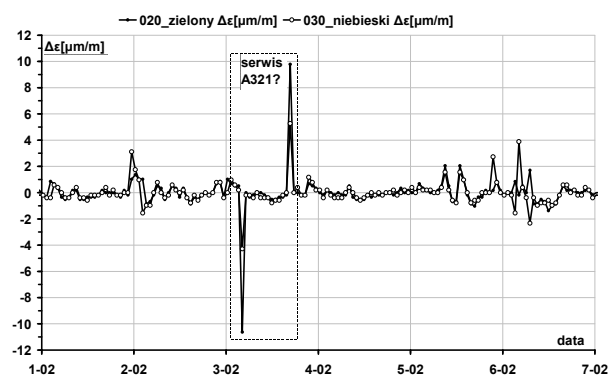
3 lutego 2018 roku czynne tensometry rozety lewej zarejestrowały większe zmiany odkształceń niż tensometry kompletnej rozety prawej (Rys. 18 i 19), dlatego na podstawie ich wskazań określono moment wjazdu/wyjazdu samolotu.



Rys. 17. Rozeta prawa. Wartości odkształceń głównych dla każdego przypadku hangarowania samolotu od początku funkcjonowania systemu pomiarowego



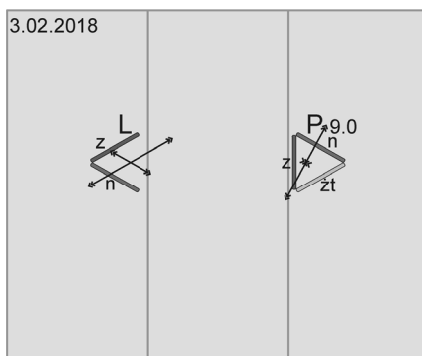
Rys. 18. Rozeta prawa. Zmiany odkształceń zmierzone przez poszczególne tensometry. Luty 2018



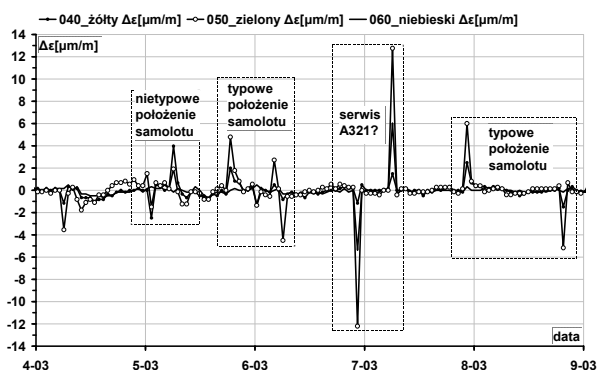
Rys. 19. Rozeta lewa. Zmiany odkształceń zmierzone przez poszczególne tensometry. Luty 2018

Rysunek 20 obrazuje odkształcenia i ich kierunki dla tego przypadku. Odkształcenia główne w miejscu posadowienia rozety prawej są typu rozciągającego. Również tensometry rozety lewej zmierzyły odkształcenia rozciągające o ponadprzeciętnych wartościach.

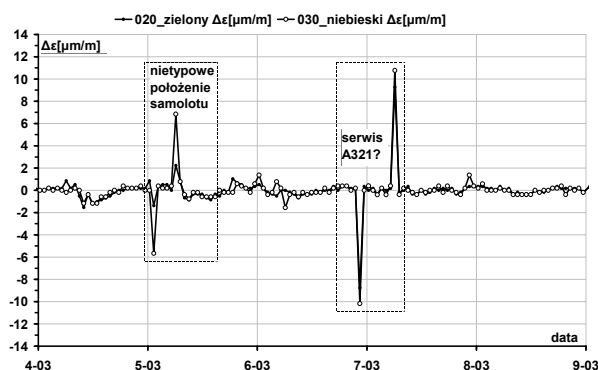
5 marca i w nocy z 6 na 7 marca miały miejsce podobne przypadki sugerujące że w hangarze znajdowały się samoloty typu A321. Kierunki odkształceń głównych zmierzone przez rozetę prawą w drugim z tych przypadków dowodzą, że samolot został wprowadzony tak, że jego koła goleni głównych przekroczyły miejsce instalacji rozet (Rys. 24, do porównania Rys. 4).



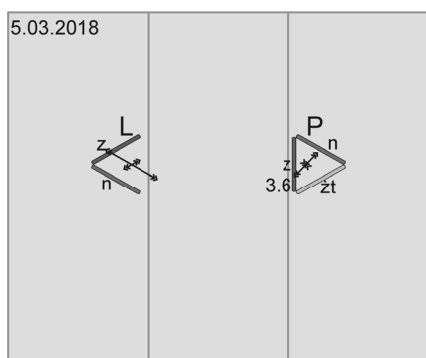
Rys. 20. Wartości i kierunki odkształceń głównych (rozeta prawa) i odkształceń zmierzonych przez poszczególne tensometry (rozeta lewa). Liczba oznacza odkształcenie rozciągające w [$\mu\text{m}/\text{m}$]



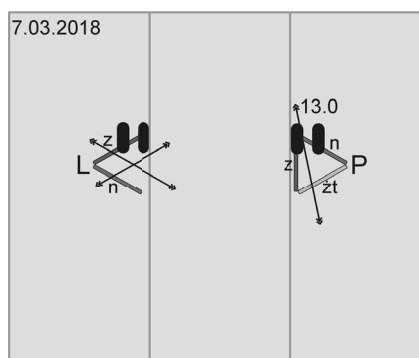
Rys. 21. Rozeta prawa. Zmiany odkształceń zmierzone przez poszczególne tensometry. Marzec 2018



Rys. 22. Rozeta lewa. Zmiany odkształceń zmierzone przez poszczególne tensometry. Marzec 2018



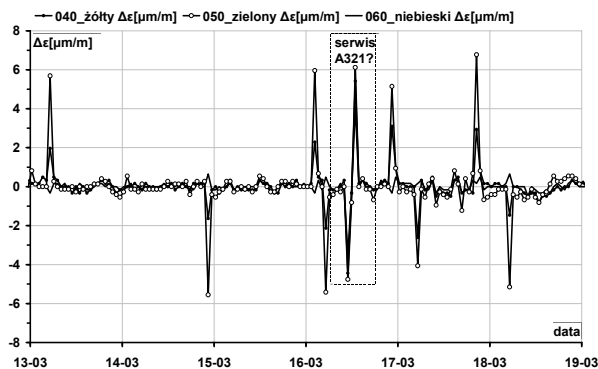
Rys. 23. Wartości i kierunki odkształceń głównych (rozeta prawa) i odkształceń zmierzonych przez poszczególne tensometry (rozeta lewa). Liczba oznacza odkształcenie rozciągające w [$\mu\text{m}/\text{m}$]



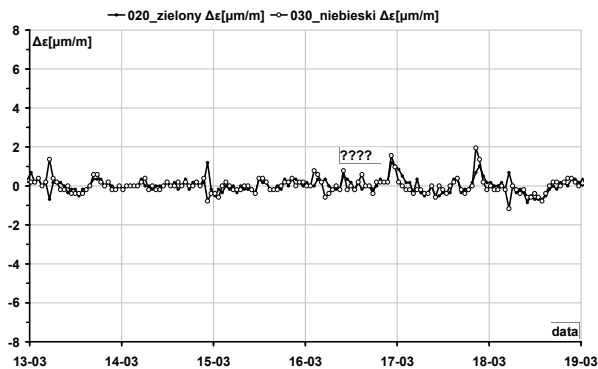
Rys. 24. Wartości i kierunki odkształceń głównych (rozeta prawa) i odkształceń zmierzonych przez poszczególne tensometry (rozeta lewa). Liczba oznacza odkształcenie rozciągające w [$\mu\text{m}/\text{m}$]. Prawdopodobne położenie kół goleni głównych samolotu

Z kolei 16 marca, około południa również zarejestrowano odwrócenie polaryzacji 'impulsów' zmian odkształceń zmierzonych przez tensometry rozety prawej (Rys. 25) podobnie jak to miało miejsce 5 i 6/7 marca. jednakże w tym przypadku brak jest znaczącej reakcji tensometrów rozety lewej (Rys. 26). Rysunek 27 przedstawia odkształcenia główne wyznaczone na podstawie wskazań rozety prawej. Możliwe jest, że w tym przypadku ustawienie samolotu było na tyle skośne, że koła goleni lewej znajdowały się na środkowej płycie składowej, jak sugeruje rysunek 27, przez co ich nacisk nie oddziaływał na tensometry rozety lewej.

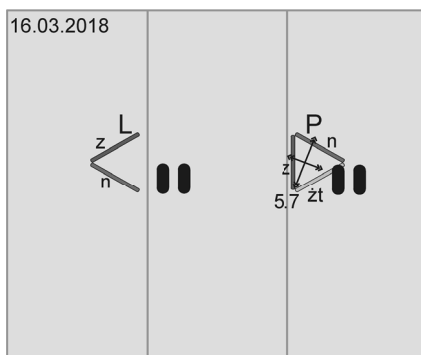
Powyżej przytoczono tylko przypadki nietypowego obciążania płyty posadzkowej, związane z niemal pewnym serwisowaniem w hangarze samolotów typu Airbus A321. Inny interesujący przypadek miał miejsce 2 kwietnia 2018 roku. W dniu tym do hangaru wprowadzony został z pewnością samolot, którego nacisk zarejestrowały wszystkie czynne tensometry obydwóch rozet, z wyjątkiem tensometru 'zielonego' rozety



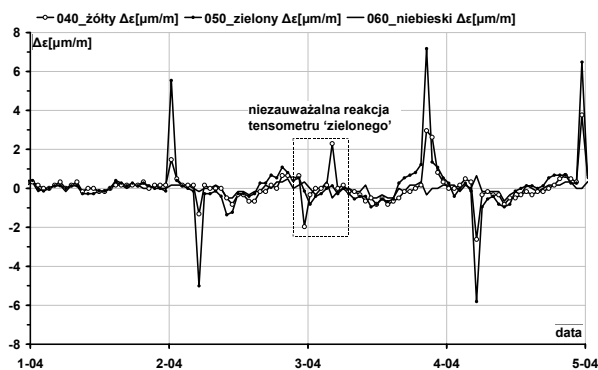
Rys. 25. Rozeta prawa. Zmiany odkształceń zmierzone przez poszczególne tensometry. Marzec 2018



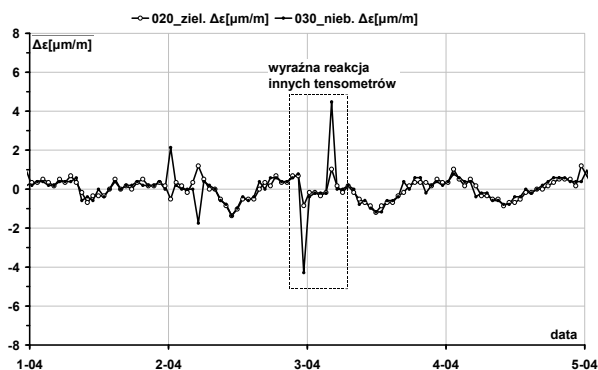
Rys. 26. Rozeta lewa. Zmiany odkształceń zmierzone przez poszczególne tensometry. Marzec 2018



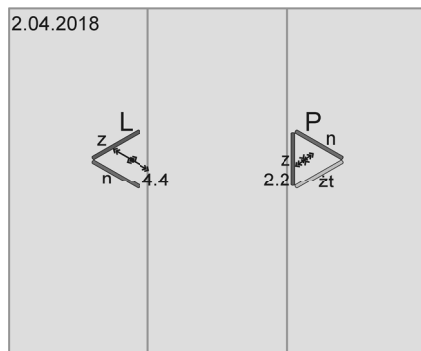
Rys. 27. Wartości i kierunki odkształceń głównych (rozeta prawa) i odkształceń zmierzonych przez poszczególne tensometry (rozeta lewa). Liczba oznacza odkształcenie rozciągające w [μm/m]



Rys. 28. Rozeta prawa. Zmiany odkształceń zmierzone przez poszczególne tensometry. Kwiecień 2018



Rys. 29. Rozeta lewa. Zmiany odkształceń zmierzone przez poszczególne tensometry. Kwiecień 2018



Rys. 30. Wartości i kierunki odkształceń głównych (rozeta prawa) i odkształceń zmierzonych przez poszczególne tensometry (rozeta lewa). Liczby oznaczają odkształcenie rozciągające w [μm/m]

prawej, a więc paradoksalnie tego, który we wszystkich przypadkach regulaminowego wtaczania samolotów do hangaru reagował na obciążenie płyty w sposób najbardziej jednoznaczny (łącznie ze swym nieczynnym teraz odpowiednikiem z rozety lewej). Dowodzi to, że metodyka wyznaczania momentów wjazdu/wyjazdu samolotu w oparciu o wskazania wszystkich czynnych tensometrów jest słuszna.

6. Wnioski

Może wydawać się, że zmiana metody detekcji momentów wjazdu/wyjazdu samolotów do/z hangaru z automatycznej na manualną jest krokiem wstecz w rozwoju metodyki badania odkształceń eksploatacyjnych płyty posadzkowej hangaru. Została ona podyktowana trzema czynnikami:

- ustabilizowaniem się płyty posadzkowej i jej podbudowy co skutkuje zmniejszeniem się wartości mierzonych odkształceń eksploatacyjnych,
- utratą łączności z tensometrem ‘żółtym’ rozety prawej, co oznacza też utratę możliwości wzajemnego potwierdzania wykrycia skokowych zmian odkształceń płyty przez wspomniany tensometr i tensometr ‘zielony’ rozety prawej,
- wprowadzeniem do floty przewoźnika samolotów typu Airbus A321, które będąc przedłużoną wersją samolotów typu Airbus A320 są wprowadzane do hangaru w sposób odmienny, co skutkuje odmiennym sposobem obciążenia płyty.

Opracowanie wyników pomiarów według nowej metody jest wprawdzie bardziej pracochłonne niż z zastosowaniem metody automatycznej, ale pozwala na wykrycie przypadków serwisowania samolotów z ich pozycjonowaniem wewnątrz hangaru w ten sposób, że koła ich goleni głównych znajdują się niemal dokładnie nad zainstalowanymi rozetami pomiarowymi. Pomiaru uzyskane w tych przypadkach są szczególnie cenne, gdyż odzwierciedlają odkształcenia płyty w miejscach jej faktycznego maksymalnego obciążenia.

Literatura

źródło internetowe 1: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/A32XFAMILYv1.0.png>

Kanciruk A., 2012: *Metody tensometryczne w badaniach przemieszczeń, deformacji i zjawisk dynamicznych w gruncie i obiektach budowlanych*. Archiwum Górnictwa, monografia nr 15. Wydawnictwo Instytutu Mechaniki Górotworu PAN Kraków.

Measurements of strain of the hangar floor slab – a new method for interpreting results

Abstract

In February 2011, the measuring system for observing the strains of its floor slab was installed in the aircraft hangar. In 2011-2016, only airplanes of one type were serviced in the hangar, which were introduced in a strictly defined way. Starting from September 2017, the hangar also serves larger planes, which through their chassis create pressure and strain of the floor slab in a different way than standard. In order to distinguish these strains, it was necessary to replace the automatic method of their determination with the semi-automatic one, which takes into account all significant cases of strains of the slab. Additionally, it also includes the inability to obtain measurement results from one of the strain gauges damaged during the hangar's modernization works in 2016. According to this method, all measurement results obtained since the beginning of 2017 were recalculated, which resulted in the detection of several non-standard cases of aircraft hangaring.

Keywords: metrology, vibrating-wire strain gauges, airport surface