

**INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW**  
**Zakład Diagnostyki Nawierzchni**

**ZAŁĄCZNIK 3**  
**PROCEDURY KALIBRACYJNE DLA UŻYTKOWNIKÓW**  
**UGIĘCIOMIERZY**

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

Warszawa, grudzień 2005

Poniżej przedstawiono procedury kalibracyjne, według których użytkownicy FWD powinni, we własnym zakresie, wykonywać kalibrację sprzętu. Częstotliwość oraz rodzaj wykonywanych badań kalibracyjnych opisano w Planie Kalibracji FWD.

Niniejszy poziom kalibracji składa się z czterech procedur opisanych w protokołach:

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

# **Protokół U1-2005**

## **Weryfikacja pozycji czujników ugięć**

NINIEJSZY PROTOKÓŁ ZOSTAŁ WYDANY POD STAŁYM OZNACZENIEM „PROTOKÓŁ U1”. LICZBA ZNAJDUJĄCA SIĘ BEZPOŚREDNIO ZA OZNACZENIEM WSKAZUJE ROK WPROWADZENIA PROTOKOŁU W ŻYCIĘ.

### **1. Zakres**

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

### **2. Znaczenie i stosowanie**

- 2.1. 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.
- 2.2. Niniejszy protokół musi być realizowany z częstotliwością wskazaną w Planie Kalibracji oraz po każdej zmianie położenia czujników ugięcia. Użytkownik powinien prowadzić dziennik czynności wykonanych przy realizacji tego protokołu.

### **3. Przyrządy**

- Wzorcowa taśma miernicza

### **4. Procedura**

- 4.1. Do arkusza kalibracji należy wpisać poniższe dane:
  - Użytkownik FWD
  - Typ/numer seryjny/numer identyfikacyjny FWD
  - Numery seryjne czujników ugięć
  - Etykieta wzorcowej taśmy mierniczej
  - Obecne położenia czujników ugięć
  - Nowe położenia czujników ugięci
  - Nazwisko osoby prowadzącej weryfikację
  - Miejsce weryfikacji
  - Data i godzina ostatniej weryfikacji
  - Data i godzina weryfikacji
- 4.2. Przyczepę FWD wprowadzić na kanał samochodowy. Wzorcową taśmą mierniczą sprawdzić pozycje czujników ugięć odmierzając odległości między trzpieniami czujników ugięć. W razie potrzeby poluzować uchwyty czujników i przemieścić do właściwych punktów. Ponownie dokręcić uchwyty. Ustawianie powinno odbywać się z dokładnością  $\pm 5$  mm.

### **5. Sprawozdanie**

- Sprawozdanie musi zawierać co najmniej:
- Dane arkusza weryfikacji położenia czujnika ugięcia.

# **Protokół U2-2005**

## **Weryfikacja powtarzalności FWD**

NINIEJSZY PROTOKÓŁ ZOSTAŁ WYDANY POD STAŁYM OZNACZENIEM „PROTOKÓŁ U2”. LICZBA ZNAJDUJĄCA SIĘ BEZPOŚREDNIO ZA OZNACZENIEM WSKAZUJE ROK WPROWADZENIA PROTOKOŁU W ŻYCIU.

### **1. Zakres**

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

### **2. Znaczenie i stosowanie**

- 2.1. 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.
- 2.2. Niniejszy protokół musi być realizowany z częstotliwością wskazaną w Planie Kalibracji lub częściej, według uznania użytkownika. Użytkownik FWD powinien prowadzić dokumentację czynności weryfikacyjnych wykonanych według tego protokołu.

### **3. Przyrządy**

- ugięciomierz FWD.

### **4. Procedura**

- 4.1. Do arkusza kalibracji należy wpisać poniższe dane:
  - Użytkownik FWD
  - Producent FWD
  - Typ/numer seryjny/numer identyfikacyjny FWD
  - Numery seryjne czujników ugięć
  - Średnica płyty naciskowej
  - Odległości czujników ugięć
  - Obecne współczynniki kalibracji czujników ugięć
  - Nazwisko osoby weryfikującej powtarzalność
  - Miejsce wykonania badań
  - Data i godzina ostatnich badań
  - Data i godzina badań

- 4.2. Ugięciomierz FWD umieścić na równej, nośnej nawierzchni asfaltowej bez widocznych pęknięć, pozwalającej uzyskać ugięcie od 250 do 600  $\mu\text{m}$  w środku obciążenia przy założonym poziomie obciążenia.
- 4.3. Uruchomić ugięciomierz i wykonać, w celu rozgrzania odbojników i przygotowania punktu badawczego, sekwencję dziesięciu zrzutów do momentu, w którym rejestrowane ugięcia i obciążenia będą niemal jednakowe. Ugięcia w tej sekwencji dziesięciu zrzutów nie powinny wykazywać stałego trendu rosnącego lub malejącego. Jeżeli dane z etapu rozgrzewania urządzenia wskazują na np. stałe zagęszczanie podłoża lub jeżeli nie można osiągnąć wymaganego poziomu ugięcia, to FWD należy przestawić na inną nawierzchnię.
- 4.4. Wysokość zrzutu i masę należy dobrać tak, by uzyskać zadany poziom obciążenia. Wykonać dwa zrzuty przygotowawcze, bez rejestrowania danych, a następnie wykonać 10 zrzutów, dla których będą rejestrowane wartości obciążeń i ugięć. W analizie wykorzystanych będzie dziesięć ostatnich zrzutów. Podczas próby nie podnosić płyty naciskowej FWD.

## 5. Analiza

- 5.1. Metodą interpolacji liniowej znormalizować wszystkie ugięcia do poziomu zakładanego obciążenia, które nie odbiega od obciążenia rzeczywistego o więcej niż 10% (równanie 8.1). Określić średnie ugięcie każdego czujnika ugięcia w serii 10 zrzutów (równanie 8.2).
- 5.2. Określić odchylenie standardowe wszystkich obciążeń (równanie 8.3) oraz odchylenie standardowe wszystkich znormalizowanych ugięć każdego z czujników ugięć (równanie 8.4).
- 5.3. Odchylenie standardowe obciążenia zarejestrowanego w serii 10 zrzutów nie powinno być większe niż 2% średniej zarejestrowanych wartości. Jeżeli rzeczywiste odchylenie standardowe przekracza 2%, to weryfikację powtarzalności należy powtórzyć na innej nawierzchni.
- 5.4. Odchylenie standardowe znormalizowanych ugięć, zarejestrowane w serii 10 zrzutów, nie powinno być większe niż 2  $\mu\text{m}$  w przypadku, gdy średnia znormalizowanych ugięć nie jest większa od 40  $\mu\text{m}$ . W przypadku gdy średnia znormalizowanych wartości jest większa od 40  $\mu\text{m}$  odchylenie standardowe znormalizowanych ugięć zarejestrowanych w serii 10 zrzutów nie powinno być większe niż suma 1,5  $\mu\text{m}$  i 1,25% średniej znormalizowanych wartości. Jeżeli rzeczywiste odchylenie standardowe przynajmniej jednego czujnika ugięć wykracza poza podane wartości, to weryfikację powtarzalności należy powtórzyć na innej nawierzchni. Przy ponownym niespełnieniu tych wymagań należy zbadać czujniki ugięć i ich mocowanie. Niespełnienie wymagań dyskwalifikuje dane zebrane przez badany ugięciomierz.

## 6. Symbole

- |       |   |   |
|-------|---|---|
| $i$   | = | Etykieta zrzutu                           |
| $j$   | = | Etykieta czujnika ugięć                   |
| NK    | = | Liczba zrzutów (= 10)                     |
| $F_i$ | = | Rzeczywiste obciążenie w zrzucie $i$ (kN) |

|           |   |   |
|-----------|---|---|
| $F_{ref}$ | = | Zakładane obciążenie (kN)   |
| $sF$      | = | Odchylenie standardowe obciążeń   |
| $u_{ij}$  | = | Ugięcie zmierzone przez czujnik ugięć $j$ w zrzucie $i$   |
| $d_{ij}$  | = | Znormalizowane ugięcie obliczone dla czujnika ugięć $j$ w zrzucie $i$                           |
| $d_j$     | = | Średnia znormalizowanych ugięć obliczonych dla czujników ugięć $j$ w NK zrzutach                |
| $sd_j$    | = | Odchylenie standardowe znormalizowanych ugięć obliczonych dla czujników ugięć $j$ w NK zrzutach |

## 7. Równania

7.1. Normalizacja ugięć do poziomu zakładanego obciążenia:

$$d_{ij} = \frac{F_{ref}}{F_i} \cdot u_{ij}$$

7.2. Obliczenie średniej arytmetycznej znormalizowanych ugięć dla poszczególnych czujników ugięć:

$$d_j = \frac{\sum_{i=1}^{NK} d_{ij}}{NK}$$

7.3. Obliczenie odchylenia standardowego obciążeń:

$$sF = \sqrt{\frac{NK \cdot \sum_{i=1}^{NK} F_i^2 - \left( \sum_{i=1}^{NK} F_i \right)^2}{NK \cdot (NK - 1)}}$$

7.4. Obliczenie odchylenia standardowego znormalizowanych ugięć:

$$sd_j = \sqrt{\frac{NK \cdot \sum_{i=1}^{NK} d_{ij}^2 - \left( \sum_{i=1}^{NK} d_{ij} \right)^2}{NK \cdot (NK - 1)}}$$

## 8. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać co najmniej:

- Dane arkusza kalibracji
- Wyniki pomiarów
- Wyniki analizy

# Protokół U3-2005

## Kalibracja względna czujników ugięć FWD

NINIEJSZY PROTOKÓŁ ZOSTAŁ WYDANY POD STAŁYM OZNACZENIEM „PROTOKÓŁ U3”. LICZBA ZNAJDUJĄCA SIĘ BEZPOŚREDNIO ZA OZNACZENIEM WSKAZUJE ROK WPROWADZENIA PROTOKOŁU W ŻYCIĘ.

### 1. Zakres

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

### 2. Znaczenie i stosowanie

- 2.1. 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 kolumnie kalibracyjnej 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 dokładniej zbadać.
- 2.2. W procedurze tej stosuje się rotację czujników ugięć.
- 2.3. Niniejszy protokół musi być stosowany z częstotliwością wskazaną w Planie Kalibracji 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. Użytkownik powinien przechowywać dokumentację kalibracji.

### 3. Przyrządy

- Ugięciomierz FWD.
- Kolumna kalibracyjna

### 4. Procedura

- 4.1. Do arkusza kalibracji należy wpisać poniższe dane:
  - Użytkownik FWD
  - Producent FWD
  - Typ/numer seryjny/numer identyfikacyjny FWD
  - Numery seryjne czujników ugięć FWD
  - Obecne współczynniki kalibracji czujników ugięć FWD
  - Nazwisko osoby wykonującej kalibrację
  - Miejsce wykonania kalibracji
  - Data i godzina ostatniej kalibracji
  - Data i godzina kalibracji

- 4.2. Wszystkie czujniki ugięć wymontować z ugięciomierza. Sprawdzić czy są oznakowane odpowiednio do ich pozycji na belce np. od 1 (czujnik w osi płyty) do 7 (w wypadku siedmiu czujników ugięć).
- 4.3. Czujniki ugięć umieścić na kolumnie kalibracyjnej i oznakować ich poziomo literami od A do G (w wypadku siedmiu czujników ugięć). Poziom najwyższy powinien być oznaczony literą A.
- 4.4. Kolumnę kalibracyjną ustawić w pozycji pionowej. Umieścić ją możliwie najbliżej płyty naciskowej, w miejscu pozwalającym uzyskać ugięcie maksymalne rzędu 250 do 600  $\mu\text{m}$  pod obciążeniem 50 kN. Zaznaczyć miejsce ustawienia kolumny, tak by można ją było ponownie ustawić dokładnie w tym samym punkcie.
- 4.5. Uruchomić ugięciomierz i wykonać, w celu rozgrzania odbojników i przygotowania punktu badawczego, sekwencję dziesięciu zrzutów do momentu, w którym rejestrowane ugięcia i obciążenia będą niemal jednakowe. Ugięcia w tej sekwencji dziesięciu zrzutów nie powinny wykazywać stałego trendu rosnącego lub malejącego. Jeżeli dane z etapu rozgrzewania urządzenia wskazują na np. stałe zagęszczanie podłoża lub jeżeli nie można osiągnąć wymaganego poziomu ugięcia, to FWD należy przestawić na inną nawierzchnię.
- 4.6. Opuścić płytę naciskową. Podczas próby płyty nie podnosić, nie przemieszczać FWD. Kolumnę mocno docisnąć do nawierzchni .
- 4.7. Wysokość zrzutu i masę należy dobrać tak, by uzyskać zadany poziom obciążenia. Wykonać dwa zrzuty przygotowawcze, bez rejestrowania danych, a następnie wykonać 10 zrzutów, dla których będą rejestrowane wartości obciążeń i ugięć. W analizie wykorzystanych będzie dziesięć ostatnich zrzutów. Podczas próby nie podnosić płyty naciskowej FWD.

## 5. Analiza

- 5.1. Metodą interpolacji liniowej znormalizować wszystkie ugięcia do poziomu zakładanego obciążenia (równanie 8.1).
- 5.2. Obliczyć średnią (równanie 8.2) wszystkich znormalizowanych ugięć ze wszystkich zrzutów i wszystkich czujników ugięć. Obliczyć przedział maksimum-minimum (równanie 8.3) wszystkich znormalizowanych ugięć dla każdego z czujników, dla wszystkich zrzutów. Obliczony zakres ugięć nie powinien być większy niż 4  $\mu\text{m}$  przy prawidłowo działającym systemie i starannie przeprowadzonej próbie. Jeżeli przedział ugięć przekracza 4  $\mu\text{m}$ , to kalibrację należy powtórzyć.
- 5.3. Obliczyć średnie ugięcie każdego czujnika ugięć w serii 10 zrzutów (równanie 8.4). Dla każdego czujnika ugięć obliczyć współczynnik kalibracyjny, który jest stosunkiem średniej wszystkich znormalizowanych ugięć do średniej z danego czujnika ugięć (równanie 8.5).
- 5.4. Obliczony współczynnik kalibracyjny od 0,995 do 1,005 włącznie uważa się za równy 1,000 i nie jest wymagana regulacja.



- 5.5. Jeżeli współczynnik kalibracyjny dla przynajmniej jednego czujnika nie mieści się w przedziale od 0,995 do 1,005, to czujniki ugięć należy umieścić na pozostałych poziomach kolumny kalibracyjnej i powtórzyć proces kalibracji. Jeżeli przyczyną wykraczania wartości współczynnika kalibracyjnego poza wskazany powyżej przedział jest położenie czujnika ugięć w kolumnie, to należy sprawdzić połączenia kolumny, a następnie powtórzyć próbę. W przeciwnym razie należy skorygować bieżące współczynniki kalibracyjne czujników ugięć, używając obliczonych współczynników kalibracyjnych. Współczynniki kalibracyjne mniejsze niż 0,98 i większe niż 1,02 sygnalizują uszkodzenie czujnika ugięć – należy go wymienić lub naprawić.

## 6. Symbole

|                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| $i$               | = | Etykieta zrzutu   |
| $j$               | = | Etykieta czujnika ugięć   |
| NK                | = | Liczba zrzutów (= 10)   |
| NG                | = | Liczba czujników ugięć  |
| $F_i$             | = | Wielkość obciążenia w zrzucie $i$ (kN)  |
| $u_{ij}$          | = | Ugięcie zmierzone przez czujnik ugięć $j$ w zrzucie $i$                                       |
| $d_{ij}$          | = | Znormalizowane ugięcie zmierzone przez czujnik ugięć $j$ w zrzucie $i$                        |
| $d_j$             | = | Średnia znormalizowanych ugięć zmierzonych przez czujnik ugięć $j$ w NK zrzutach              |
| $d_{\text{mean}}$ | = | Średnia znormalizowanych ugięć w NK zrzutach dla NG czujników ugięć                           |
| $rd_j$            | = | Maksymalny przedział znormalizowanych ugięć zmierzonych przez czujnik ugięć $j$ w NK zrzutach |
| $R_j$             | = | Stosunek średnich znormalizowanych ugięć  |

## 7. Równania

- 7.1. Normalizacja wszystkich ugięć do poziomu zakładanego obciążenia:

$$d_{ij} = \frac{F_{\text{ref}}}{F_i} \cdot u_{ij}$$

- 7.2. Obliczenie średniej wszystkich znormalizowanych ugięć:

$$d_{\text{mean}} = \frac{\sum_{i=1}^{\text{NK}} \sum_{j=1}^{\text{NG}} d_{ij}}{\text{NK} \cdot \text{NG}}$$

- 7.3. Obliczenie maksymalnego zakresu znormalizowanych ugięć dla poszczególnych

$$rd_j = \text{Maximum} (d_{1j} \dots d_{\text{NK}j}) - \text{Minimum} (d_{1j} \dots d_{\text{NK}j})$$

czujników ugięć:

$$d_j = \frac{\sum_{i=1}^{\text{NK}} d_{ij}}{\text{NK}}$$

7.4. Obliczenie średniego ugięcia dla poszczególnych czujników ugięć:

7.5. Obliczenie stosunku średnich:

$$R_j = \frac{d_{\text{mean}}}{d_j}$$

## 8. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać co najmniej:

- Dane arkusza kalibracyjnego
- Wyniki pomiarów
- Wyniki analizy

# **Protokół U4-2005**

## **Kalibracja dystansomierza**

NINIEJSZY PROTOKÓŁ ZOSTAŁ WYDANY POD STAŁYM OZNACZENIEM „PROTOKÓŁ U4”. LICZBA ZNAJDUJĄCA SIĘ BEZPOŚREDNIO ZA OZNACZENIEM WSKAZUJE ROK WPROWADZENIA PROTOKOŁU W ŻYCIĘ.

### **1. Zakres**

Niniejszy protokół przedstawia sposób kalibracji dystansomierza FWD.

### **2. Dokumenty związane**

Brak.

### **3. Znaczenie i stosowanie**

- 3.1. Kalibracja dystansomierza FWD wykonuje się w celu upewnienia się, że porównanie z innymi danymi z terenu, np. z wynikami badań georadarem, będzie mogło się odbyć z odpowiednią dokładnością.
- 3.2. Niniejszy protokół musi być stosowany z częstotliwością wskazaną w Planie Kalibracji 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. Użytkownik FWD powinien przechowywać dokumentację kalibrowania przeprowadzonego według tego protokołu.

### **4. Przyrządy**

- Dystansomierz FWD
- Przymiar taśmowy o długości 25 m lub koło pomiarowe o względnej dokładności co najmniej 0,1%.

### **5. Przygotowanie**

- 5.1. Wytypować mało uczęszczany odcinek drogi o gładkiej, prostej i równej nawierzchni długości co najmniej 1000 m. Zaznaczyć początek odcinka testowego, najlepiej na nawierzchni i na wskaźniku w jej pobliżu.
- 5.2. Za pomocą wykalibrowanego, wzorcowego przyrządu do pomiaru odległości wyznaczyć odcinek o długości co najmniej 1000 m. Zaznaczyć koniec odcinka testowego, najlepiej na nawierzchni i na wskaźniku w jej pobliżu.

## **6. Procedura**

- 6.1. Do arkusza kalibracji należy wpisać poniższe dane:
  - Użytkownik FWD
  - Numer rejestracyjny samochodu lub przyczepy z FWD
  - Producent FWD (w wypadku dystansomierza zamontowanego na przyczepie)
  - Typ/numer seryjny/numer identyfikacyjny FWD (w wypadku dystansomierza zamontowanego na przyczepie)
  - Obecne współczynniki kalibracyjne dystansomierza FWD
  - Typ i wielkość opon
  - Ciśnienie w oponach
  - Nazwisko osoby kalibrującej
  - Miejsce kalibracji
  - Data ostatniej kalibracji dystansomierza
  - Data kalibracji dystansomierza
- 6.2. Sprawdzić, w razie potrzeby wyregulować, i zapisać ciśnienie w każdym z kół samochodu lub przyczepy FWD. Ciśnienie w oponach powinno być takie same jak normalnie stosowane w zwykłych testach FWD.
- 6.3. Na nadwoziu samochodu umieścić (nakleić) znak, który będzie punktem odniesienia przy ustalaniu pozycji pojazdu w punktach początkowym i końcowym odcinka testu kalibracji.
- 6.4. Samochodem FWD dojechać do punktu zerowego odcinka testowego. Samochód ustawić dokładnie w punkcie początkowym. Dystansomierz wyzerować. Rozpocząć jazdę (delikatnie przyspieszając) z prędkością nie przekraczającą 15 km/h.
- 6.5. Na końcu odcinka testowego zmniejszyć prędkość, łagodnie hamując, i przejechać koniec odcinka z prędkością parkingową. Zanotować wskazanie dystansomierza, gdy znak na nadwoziu samochodu FWD znajdzie się w jednej linii ze znakiem wskazującym koniec odcinka testowego. Po minięciu znaku końcowego pojazdu nie wolno cofać bez odpowiedniego zarejestrowania wskazania dystansomierza. W razie cofnięcia pojazdu, próbę powtórzyć.
- 6.6. Odczyt z próby opisanej w poprzednim punkcie oznaczyć jako „próba 1”. Powtórzyć opisaną próbę i oznaczyć ją jako „próba 2”.

## **7. Analiza**

- 7.1. Korzystając z danych z próby 1 obliczyć współczynnika kalibracyjny (równanie 9.1). Obliczenie powtórzyć dla danych z próby 2. Jeżeli różnica wyników z obu prób nie jest większa niż 0,003 to nie ma potrzeby wykonywania trzeciej próby. Obliczyć średnią.
- 7.2. W wypadku przeprowadzenia trzech prób należy obliczyć średnią i odchylenie standardowe wszystkich trzech wyników (równania 9.2 i 9.3). Jeżeli odchylenie standardowe jest większe niż 0,003 to cały test należy powtórzyć.

7.3. Obliczoną średnią należy uznać za nowy współczynnik kalibracyjny dystansomierza FWD.

## 8. Symbole

|            |   |   |
|------------|---|---|
| $m$        | = | Etykieta próby  |
| $NT$       | = | Liczba prób (=2 lub 3)  |
| $L_{ref}$  | = | Wzorcowa odległość odcinka testowego (m)                                    |
| $L_m$      | = | Długość odcinka testowego zmierzona przez dystansomierz FWD w próbie        |
| $m$ (m)    |   |   |
| $R_m$      | = | Współczynnik kalibracyjny dystansomierza FWD obliczony z danych z próby $m$ |
| $R_{mean}$ | = | Nowy współczynnik kalibracyjny dystansomierza FWD                           |
| $sT$       | = | Odchylenie standardowe współczynnika kalibracyjny FWD dla $NT$ prób         |

## 9. Równania

9.1. Obliczenie współczynnika kalibracyjnego:

$$R_m = \frac{L_{ref}}{L_m}$$

9.2. Obliczenie średniej współczynników kalibracyjnego dystansomierza FWD z trzech prób:

$$R_{mean} = \frac{\sum_{m=1}^{NT} R_m}{NT}$$

9.3. Obliczenie odchylenia standardowego współczynników kalibracyjnych dystansomierza FWD z trzech prób:

$$sT = \sqrt{\frac{NT \cdot \sum_{m=1}^{NT} R_m^2 - \left( \sum_{m=1}^{NT} R_m \right)^2}{NT \cdot (NT - 1)}}$$

## 10. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać co najmniej:

- Dane arkusza kalibracyjnego
- Wyniki pomiarów
- Wyniki analizy