

INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW
Zakład Diagnostyki Nawierzchni

SPRAWOZDANIE
z realizacji pracy pt.:
„Opracowanie instrukcji kalibracji ugięciomierzy FWD wykonujących
pomiary ugięć dynamicznych”.

Zlecniodawca: Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad
Umowa Nr 28/12/2005 z dnia 25.10.2005

Opracował:

mgr inż. Jacek SUDYKA
inż. Adam KOWALSKI

Kierownik Zakładu
Diagnostyki Nawierzchni

mgr inż. Tomasz MECHOWSKI

Warszawa, grudzień 2005

Spis treści

1	Wstęp	3
2	Opracowanie zasad i procedur kalibracji ugięciomierzy FWD	3
2.1	Zasady kalibracji ugięciomierzy FWD	4
2.2	Zasady dokumentacji i certyfikacji ugięciomierzy	4
2.3	Procedury kalibracyjne	5
3	Wymagania Laboratorium Kalibracyjnego	9

Załącznik 1 Zasady kalibracji ugięciomierzy FWD

Załącznik 2 Zasady dokumentacji i certyfikacji ugięciomierzy

Załącznik 3 Procedury kalibracyjne dla użytkowników ugięciomierzy

Załącznik 4 Procedury kalibracyjne dla laboratorium kontrolnego

- **Wstęp**

W każdej procedurze oceny nośności nawierzchni istotne jest aby rejestrowane dane były dokładne i obiektywne. W przeciwnym wypadku stawiane, na podstawie takiej oceny, wnioski są obarczone błędami i mogą prowadzić do błędnego oszacowania żywotności nawierzchni.

Na końcowy wynik pomiaru ugięć FWD (Falling Weight Deflectometer) mogą mieć wpływ między innymi nieprawidłowo wykalibrowane czujniki ugięciomierza, błędy podczas badania i zbierania danych lub niedokładności podczas normalizacji i wprowadzania współczynników korekcyjnych dotyczących wielkości i czasu trwania obciążenia. W efekcie systematyczny błąd 5% popełniany w pomiarze ugięć przenosi się w takim samym stopniu na obliczane naprężenia w warstwach asfaltowych i wzrasta do 25% na etapie obliczania trwałości zmęczeniowej nawierzchni.

Powyższy przykład pokazuje jak istotną rolę w poprawnej ocenie nośności nawierzchni odgrywa właściwa kalibracja ugięciomierzy FWD. Aby osiągnąć wymaganą jakość kalibracji konieczne jest stosowanie, zarówno przez użytkowników urządzeń jak i przez laboratoria kontrolne, jednolitych procedur kalibracyjnych.

W niniejszej pracy przedstawiono, opracowane na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA), zasady kalibracji, zasady dokumentacji badań i certyfikacji oraz procedury kalibracyjne ugięciomierzy FWD. Przedstawione w niniejszej pracy zasady i procedury opracowano na podstawie COST Action 336 Falling Weight Deflectometer oraz doświadczeń Instytutu, który od wielu lat prowadzi prace serwisowe ugięciomierzy FWD.

1 Opracowanie zasad i procedur kalibracji ugięciomierzy FWD

Opracowane zasady i procedury kalibracji ugięciomierzy FWD przedstawiono w załącznikach:

- Załącznik 1 Zasady kalibracji ugięciomierzy FWD
- Załącznik 2 Zasady dokumentacji i certyfikacji ugięciomierzy
- Załącznik 3 Procedury kalibracyjne dla użytkowników ugięciomierzy
- Załącznik 4 Procedury kalibracyjne dla laboratorium kontrolnego

Podczas przygotowywania zasad i procedur kalibracyjnych kierowano się przyjętymi wcześniej założeniami:

- kolejność oraz termin wykonania kalibracji zostanie określona w Planie Kalibracji FWD,
- upoważnieni do prowadzenia badań kalibracyjnych będą użytkownicy FWD i Laboratorium Kalibracyjne – rodzaj, termin oraz wykonujący badania zostanie wskazany w Planie Kalibracji FWD,
- badania kalibracyjne będą wykonywane w oparciu o opracowane protokoły kalibracji ugięciomierzy FWD.

1.1 Zasady kalibracji ugięciomierzy FWD

W tej części przedstawiono Plan Kalibracji ugięciomierzy FWD, w którym zawarto ogólne zasady kalibracji ugięciomierzy. Plan Kalibracji podzielono na dwie części:

1. Poziom Użytkownika FWD, gdzie przyjęto procedury, według których każdy użytkownik FWD będzie samodzielnie dokonywał kalibracji sprzętu w określonym czasie. Przygotowane dla tego poziomu procedury są łatwe w wykonaniu i w większości przypadków zgodne z zaleceniami producenta sprzętu.

W zakres kalibracji na tym poziomie wchodzi następujące procedury:

- Weryfikacja pozycji czujników ugięć,
 - Weryfikacja powtarzalności FWD,
 - Kalibracja względna czujników ugięć FWD,
 - Kalibracja dystansomierza.
2. Poziom Laboratorium Kalibracyjnego, gdzie przyjęto procedury, według których Laboratorium Kontrolne będzie dokonywać kalibracji sprzętu w oparciu o specjalistyczny sprzęt i instrumenty pomiarowe (wzorce). Laboratorium będzie również prowadzić badania harmonizacyjne (porównawcze) między ugięciomierzami.

W zakres kalibracji na tym poziomie wchodzi następujące procedury:

- Dynamiczna kalibracja czujnika siły FWD,
- Kalibracja laboratoryjna czujników ugięć FWD,
- Kalibracja in-situ zdemontowanych czujników ugięć,
- Procedura harmonizacji FWD in-situ
- Statyczna kalibracja czujnika siły FWD.

Dla obu poziomów opracowano harmonogram prac kalibracyjnych, wg którego, zarówno Laboratorium Kontrolne jak i użytkownicy będą prowadzić badania kalibracyjne.

1.2 Zasady dokumentacji i certyfikacji i ugięciomierzy

Opracowane zasady dokumentacji badań dotyczą dwóch poziomów: Użytkowników ugięciomierzy oraz Laboratorium Kontrolnego.

Na poziomie Użytkownika FWD wymaga się aby prowadzona była dokumentacja danych z badań kalibracyjnych, na którą składają się arkusze kalibracyjne, przedstawione w formie pisemnej obliczenia oraz wyniki badań zapisane w plikach źródłowych. Użytkownik przechowuje dokumentację przez okres minimum dwóch lat i jeżeli to konieczne przedstawia wymagane dokumenty na żądanie Laboratorium Kontrolnego.

Na poziomie Laboratorium Kontrolnego wymaga się aby dokumentacja z przeprowadzonych badań prowadzona była zgodnie z zasadami podanymi w normie PN-EN ISO/IEC 17025 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących. Laboratorium Kontrolne przechowuje dokumentację (arkusze kalibracyjne, wyniki badań i analiz opracowane w formie sprawozdania, pliki źródłowe) przez okres minimum pięciu lat. Ponadto Laboratorium Kalibracyjne będzie wydawać użytkownikom ugięciomierzy certyfikat dopuszczenia do pomiarów.

1.3 Procedury kalibracyjne

Opracowane procedury kalibracyjne dotyczą poziomu Użytkownika oraz Laboratorium Kontrolnego.

Dla poziomu Użytkownika opracowano cztery procedury opisane w następujących protokołach:

1. U1-2005 Weryfikacja pozycji czujników ugięć,
2. U2-2005 Weryfikacja powtarzalności FWD,
3. U3-2005 Kalibracja względna czujników ugięć FWD,
4. U4-2005 Kalibracja dystansomierza.

Poniżej przedstawiono jedynie skrótowy opis opracowanych procedur. Szczegóły procedur opisane są w protokołach kalibracyjnych (Załącznik 3)

Protokół U1-2005 Weryfikacja pozycji czujników ugięć

Niniejszy protokół omawia sposób ustalania położenia i zmianę położenia czujników ugięć zamontowanych na belce.

Dokładnie ustalenie położenia czujników ugięć i weryfikacja położenia czujników ugięć na belce ma fundamentalne znaczenie. Nieprawidłowe położenie prowadzi do błędnych wyników analizy, co z kolei może skutkować nieprawidłową oceną trwałości nawierzchni.

Niniejszy protokół musi być realizowany z częstotliwością co najmniej raz w miesiącu oraz po każdej zmianie położenia czujników ugięcia.

Protokół U2-2005 Weryfikacja powtarzalności FWD

Niniejszy protokół przedstawia sposób oceny powtarzalności wielkości obciążenia i ugięć generowanych przez ugięciomierz FWD. Protokół ten pozwala użytkownikowi na okresową weryfikację powtarzalności wyników uzyskiwanych przy pomocy urządzenia FWD.

Celem tej procedury jest sprawdzenie, czy badany ugięciomierz daje spójne wyniki w konkretnym miejscu kontroli. W procedurze tej powtarzalność FWD jest weryfikowana w serii dwunastu kolejnych zrzutów bez podnoszenia płyty naciskowej. Pierwsze dwa zrzuty są pomijane w analizie. Wszystkie ugięcia są normalizowane do średniej wartości przekazanego obciążenia. Standardowe odchylenie obciążenia i znormalizowane ugięcia powinny być ze sobą zgodne w podanych granicach. Jeżeli wyniki nie spełnią wymagań to próbę należy powtórzyć. Przypadki stałego braku zgodności dyskwalifikują dane zebrane przez badane urządzenie.

Niniejszy protokół musi być realizowany z częstotliwością co najmniej raz w miesiącu lub częściej, według uznania użytkownika.

Protokół U3-2005 Kalibracja względna czujników ugięć FWD

Protokół przedstawia sposób określenia różnic i dopuszczalnej zmienności ugięć rejestrowanych przez czujniki ugięć, zamontowanych na stanowisku w taki sposób, by wszystkie były poddane identycznemu ugięciu, w serii wielokrotnych zrzutów.

Kalibracja względna czujników ugięć ma na celu sprawdzenie, czy wszystkie czujniki w danym ugięciomierzu są skalibrowane względem siebie. W procedurze tej wszystkie

czujniki ugięć są zdemontowane i zainstalowane na stanowisku badawczym w taki sposób, by były poddawane takiemu samemu ugięciu. Celem tej próby jest zweryfikowanie zgodności reakcji wszystkich czujników ugięć. Jeżeli przynajmniej jeden czujnik ugięć generuje rozbieżne wyniki, to wzmocnienia czujników ugięć należy dokładnie wyregulować. Jeżeli wymagana jest większa korekta, to czujnik ugięć należy dokładnie zbadać. W procedurze tej stosuje się rotację czujników ugięć.

Niniejszy protokół musi być stosowany z częstotliwością raz na sześć miesięcy lub częściej, tak jak to uzna użytkownik FWD. Jeżeli wyniki zastosowania tej procedury dadzą podstawy do dalszych badań i/lub naprawy lub serwisowania, to protokół ten należy powtórzyć po wykonaniu naprawy.

Protokół U4-2005 Kalibracja dystansomierza

Niniejszy protokół przedstawia sposób kalibracji dystansomierza FWD.

Kalibrację dystansomierza FWD wykonuje się w celu zapewnienia właściwej dokładności lokalizacji zbieranych danych. Ma to szczególne znaczenie na etapie porównywania z innymi danymi z terenu, np. z wynikami badań georadarem.

Niniejszy protokół musi być stosowany z częstotliwością raz na sześć miesięcy lub częściej, tak jak to uzna użytkownik FWD. Procedura kalibrowania musi zostać wykonana także po każdej zmianie opon w samochodzie lub przyczepie, na którym/której zamontowany jest dystansomierz. Jeżeli wyniki zastosowania tej procedury dadzą podstawy do dalszych badań i/lub naprawy lub serwisowania części, to protokół ten również musi zostać powtórzony po wykonaniu naprawy lub serwisu.

Dla poziomu Laboratorium Kontrolnego opracowano pięć procedur opisanych w następujących protokołach:

1. LK1-2005 Dynamiczna kalibracja czujnika siły FWD,
2. LK2-2005 Kalibracja laboratoryjna czujników ugięć FWD,
3. LK3-2005 Kalibracja in-situ zdemontowanych czujników ugięć,
4. LK4-2005 Procedura harmonizacji FWD in-situ
5. LK5-2005 Statyczna kalibracja czujnika siły FWD.

Poniżej przedstawiono jedynie skrótowy opis opracowanych procedur. Dokładniejszy opis zawarto w Planie Kalibracji ugięciomierzy, natomiast szczegóły procedur opisane są w protokołach kalibracyjnych (Załącznik 4)

Protokół LK1-2005 Dynamiczna kalibracja czujnika siły FWD

Niniejszy protokół przedstawia sposób określenia współczynnika kalibracji czujnika siły FWD poprzez wykonanie szeregu rzutów z różnych wysokości. Do wykonania kalibracji konieczny jest wzorcowy czujnik siły zamontowany na specjalnej platformie, ustawionej tak, by wraz z płytą naciskową FWD były w jednej osi.

Dynamiczną kalibrację czujnika siły stosuje się w celu oszacowania dokładności pomiaru szczytowego impulsu obciążającego. W celu wykrycia nieliniowości generowanych przez czujnik siły wyników stosuje się różne wysokości rzutu.

Niniejsza procedura powinna być stosowana z częstotliwością raz na dwa lata lub częściej, tak jak to uzna Laboratorium Kontrolne. Jeżeli wyniki zastosowania tej procedury dadzą podstawy do dalszych badań i/lub naprawy lub serwisowania, to protokół ten należy powtórzyć po wykonaniu naprawy.

Protokół LK2-2005 Kalibracja laboratoryjna czujników ugięć FWD

Celem niniejszej procedury jest ustalenie, czy układ czujnik ugięć - elektronika przetwarzająca sygnały jest w stanie generować prawidłowe wartości maksymalne ugięcia, w przypadkach zmiennych amplitud i czasów trwania impulsów. W procedurze tej czujnik ugięć jest zainstalowany na stole wibracyjnym. Czujnik jest poddawany różnym seriom impulsów, składających się z różnych amplitud przemieszczenia i czasów narastania impulsu. Sygnał wyjściowy czujnika jest porównywany z sygnałem wyjściowym przyrządu wzorcowego.

Drugim celem tej procedury jest ustalanie współczynnika kalibracji badanego czujnika ugięć. Współczynnik ten oblicza się na podstawie stosunku wartości szczytowych ugięć, wskazanych przez badane czujniki ugięć i przez wzorcowy przetwornik przemieszczenia bądź przez równorzędny przyrząd wzorcowy. Współczynnik ten określa się zazwyczaj dla stosowanego w badaniach terenowych czasu trwania impulsu obciążenia.

Niniejsza procedura powinna zostać zastosowana minimum raz dla każdego nowego urządzenia oraz wtedy gdy po wymianie procesora i czujnika ugięć stwierdzono wpływ zmiennego czasu trwania impulsu obciążenia na dokładność wartości szczytowych ugięć. Niniejsza procedura powinna być stosowana z częstotliwością raz na dwa lata w przypadku konieczności kalibracji czujników ugięć oraz wtedy, gdy istnieje konieczność ustalenia współczynników kalibracyjnych wzorcowego czujnika ugięć lub częściej, tak jak to uzna Laboratorium Kontrolne.

Protokół LK3-2005 Kalibracja in-situ zdemontowanych czujników ugięć

Niniejszy protokół przedstawia sposób określenia in-situ współczynnika kalibracji czujników ugięć, poprzez wykonanie ugięciomierzem szeregu zrzutów z różnych wysokości, w czasie gdy czujnik zdemontowano z belki i zamontowano w uchwycie badawczym.

Celem tej procedury jest sprawdzenie dokładności pomiaru wartości maksymalnych ugięć generowanych przy użyciu FWD w serii wielu zrzutów z różnych wysokości. W procedurze tej czujnik ugięć FWD jest zdemontowany i umieszczony w uchwycie badawczym znajdującym się w pewnej odległości od płyty naciskowej ugięciomierza. Jako czujniki wzorcowe stosowane są instrumenty pomiarowe odpowiednio ustawione względem czujnika ugięć. Badanie to pokazuje, czy proces generowania ugięcia przez FWD wpływa na dokładność odczytów ugięć, oraz czy drgania powstające w trakcie tego procesu są wystarczająco szybko tłumione.

Niniejsza procedura powinna być stosowana z częstotliwością raz na dwa lata lub częściej, tak jak to uzna Laboratorium Kontrolne. Jeżeli wyniki zastosowania tej procedury dadzą podstawy do dalszych badań i/lub naprawy lub serwisowania, to protokół ten należy powtórzyć po wykonaniu naprawy.

Protokół LK4-2005 Procedura harmonizacji FWD in-situ

Przedstawiona procedura pozwala określić in-situ współczynnik harmonizacji dla ugięciomierzy FWD uczestniczących w badaniach porównawczych. W procedurze tej wyniki badań grupy FWD są porównywane z wynikami uzyskanymi przez wzorcową grupę FWD, będącej częścią całej badanej grupy (badanie odtwarzalności). W dniu wykonania testu określana jest także powtarzalność każdego FWD. Badania prowadzone są na nawierzchniach o różnej nośności.

W badaniach odtwarzalności na każdym stanowisku wykonuje się pięć zrzutów. Ugięcia normalizuje się do poziomu obciążenia zadanego, a następnie porównuje z danymi wzorcowymi. Współczynniki harmonizacji ugięć oblicza się metodą regresji liniowej, tak by ugięcia wzorcowe ustalić z możliwie największą dokładnością.

Celem badania powtarzalności jest ustalenie, czy badane FWD uzyskują porównywalne wartości ugięć na wybranych stanowiskach badawczych. W procedurze tej powtarzalność FWD jest weryfikowana w serii kilkunastu kolejnych zrzutów wykonywanych na stanowisku bez podnoszenia płyty naciskowej.

Niniejszy protokół jest przeznaczony do stosowania dla ugięciomierzy generujących impuls obciążający o podobnej długości. W innym przypadku ustalanie odpowiednich współczynników harmonizacji FWD in-situ dla wszystkich ugięciomierzy objętych testem wymaga użycia bardziej skomplikowanych technik konwersji.

Niniejsza procedura powinna być stosowana z częstotliwością raz rok.

Protokół LK5-2005 Statyczna kalibracja czujnika siły FWD

Niniejszy protokół przedstawia sposób ustalenia współczynnika kalibracji czujnika siły FWD w cyklu następujących po sobie obciążeniach czujnika siły FWD zamontowanego szeregowo, współosiowo z wzorcowym czujnikiem siły.

Statyczna kalibracja czujnika siły FWD ma na celu sprawdzenie, czy urządzenie dokładnie mierzy wartość maksymalną impulsu obciążającego. W celu wykrycia wszelkich nieliniowości sygnału wyjściowego czujnika siły FWD stosuje się różnorodne etapy obciążania.

Niniejsza procedura powinna być stosowana z częstotliwością raz na dwa lata w przypadku, gdy nie ma możliwości wykonania dynamicznej kalibracji czujnika siły. Procedurę tą należy również zastosować w ugięciomierzach FWD, w których zamontowano nowy czujnik siły.

2 Wymagania Laboratorium Kalibracyjnego

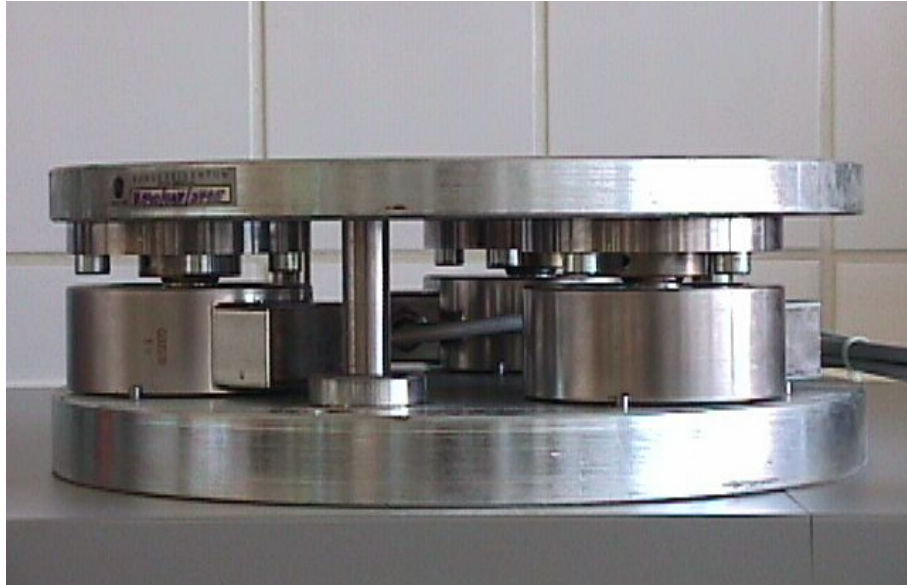
W opracowanych procedurach kalibracyjnych zawarto informację o sprzęcie potrzebnym do wykonania kalibracji. Wymagania odnośnie potrzebnego sprzętu znajdują się w każdym protokole, w punkcie pt. Przyrządy. W niniejszym rozdziale przedstawiono listę sprzętu jaka jest wymagana w celu wykonania przez Laboratorium Kontrolne wszystkich procedur kalibracyjnych.

Wymagania Laboratorium Kontrolnego sklasyfikowano według różnych kategorii. Pierwsza z nich zawiera sprzęt podstawowy Laboratorium:

- Wzorcowy termometr elektroniczny o rozdzielczości $0,1^{\circ}\text{C}$ i dokładności $0,5^{\circ}\text{C}$ w zakresie temperatur od 0°C do $+50^{\circ}\text{C}$
- Prosta łąta o długości 1,2 m
- Wzorcowa taśma miernicza o długości 3 m i względnej dokładności co najmniej 0,1%
- Przymiar taśmowy o długości 25 m lub koło pomiarowe o względnej dokładności co najmniej 0,1%
- Wiertarka elektryczna z głębokością wiercenia 150 mm
- Zegar
- Poziomica
- Kolumna kalibracyjna

Następna kategoria zawiera opis sprzętu do pomiaru, zapisu i przetwarzania danych podczas dynamicznej kalibracji czujnika siły:

- Sztywna nawierzchnia testowa
- Platforma wzorcowego czujnika siły o średnicy minimalnej 300 mm i maksymalnej 450 mm. Platforma musi zawierać trzy czujniki siły lub jeden, indywidualnie przygotowany czujnik siły o szerokiej podstawie, umieszczony pomiędzy dwiema płytami, tak by otrzymać stabilną platformę. Górna płyta musi być wykonana z lekkiego metalu. Płyta dolna może być wykonana ze stali nierdzewnej.
- Platforma musi w warunkach statycznych spełniać poniższe wymagania:
 - zakres błędu, obejmujący nieliniowość, powtarzalność i histerezę: $\pm 0,2$ kN dla pełnego zakresu skali, jeżeli maksymalne obciążenie FWD w próbie (badaniu) jest mniejsze niż 150 kN, w innych wypadkach $\pm 0,4$ kN dla pełnego zakresu skali.
 - przedział temperatury użytkowania od 0 do 40°C
- Odpowiednie urządzenie przetwarzające sygnały, z funkcją zapamiętywania maksimum oraz wyposażenie do odczytu/pobierania danych.



Rysunek 1 Platforma wzorcowego czujnika siły

Kolejna kategoria opisuje sprzęt do pomiaru, zapisu i przetwarzania danych podczas statycznej kalibracji czujnika siły:

- Sztywna rama pozwalająca współosiowo zamontować czujnik siły FWD i wzorcowy czujnik siły.
- Prasa hydrauliczna pozwalająca wytworzyć obciążenie przekraczające maksymalny poziom obciążenia czujnika siły FWD.
- Wzorcowy czujnik siły, który powinien, w warunkach statycznych, spełniać wymagania:
 - przedział błędów, obejmujący nieliniowość, powtarzalność i histerezę: $\pm 0,2$ kN dla pełnego zakresu skali, jeżeli maksymalne obciążenie badanego FWD jest mniejsze niż 150 kN, w przeciwnym razie $\pm 0,4$ kN dla pełnego zakresu skali.
 - przedział temperatury użytkowania od 0 do 40°C
- Odpowiednie urządzenie przetwarzające sygnały i odczytujące dane.



Rysunek 2 Zdemontowany czujnik siły FWD oraz wzorcowy czujnik siły przygotowany do kalibracji statycznej czujnika siły

Następna kategoria opisuje sprzęt do pomiaru, zapisu i przetwarzania danych podczas kalibracji laboratoryjnej czujników:

- Betonowy blok inercyjny lub stabilna, mocna podłoga o drganiach tła mniejszych niż 1 μm . ugięcia podłoża powinny być w przedziale od 400 μm do 600 μm .
- System badania drgań (wstrząsarka + wzmacniacz sygnału). System musi mieć możliwość generowania pojedynczych impulsów uginających do 2 mm, o różnych amplitudach, kształtach i czasach trwania, odpowiadającym impulsom uginającym generowanym przez FWD.
- Wzorcowy przetwornik przemieszczenia lub wzorcowy serwoakcelerometr.
- Odpowiednia aparatura do przetwarzania sygnałów, z funkcją zapamiętywania maksimum oraz odpowiednie wyposażenie do odczytu/pobierania danych.
- Programowany generator funkcji lub równorzędny, mogący generować pojedyncze impulsy udarowe.
- Zaciski do zamontowania czujników ugięć do cewki wstrząsarki. Należy stosować metale lekkie, aby jak najbardziej zmniejszyć efekty bezwładnościowe.

Kolejna kategoria opisuje sprzęt do pomiaru, zapisu i przetwarzania danych podczas kalibracji in-situ zdemontowanych czujników ugięć:

- Uchwyt badawczy do zamontowania czujnika ugięć na nawierzchni lub podłodze badawczej.
- Rusztowanie z mocnymi podporami i poziomą belką oraz uchwytem badawczym na końcu lub w środku belki służące do zamontowania przyrządów wzorcowych. Jego konstrukcja musi dawać możliwość zamontowania czujnika ugięć do pomiaru drgań pionowych. Rusztowanie musi być tak zbudowane, by jego podpory dawały odpowiednie przesunięcie fazowe, tak by rusztowanie poruszało się pod wpływem wywołanych przez FWD obciążeń później niż wynosi czas osiągnięcia wartości maksymalnej ugięcia rejestrowanego przez czujnik w uchwycie badawczym.
- Wzorcowy przetwornik przemieszczenia.
- Wzorcowy czujnik ugięć o wysokiej dokładności.
- Odpowiednia aparatura do przetwarzania sygnałów, z funkcją zapamiętywania maksimum oraz odpowiednia aparatura do odczytu/pobierania danych.
- Zaciski do mocowania czujników ugięć na rusztowaniu i uchwycie badawczym.

Wszystkie wymienione powyżej urządzenia powinny być sprawdzane przed podjęciem działań kalibracyjnych.

Urządzenia stosowane w Laboratorium jako wzorcowe powinny być wykalibrowane przed podjęciem działań kalibracyjnych. Urządzenia służące do kalibracji ugięciomierzy FWD lub komponentów FWD powinny być wzorcowane i posiadać odpowiednie certyfikaty.

Ze względu na wymaganą wysokość jakości badań kalibracyjnych oraz potrzebę zapewnienia monitoringu urządzeń wzorcujących wydaje się właściwe, aby badania kalibracyjne, w ramach Laboratorium Kalibracyjnego, prowadzone były w początkowej fazie przez laboratorium posiadające Certyfikat Akredytacji Laboratorium Badawczego. Docelowo Laboratorium Kalibracyjne powinno zostać przekształcone w Certyfikowane Laboratorium Wzorcujące.