

# Nowe rozwiązania konstrukcyjne tensometrów strunowych

ADAM KANCIRUK

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

## Streszczenie

Nawierzchnie lotniskowe wykonywane są niemal wyłącznie w z płyt betonowych spoczywających na podbudowie. Płyty te odseparowane są od siebie szczelinami dylatacyjnymi, zazwyczaj wypełnionymi materiałem elastycznym. Wieloletnie obserwacje deformacji płyt posadzki hangaru wykazały, że odkształcają się one wskutek naprężeń termicznych i obciążeń eksploatacyjnych głównie w strefach sąsiadujących z ich krawędziami. Powoduje to zmianę szerokości szczelin dylatacyjnych, oraz pojawianie się istotnych różnic poziomu powierzchni płyt. W literaturze wzmiankowane są też inne przyczyny powstawania tych różnic. Różnice te z czasem czynią nawierzchnię coraz bardziej nierówną. Dlatego uzasadnionym jest pomiar przemieszczeń płyt w strefie szczelin dylatacyjnych w celu monitorowania stanu nawierzchni i badania wpływu różnych czynników na jej degradację. Do pomiarów takich właściwym wydaje się użycie tensometrów strunowych, o dobrej długookresowej stabilności parametrów metrologicznych. W artykule zostanie opisane pewne rozwiązanie konstrukcyjne tensometru strunowego o budowie umożliwiającej umieszczenie go w szczelinie, przedstawiona będzie też jego charakterystyka oraz przewidywany sposób pomiaru.

**Słowa kluczowe:** betonowe nawierzchnie lotniskowe i drogowe, przetworniki strunowe, błąd relaksacji

## Wstęp

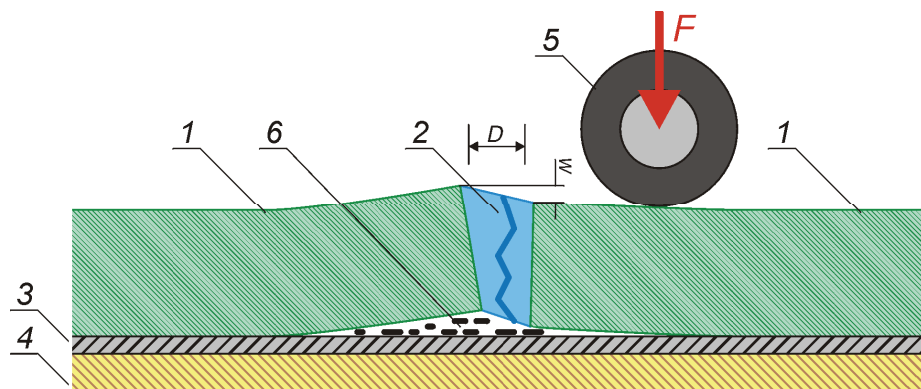
Nawierzchnie betonowe ze względu na swoją sztywność wykorzystywane są w budowie lotnisk, dróg i hal przemysłowych, a więc w konstrukcjach odpornych na istotne odkształcenia trwałe [1]. Konstrukcjami silnie obciążonymi działaniem czynników środowiskowych, w tym zmiennych w okresach dobowych i rocznych temperatur, oraz opadów są nawierzchnie lotniskowe. Dodatkowo, narażone są one na obciążenia eksploatacyjne, a więc wolno- i szybkozmiennie obciążenia pochodzące od przetaczanych, lądujących i startujących samolotów o masach przekraczających obecnie nawet 500 Mg – Airbus A380, Antonow 225 Mrija [2, str. 18 i 23], oraz nagrzewanie strumieniem gazów wylotowych silników odrzutowych.

Duże powierzchnie nawierzchni betonowych, takie jak drogi startowe i kołowania, płyty postojowe, czy nawet posadzki hangarów nie mogą być wykonywane jako jednolita konstrukcja, lecz muszą być poprzecinane systemem szczelin. Zazwyczaj w nawierzchni wykonuje się szczeliny dylatacyjne dwóch rodzajów: rozszerzania i skurczowe [3, str. 241].

Szczeliny rozszerzania umożliwiają płytom nawierzchni ekspansję pod wpływem wzrostu temperatury otoczenia. Wykonywane są one na całkowitą grubość układanej nawierzchni. W polskich warunkach klimatycznych zaleca się, aby wykonywane one były co 25 mb nawierzchni i miały szerokość do 16 mm, choć powszechnie stosowane są szersze [3, str. 242]. Szczeliny skurczowe, zainicjowane nacięciami w świeżo ułożonym betonie dzielą w sposób kontrolowany nawierzchnię na płyty o wymiarach zwykle 5×5 m, w ograniczonym zakresie zabezpieczają też ekspansję termiczną płyt.

Zarówno szczeliny rozszerzania i skurczowe wypełniane są elastycznymi masami, najczęściej bitumicznymi. Zmiany temperatury otoczenia i obciążenia eksploatacyjne prowadzą do uszkodzeń tych wypełnień, które tracą swą szczelność. Doprowadza to do migracji wód opadowych i cząstek luźnych do warstwy podbudowy, przez co krawędzie płyt są wyginane wskutek akumulacji pod nimi cząstek, lub wymywania materiału podbudowy. Dalsza eksploatacja nawierzchni, wskutek powstawania coraz większych naprężeń

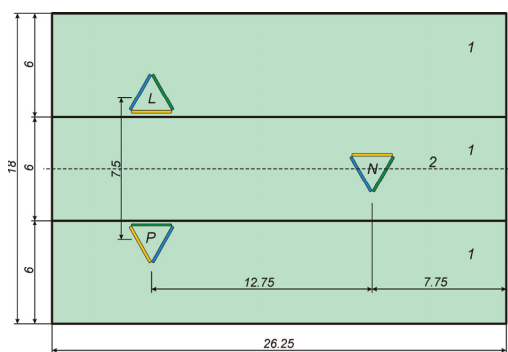
w płytach w strefach sąsiadujących ze szczelinami prowadzi do powstawania w nich pęknięć, wykruszeń i tzw. klawiszowania (rys. 1), czyli przemieszczeń względnych krawędzi sąsiadujących płyt [1, 3, str. 159]. Wskutek wspomnianego klawiszowania, na powierzchni powstają trwałe progi. Klawiszowanie płyt występuje również wskutek przejazdu samolotów, jest ono co prawda chwilowe, jednak w przypadku zdegradowanej powierzchni uciążliwe, a nawet szkodliwe dla konstrukcji samolotów i niebezpieczne dla ruchu lotniczego.



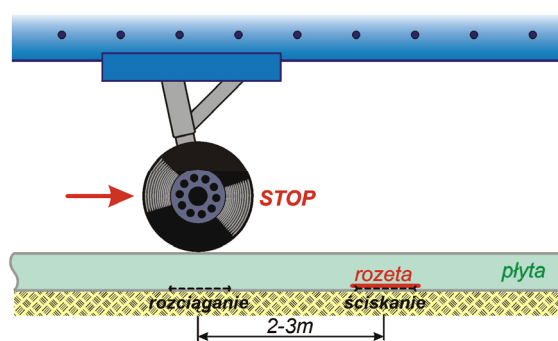
Rys. 1. Ilustracja zjawiska klawiszowania płyt. 1 – betonowe płyty nawierzchniowe, 2 – wypełnienie szczeliny dylatacyjnej, 3 – warstwa poślizgowa, 4 – podbudowa, 5 – koło jezdne, 6 – cząstki luźne,  $D$  – konstrukcyjna szerokość szczeliny,  $w$  – możliwe pionowe przemieszczenie względne płyt (wg [3, str. 159])

## 1. Dotychczasowe obserwacje deformacji płyt w sąsiedztwie szczelin dylatacyjnych

W lutym roku 2011 w nowo budowanej posadzce hangaru lotniczego znajdującego się na terenie Międzynarodowego Portu Lotniczego „Katowice” w Pyrzowicach zainstalowano 3 tensometryczne rozety pomiarowe w celu monitorowania deformacji posadzki pod wpływem starzenia się betonu, naprężeń termicznych i obciążeń eksploatacyjnych. Rozety ułożono w dolnej warstwie posadzki (ok. 4 cm od warstwy poślizgowej), w miejscach, w których według założeń miały opierać się koła podwozi hangarowanych samolotów. Posadzka została wykonana w formie 3 płyt, pomiędzy którymi wykonano szczeliny rozszerzania o szerokości ok. 25 mm, które wypełniono masą o konsystencji gumy. Każda z płyt została też pocięta szczelinami skurczowymi. Szerokości tych płyt i rozstaw kół goleni głównych (podskrzydłowych) hangarowanych samolotów sprawiły, że 2 rozety zostały zainstalowane w odległości zaledwie 0.75 m od szczelin rozszerzania (rys. 2). Ponadto po ukończeniu inwestycji zmieniono regulaminowe pozycjonowanie samolotu w hangarze, koła goleni głównych zatrzymują się obecnie 2÷3 m przed miejscami posadowienia rozet (rys. 3). Dlatego w miejscu zainstalowania rozety występują mniejsze odkształcenia płyt posadzki niż w miejscu oporu kół, ponadto mają one odwrotny znak (rys. 3).

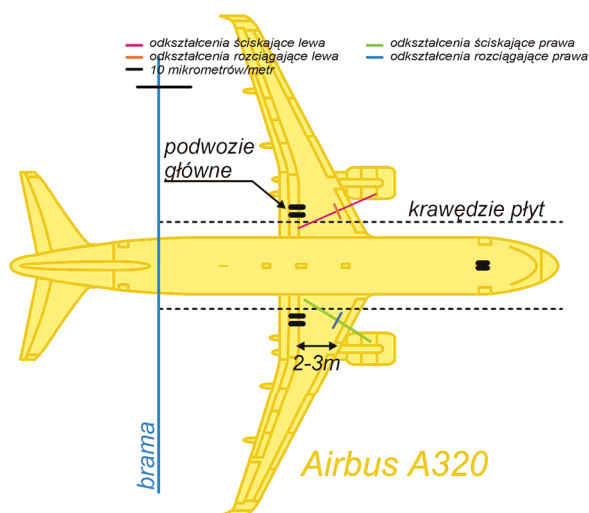


Rys. 2. Miejsca instalacji rozet w posadzce hangaru: L i P – rozety w rejonie oporu kół goleni głównych, N – goleni nosowej

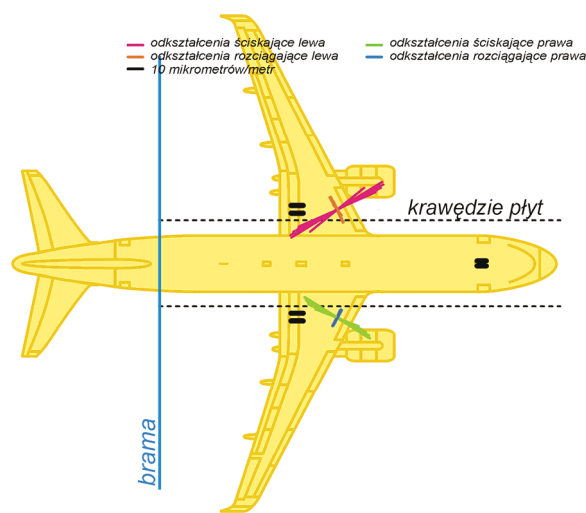


Rys. 3. Położenie rozety względem kół goleni hangarowanego samolotu

Dla zobrazowania zarówno wartości, jak i kierunków odkształceń głównych posadzki w miejscu posadowienia rozet: lewej i prawej (położonych w sąsiedztwie kół goleni głównych samolotu) opracowano następujący sposób ich interpretacji graficznej (rys. 4-6). Na rysunku 4 przedstawiona jest sylwetka samolotu, zaznaczone są też krawędzie płyt składowych posadzki i brama. Przed kołami podwozia głównego lewego (w kierunku nosa samolotu), naniesiono skrzyżowane pod kątem prostym 2 odcinki. W miejscu gdzie one krzyżują się jest posadowiona rozeta. Odcinek dłuższy, jest zgodny z kierunkiem odkształceń minimalnych – ściskających, jego długość odpowiada wartości tych odkształceń. Odcinek krótszy obrazuje odkształcenia maksymalne – rozciągające. Podobnie, skrzyżowane odcinki narysowane przed kołami goleni prawej przedstawiają odkształcenia główne zmierzone przez rozetę zainstalowaną w miejscu ich przecinania się. Jak można łatwo zauważyć, kierunki odkształceń ściskających nie są równoległe do krawędzi płyt, lecz są skierowane do środka posadzki. Jest to spowodowane faktem, że szerokości poszczególnych płyt wynoszą 6 m każda, a rozstaw goleni głównych samolotu Airbus A320 – ok. 7.5 m. W związku z tym, następuje wyginanie płyt skrajnych posadzki w kierunku jej osi. Na rysunku 6 przedstawiono wszystkie zarejestrowane przypadki hangarowania samolotu w grudniu 2011 r.



**Rys. 4.** Sposób interpretacji graficznej wyników pomiarowych: wartości i odkształcenia główne w miejscu posadowienia rozet dla jednego zarejestrowanego przypadku hangarowania samolotu

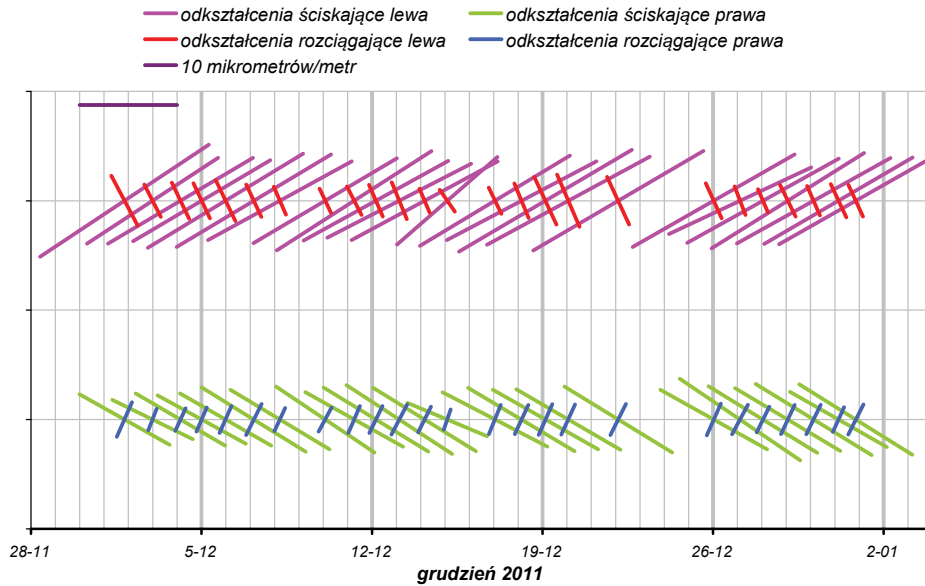


**Rys. 5.** Sposób interpretacji graficznej wyników pomiarowych: wartości i odkształcenia główne dla wszystkich zarejestrowanych przypadków hangarowania samolotu w grudniu 2011 r.

Po dodaniu do rysunku 5 osi czasu i usunięciu: sylwetki samolotu, linii oznaczających krawędzie płyt i bramę otrzymuje się przejrzysty, czasowy wykres obrazujący wartości i kierunki odkształceń głównych wyliczone na podstawie wskazań tensometrów obydwu rozet (rys. 6). Wykres ten uwzględnia wszystkie zarejestrowane w miesiącu grudniu 2011 roku przypadki hangarowania samolotu. Punkty krzyżowania się par odcinków odpowiadają czasowo środkom okresów stacjonowania samolotu w hangarze. Podobne wykresy, dla każdego miesiąca z osobna sporządzane są od czerwca 2011 roku do chwili obecnej.

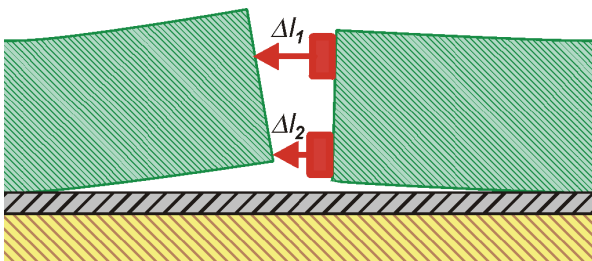
## 2. Proponowana metoda obserwacji klawiszowania płyt nawierzchni lotniskowej

Jak wspomniano we wstępie, zjawisko klawiszowania płyt ma podłoże konstrukcyjne, środowiskowe i eksploatacyjne. Dla rozstrzygnięcia, które czynniki są dla niego decydujące potrzebne jest prowadzenie rejestracji występowania tych czynników, z równoczesnym pomiarem przemieszczeń krawędzi sąsiadujących płyt. Wymaga to zainstalowania wewnątrz szczeliny dylatacyjnej odpowiednich przetworników przemieszczeń połączonych z zewnętrznym miernikiem-rejestratorem.

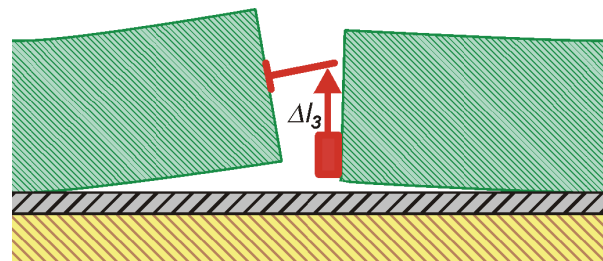


Rys. 6. Odształcenia główne płyt składowych posadzki w miejscach posadowienia rozet, dla każdego przypadku hangarowania samolotu w miesiącu grudniu 2011 r.

Rysunki 7 i 8 przedstawiają ideę opomiarowania szczeliny rozszerzania. Na rysunku 7 w szczelinie zamontowane są 2 przetworniki przemieszczenia: do pomiaru rozwartości szczeliny w pobliżu górnych ( $\Delta l_1$ ) i dolnych powierzchni płyt ( $\Delta l_2$ ). Pozwala to dodatkowo na określenie wzniosu albo opadania krawędzi płyt, względem ich neutralnego położenia. Na rysunku 8 natomiast zamontowany przetwornik mierzy względne przemieszczanie się ( $\Delta l_3$ ) krawędzi sąsiednich płyt. Wszystkie 3 przetworniki mogą być oczywiście zamontowane blisko siebie.



Rys. 7. Dwa przetworniki przemieszczenia do pomiaru rozwartości szczeliny



Rys. 8. Przetwornik do pomiaru względnego przemieszczenia sąsiednich płyt

Ze względu na szerokość szczeliny – nawet 25 mm możliwe wydaje się zamontowanie w niej strunowych przetworników przemieszczeń. Zaletą tego typu przetworników jest dobra długookresowa stabilność parametrów metrologicznych, wysoka – szczególnie w warunkach polowych – niezawodność, prosta konstrukcja i niski koszt wytwarzania.

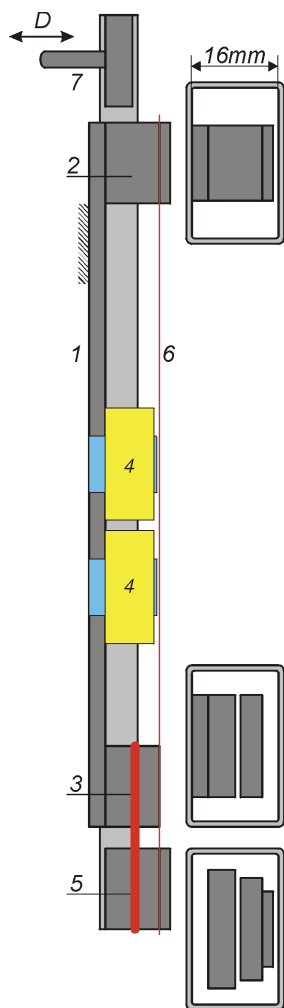
### 3. Konstrukcja przetwornika przemieszczenia do pomiaru rozwartości szczeliny

Mimo, że przetworniki strunowe przemieszczenia konstruowane są przez różnych producentów aparatury pomiarowej od ponad 90 lat, brakuje rozwiązania które możliwe byłoby do zastosowania zgodnie z ideą przedstawioną na rysunkach 7 i 8. Dlatego zaprojektowano i skonstruowano specjalny przetwornik przemieszczenia, którego gabaryty umożliwiają montaż w szczelinie.

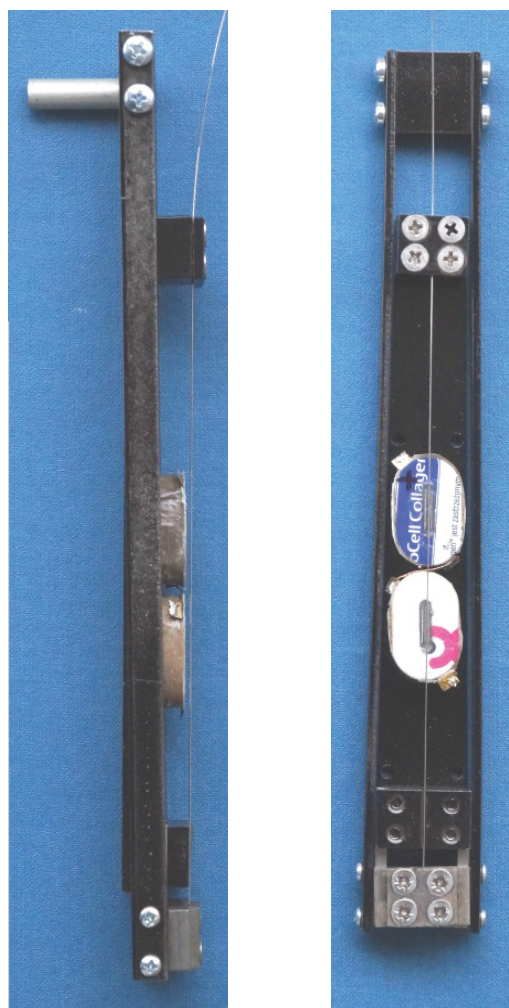
Rysunek 9 przedstawia schemat układu mechanicznego „tensometru strunowego do szczelin”, który dalej będzie wyróżniany jako „TSS10”. Jest to odmiana przyrządu o konstrukcji dźwigniowej, takiej jak np. opisanej w [4].

Tensometr TSS10 składa się z korpusu 1, do którego przymocowane są: górny zacisk struny 2, górna część przegubu 3 i 2 elektromagnesy 4. Dolna część przegubu 5 połączona jest z końcówką pomiarową tensometru 7 dwoma płaskownikami, stanowiącymi dłuższe ramię dźwigni tensometru. Krótsze ramię to jeden z elementów dolnej części przegubu 5. Ta część jest też dolnym zaciskiem struny 6. Ruch  $D$  końcówki 7 powoduje zginanie przegubu 3-5, zmianę napięcia struny 6 i w konsekwencji zmianę częstotliwości jej drgań własnych. Przegub 3-5, zawierający element sprężysty – 2 płaskie sprężyny jest z założenia beztarciowy i bezhisterezy.

Wszystkie elementy tensometru zostały wykonane tak, aby jego konstrukcja po złożeniu zmieściła się z pewnym luzem w obudowie – zamkniętym profilu o przekroju prostokątnym. Jego wewnętrzny wymiar, w kierunku działania przemieszczenia  $D$  wynosi tylko 16 mm. Zatem jeśli ścianki tego profilu będą miały grubość 1 mm, to gotowy tensometr TSS10 o grubości 18 mm z powodzeniem zmieści się w 25-milimetrowej szczelinie, pozwalając na jej zaciskanie się o 6 mm. Rysunek 10 przedstawia zmontowany układ mechaniczny tensometru. Zgodnie z założeniami, ma on zakres  $0 \div 10$  mm. Obecnie tensometr nie jest jeszcze zamknięty w obudowie. Przewiduje się zastosowanie obudowy metalowej, z włutowaną również metalową membraną uszczelniającą końcówkę 7 (rys. 9). Przedstawiony na rys. 9 zarys obudowy wzorowany jest na dostępnym na rynku aluminiowym profilu, lecz profil ten, ze względu na jego praktyczną nielutowalność i związaną z tym trudność uszczelnienia końcówki 7 tensometru, nie będzie stosowany.



Rys. 9. Układ mechaniczny tensometru TSS10.  
Opis w tekście

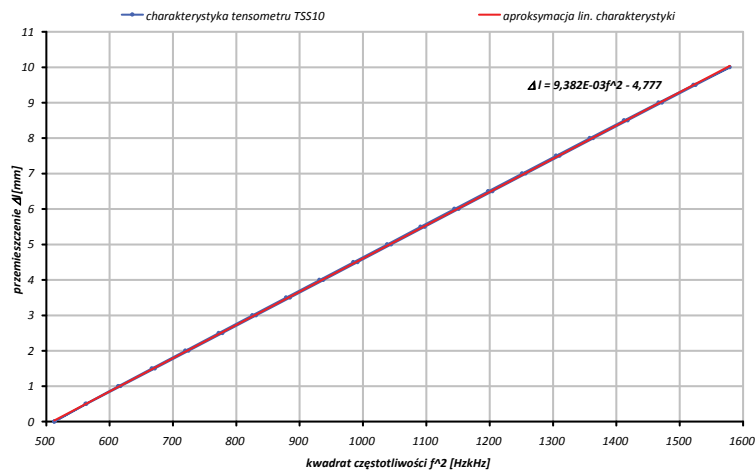


Rys. 10. Zmontowany układ mechaniczny tensometru TSS10



#### 4. Badanie parametrów metrologicznych tensometru TSS10

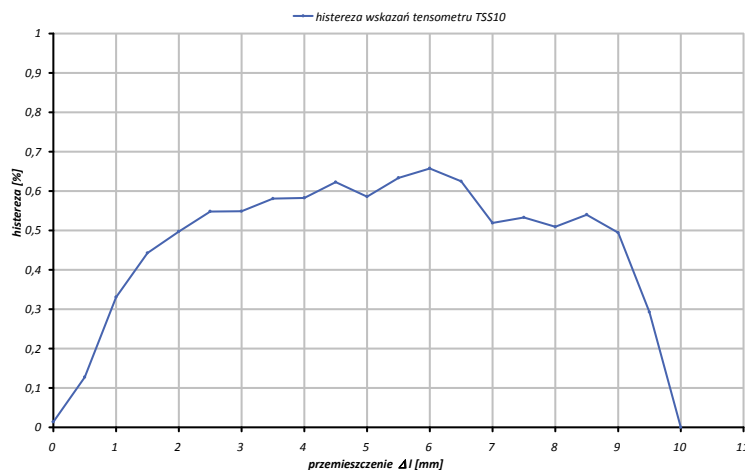
Wyznaczanie charakterystyk tensometru zostało zrealizowane za pomocą śruby mikrometrycznej – zadajnika przemieszczenia i cyfrowego miernika strunowego KA-6D [5, str. 79]. Śruba wraz z tensometrem została zaciśnięta w sposób pewny i stabilny w imadle maszynowym. Charakterystyki przemieszczenie – kwadrat częstotliwości drgań struny zdjęto czterokrotnie, za każdym razem najpierw zwiększając stopniowo przemieszczenie od 0 do 10 mm, następnie zmniejszając je z powrotem do zera. Rysunek 11 przedstawia uśrednioną charakterystykę. Nachylenia poszczególnych charakterystyk nie różnią się od nachylenia tej uśrednionej więcej niż o 0.17%. Widoczna jest dobra liniowość tensometru, oraz niewielka histereza jego wskazań.



Rys. 11. Uśredniona charakterystyka tensometru TSS10

Podjmując próbę znalezienia najistotniejszej przyczyny występowania histerezy (rys. 12), w kolejnych testach przemieszczenie zadawano w sposób nieco różniący się szybkością jego zmian: od 1 mm/30 s, do 1 mm/15 min.

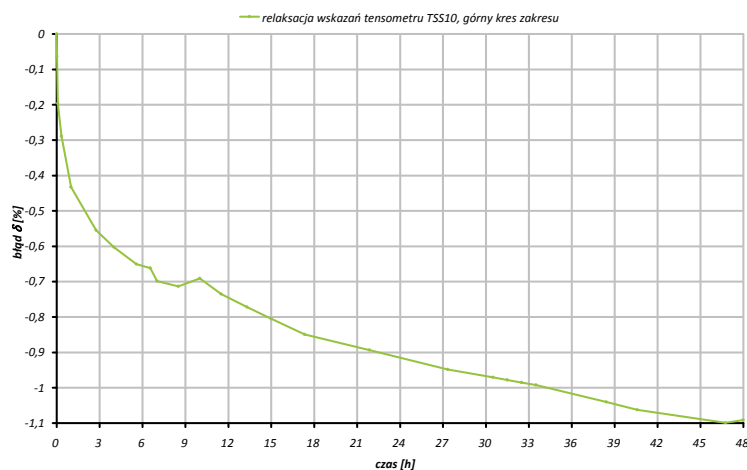
Jak widać na rysunku 12, przy tempie zmian zadawanego przemieszczenia wynoszącym 1 mm/60 s histereza w pobliżu środkowej części zakresu tensometru przekracza 0.6%, ale po zmniejszeniu przemieszczenia do wartości wyjściowej, czyli zerowej, niemal całkowicie zanika. Wraz ze zmniejszaniem szybkości zmian zadawanego przemieszczenia, histereza w pobliżu środkowej części zakresu rosła tylko nieznacznie, natomiast dla przemieszczenia 0 mm zwiększała się zdecydowanie, osiągając 0.24% dla szybkości 1 mm/15 min. Stąd wniosek, że zjawisko histerezy tensometru może pochodzić głównie od relaksacji materiału struny 6



Rys. 12. Histereza tensometru TSS10 przy szybkości zmian zadawanego przemieszczenia 0.5 mm/30 s.

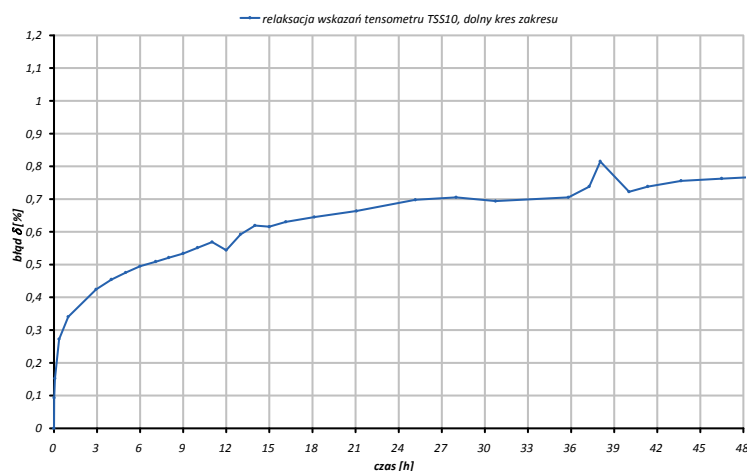
(rys. 9), lub materiału elementu sprężystego przegubu 3 i 5. Pewien wpływ może też mieć niedostatecznie pewne utwierdzenie końcówek struny w zaciskach 2 i 5.

Relaksacja wskazań przyrządu pomiarowego jest przyczyną powstawania narastających z czasem błędów wyników pomiarowych. Badanie przyczyn jej występowania w przypadku tensometru TSS10 przeprowadzono w takim samym układzie pomiarowym, jak do wyznaczania jego charakterystyk. Po ok. jednodobowym okresie, w którym zadane przemieszczenie wynosiło stale 0 mm, przemieszczenie zwiększono skokowo do 10 mm, po czym natychmiast rozpoczęto cykliczne (początkowo częstsze, później rzadsze) pomiary odpowiedzi tensometru. Teoretycznie, w TSS10 przemieszczenie 0 mm odpowiada naprężeniu struny 230 MPa, a przemieszczenie 10 mm – 710 MPa. Eksperyment trwał dwie doby. Wynik pomiarów przedstawia rysunek 13.



Rys. 13. Wpływ relaksacji materiału struny na błąd wskazań tensometru, po zmianie zadanej wartości przemieszczenia z wartości 0 do wartości 10 mm

Jak widać, wpływ relaksacji elementów sprężystych tensometru, lub niedostatecznie pewne utwierdzenie końcówek struny w zaciskach na błąd wskazań tensometru, po wymuszeniu pełnozakresowej zmiany zadawanego przemieszczenia jest znaczny – po 2 dobach osiąga 1.1%. Niewielkie nieregularności łamanej mogą pochodzić od zmian temperatury otoczenia, test nie był prowadzony w warunkach termostatycznych. W celu określenia, który z tych dwóch czynników jest decydujący, przeprowadzono odwrotny do powyższego test, polegający na początkowej gwałtownej zmianie zadanej wartości przemieszczenia z 10 do 0 mm. Wynik tego testu przedstawia rysunek 14. Łatwo zauważyć, że wykresy na rysunkach 13 i 14 są w przybliżeniu



Rys. 14. Wpływ relaksacji materiału struny na błąd wskazań tensometru, po zmianie zadanej wartości przemieszczenia z wartości 10 do wartości 0 mm

symetryczne względem osi czasu, więc decydującym czynnikiem występowania długookresowego błędu wskazań tensometru jest zjawisko relaksacji materiału struny pomiarowej i elementu sprężystego przegubu. Materiały te są zatem najbliższe swoim charakterem do teoretycznego materiału Zenera [6].

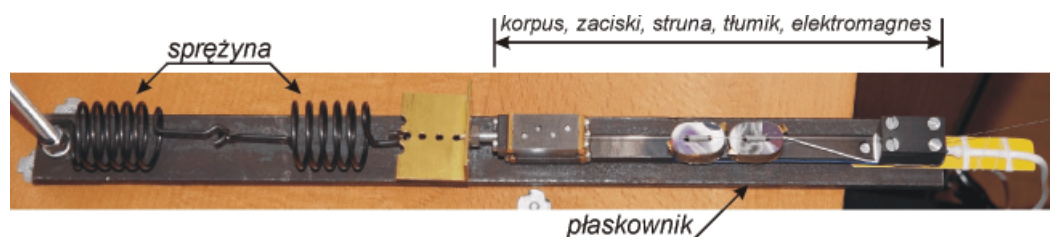
## 5. Porównanie długookresowych błędów wskazań tensometru TSS10 i innych przetworników strunowych

W pracy [5], w rozdziale 7.4 (str. 127), przedstawione są wyniki badań relaksacji wskazań różnych przetworników strunowych. Przykładowo, na rysunku 7.27 zaprezentowane są siedmiodobowe eksperymenty zrealizowane z użyciem tensometrów produkowanych przez jedną z firm o zasięgu światowym, oraz termometrów konstrukcji autora. Błąd jednego z tensometrów „firmowych”, przy wymuszeniu przemieszczenia wynoszącego ok. 66% pełnego zakresu, po 2 dobach osiągnął wartość ok. 0.12%. Natomiast błąd jednego z termometrów, w tym samym okresie osiągnął wartość ok. 0.27%. W termometrze tym założono wstępne naprężenie struny do 940 MPa.

Zatem pod względem relaksacji wskazań, tensometr TSS10 wypada gorzej nawet od wspomnianego termometru, w którym zastosowano strunę tego samego typu jak w TSS10, do tego naprężoną mocniej. Stąd wniosek, że najprawdopodobniej dodatkową przyczyną tak znacznego błędu jest relaksacja elementu sprężystego przegubu 3 i 5 (rys. 9), natomiast mniejsze znaczenie ma ewentualne zbyt słabe utwierdzenie końcówek struny w zaciskach 2 i 5.

„Firmowy” tensometr, którego wyniki badań umieszczono w [5, str. 128-131] jest typu „sprężynowego”. Oznacza to, że w jego układzie mechanicznym zakres odkształceń sprężystych struny został rozszerzony szeregowo połączoną z nią sprężyną. Siła rozciągająca strunę jest równa sile rozciągającej sprężynę i sile oddziaływania tensometru na obiekt mierzony. Pomiedzy struną a sprężyną znajduje się zapewne element tłumiący, w przeciwnym razie po pobudzeniu, drga nie tylko struna, ale połączony układ struna-sprężyna, co nie jest zgodne z zasadą prawidłowej pracy przetworników strunowych. Tensometr TSS10 jest natomiast typu „dźwigniowego”, w jego układzie mechanicznym zakres odkształceń sprężystych struny jest rozszerzony za pomocą dźwigni dwuramiennej. Dźwignia ta transformuje siłę naciągu struny, dlatego jego siła oddziaływania na mierzony obiekt jest dużo mniejsza, nawet kilkadziesiątkrotnie niż tensometru „sprężynowego”.

Autor również konstruował tensometry „sprężynowe”, np. opisany w [5] na stronie 66. Jego ostatnio skonstruowana, unowocześniona wersja jest przedstawiona na rysunku 15.

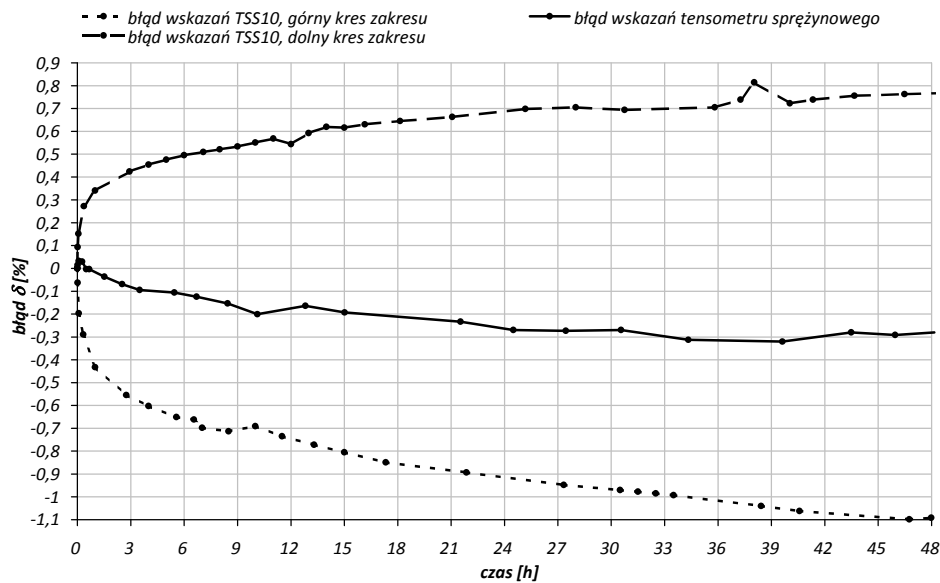


Rys. 15. Zamocowany do stalowego płaskownika układ mechaniczny tensometru „sprężynowego”

Do badań relaksacji wskazań tego tensometru został on zamocowany do stalowego płaskownika 25×6 mm. Sprężyna została naciągnięta tak, aby początkowe naprężenie struny osiągnęło około 710 MPa – jak dla górnego kresu zakresu pomiarowego tensometru TSS10. Wynik testu obrazuje wykres na rysunku 16. Dla porównania zamieszczono na nim przeskalowane wykresy z rysunków 13 i 14.

Jak widać, błąd wskazań tensometru „sprężynowego” jest znacznie mniejszy niż tensometru TSS10. Brak w nim elementu sprężystego przegubu, ponadto w relaksacji układu sprężyna – struna decydujące znaczenie ma ta pierwsza, czyli mniej sztywna. Jeśli jest ona nawinięta drutem odpowiedniej grubości, to – niezależnie od jej rozmiarów – może ona pracować w niewielkiej tylko części swego zakresu sprężystego i wykazywać małe pełzanie.





Rys. 16. Porównanie relaksacji wskazań tensometru „sprężynowego” i tensometru TSS10

## 6. Wnioski

Większy błąd relaksacji wskazań tensometru „dźwigniowego” niż „strunowego” jest prawdopodobnie przyczyną, że producenci o zasięgu światowym w ogóle tego typu tensometru strunowego nie oferują. Tymczasem tensometr „dźwigniowy” korzystnie wyróżnia się znacznie mniejszą siłą oddziaływania na badany obiekt niż tensometr „sprężynowy”. Jego „kątowna” budowa jest w niektórych przypadkach konieczna, tak jak w przypadku potrzeby pomiaru rozwarości szczelin. Należy zauważyć, że w praktyce tak znaczne skokowe zmiany mierzonych przemieszczeń jak podczas opisanego w punkcie 4 badania nie występują, zatem wskazania tensometru z czasem w znacznym stopniu stabilizują się. Aby ten proces stabilizacji obserwować, a ponadto móc wprowadzać do wyników pomiarowych poprawki przynajmniej częściowo kompensujące błędy relaksacji wskazań tensometrów, proponuje się montaż w bezpośrednim sąsiedztwie tensometrów używanych do pomiarów dodatkowego tensometru biernego, zaaretowanego w odpowiednim punkcie zakresu pomiarowego. Konieczne jest też zbadanie relaksacji wskazań tensometru w warunkach termostatowanych w okresie nawet rocznym, jak też określenie jego charakterystyki termicznej. Prace mające na celu opomiarowanie szczeliny rozszerzania są kontynuowane, zgodny z ideą przedstawioną na rysunku 8 tensometr do obserwacji klawiszowania płyt jest zaprojektowany, obecnie wykonywane są jego elementy

Praca została wykonana w roku 2014 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## Literatura

1. Portal internetowy „inzynerbudownictwa.pl”: [http://www.inzynerbudownictwa.pl/technika,materialy\\_i\\_technologie,artykul,uszkodzenia\\_betonowych\\_nawierzchni\\_na\\_przykladzie\\_plyt\\_lotniskowych,3509](http://www.inzynerbudownictwa.pl/technika,materialy_i_technologie,artykul,uszkodzenia_betonowych_nawierzchni_na_przykladzie_plyt_lotniskowych,3509) (dostępne 16.11.2014)
2. *Samoloty. Niezapomniane modele*. Grupa Wydawnicza Foksal Sp. z o.o. Warszawa.
3. Nita P., 2008, *Budowa i utrzymanie nawierzchni lotniskowych*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
4. Kanciruk A., 2013. *Nowe rozwiązanie konstrukcyjne głowicy pomiarowej strunowego tensometru gruntowego. Kontynuacja obserwacji odkształceń posadzki hangaru i wychylenia wieży kościoła. Obserwacja wpływu wstrząsów komunikacyjnych na budynek mieszkalny*. [W:] Prace IMG PAN, tom 15, nr 3-4, publikowane przez Instytut Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk, (strony 115-124)
5. Kanciruk A., 2012. *Metody tensometryczne w badaniach przemieszczeń, deformacji i zjawisk dynamicznych w gruncie i obiektach budowlanych*. Monografia nr 15. Archives of Mining Sciences. Wydawnictwo Instytutu Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
6. Portal internetowy „Wikipedia”: [http://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_linear\\_solid\\_model](http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_linear_solid_model) (dostępne 16.11.2014)

## **New constructions of vibrating-wire displacement transducers**

### **Abstract**

Runway surfaces are usually made of concrete slabs lying on macadam foundations. The slabs are separated each other with settlement joints. The joints are often filled with a special type elastic material. Almost four years research of hangar floor deformation proves, that the slabs strains (both thermal and load) manifest mainly close to the joints. They cause changes of joints widths and vertical dislocations of slabs edges. It causes unevenness of the overall surface. Therefore it is necessary to measure the dislocations of slabs for monitoring the state of the runway surface and for researching the influence of various causes leading to its degradation. Vibrating wire displacement transducers should be adequate for this purpose, because of their good long-term metrological parameters. In this paper, a new construction of such a transducer is described, as well as its characteristics and intended manner of its instalation.

**Keywords:** concrete runway surfaces, vibrating-wire transducers, relaxation error of a measurement instrument