

Załącznik F1

Procedura badań kontrolnych ugięciomierza FWD na odcinku testowym

Warszawa, maj 2019

Niniejsze opracowanie stanowi załącznik do dokumentu głównego:

**DIAGNOSTYKA STANU NAWIERZCHNI
I WYBRANYCH ELEMENTÓW KORPUSU DROGI**
Wytyczne stosowania

W załącznikach zamieszczono m.in.: szczegółowe zasady realizacji pomiarów, instrukcje dotyczące oceny i klasyfikacji poszczególnych parametrów, zasady wizualizacji i analizy wyników diagnostycznych, instrukcje wykonywania pomiarów, procedury przedsezonowych badań porównawczych, procedury badań kontrolnych na własnym odcinku testowym, katalogi uszkodzeń nawierzchni oraz elementów korpusu drogi

Dokumenty systemu DSN zostały opracowane przez Zespół Autorski pracowników
Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad

Wszelkie prawa zastrzeżone

SPIS TREŚCI

1. Zasada i zastosowanie procedury	5
2. Wykonanie badań	5
3. Analiza wyników — wariant I	6
3.1. Symbole	7
3.2. Równania	7
4. Analiza wyników — wariant II	7
5. Sprawozdanie	8
6. Przykład tabeli i wykresów z analizą	8

1. Zasada i zastosowanie procedury

Procedura została opracowana na podstawie [1] oraz [29], Załącznik nr 3 Procedury kalibracyjne dla użytkowników ugięciomierzy, Protokół U2-2005 Weryfikacja powtarzalności 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. Odchylenie standardowe obciążenia i znormalizowane ugięcia powinny być ze sobą zgodne w podanych granicach.

Jeżeli wyniki nie spełniają wymagań to próbę należy powtórzyć. Przypadki stałego braku zgodności dyskwalifikują dane zebrane przez badane urządzenie. Badanie należy wykonać w trzech różnych punktach.

Użytkownik FWD powinien prowadzić dokumentację czynności weryfikacyjnych wykonanych według tej procedury.

2. Wykonanie badań

W celu uzyskania najbardziej miarodajnych wyników badań, należy przestrzegać następujących zasad:

1. Wpisać do arkusza kalibracji (tabela 2.1) następujące dane:
 - a) użytkownika FWD,
 - b) producenta FWD,
 - c) typ / numer seryjny / numer identyfikacyjny FWD,
 - d) numery seryjne czujników ugięć,
 - g) aktualne współczynniki kalibracji czujników ugięć,
 - j) datę i godzinę ostatniej kalibracji,
 - h) dane osoby wykonującej kalibrację,
 - i) miejsce wykonania kalibracji,
 - k) datę i godzinę kalibracji.
2. Umieścić ugięciomierz FWD na równej, nośnej nawierzchni asfaltowej bez widocznych pęknięć, pozwalającej uzyskać ugięcie 250–600 μm w środku obciążenia przy założonym poziomie obciążenia.
3. Uruchomić ugięciomierz i wykonać, w celu rozgrzania odbojników i przygotowania punktu badawczego, sekwencję 10 zrzutów do momentu, w którym rejestrowane ugięcia i obciążenia będą niemal jednakowe. Ugięcia w tej sekwencji 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. Dobrać tak wysokość zrzutu i masę, aby uzyskać zadany poziom obciążenia. Wykonać 2 zrzuty przygotowawcze, bez rejestrowania danych, a następnie wykonać 10 zrzutów, dla których będą rejestrowane wartości obciążeń i ugięć. W analizie będzie wykorzystanych 10 ostatnich zrzutów. Podczas próby nie podnosić płyty naciskowej FWD. Należy wykonać trzy serie zrzutów, każdą w innym punkcie.

Tabela 2.1. Arkusz kalibracji wg protokołu U2

Użytkownik		Producent	
Typ	Numer seryjny	Numer identyfikacyjny	
Numery seryjne czujników ugięć	Aktualne współczynniki kalibracji czujników ugięć		
Data i godzina ostatniej kalibracji			
Dane osoby wykonującej kalibrację	Miejsce wykonania kalibracji	Data i godzina kalibracji	

3. Analiza wyników – wariant I

Zasady weryfikacji powtarzalności FWD według Protokołu U2-2005:

1. Metodą interpolacji liniowej znormalizować wszystkie ugięcia do poziomu zakładanego obciążenia, które nie odbiega od obciążenia rzeczywistego o więcej niż 10% (równanie 3.1). Określić średnie ugięcie każdego czujnika ugięcia w serii 10 zrzutów (równanie 3.2).
2. Określić odchylenie standardowe wszystkich obciążeń (równanie 3.3) oraz odchylenie standardowe wszystkich znormalizowanych ugięć każdego z czujników ugięć (równanie 3.4).
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.
4. Odchylenie standardowe znormalizowanych ugięć, zarejestrowane w serii 10 zrzutów, nie powinno być większe niż 2 μm w przypadku, gdy średnia znormalizowanych ugięć nie jest większa od 40 μm . W przypadku, gdy średnia znormalizowanych wartości jest większa od 40 μm odchylenie standardowe znormalizowanych ugięć zarejestrowanych w serii 10 zrzutów nie powinno być większe niż suma 1,5 μm 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.

3.1. Symbole

Objaśnienia symboli i indeksów wykorzystywanych w niniejszej procedurze:

- i — etykieta zrzutu,
- j — etykieta czujnika ugięć,
- NK — liczba zrzutów (wynosi 10 w badaniu powtarzalności),
- F_i — rzeczywiste obciążenie w zrzucie i , w kN,
- F_{ref} — zakładane obciążenie, w kN,
- sF — odchylenie standardowe obciążeń w FWD,
- u_{ij} — ugięcie zmierzone w zrzucie i przez czujnik ugięć j ;
- d_{ij} — ugięcie znormalizowane, obliczone w zrzucie i dla czujnika ugięć j ,
- 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.

3.2. Równania

Normalizacja ugięć do poziomu zakładanego obciążenia:

$$d_{ij} = \frac{F_{ref}}{F_i} \cdot u_{ij} \quad (3.1)$$

Obliczenie średniej arytmetycznej znormalizowanych ugięć dla poszczególnych czujników ugięć:

$$d_j = \frac{\sum_{i=1}^{NK} d_{ij}}{NK} \quad (3.2)$$

Obliczenie odchylenia standardowego obciążeń:

$$sF_j = \sqrt{\frac{NK \cdot \sum_{i=1}^{NK} F_{ij}^2 - \left(\sum_{i=1}^{NK} F_{ij} \right)^2}{NK (NK - 1)}} \quad (3.3)$$

Obliczenie odchylenia standardowego znormalizowanych ugięć:

$$sd_j = \sqrt{\frac{NK \cdot \sum_{i=1}^{NK} d_{ij}^2 - \left(\sum_{i=1}^{NK} d_{ij} \right)^2}{NK (NK - 1)}} \quad (3.4)$$

4. Analiza wyników — wariant II

Zasady oceny wyników ugięć na podstawie wskaźnika z (z-score):

1. Obliczyć średnią wartości ugięć dla każdego punktu pomiarowego danego testu.
2. Obliczyć również wartość średnią dla danego punktu ze wszystkich badań testowych w danym sezonie pomiarowym łącznie z analizowanym badaniem.

3. Następnie określić odchylenie standardowe dla wartości średnich ugięć dla określonego punktu, wykonanych w danym sezonie pomiarowym łącznie z analizowanym badaniem.

Ocenę wyników badań, pod kątem ich odtwarzalności, należy przeprowadzić w oparciu o wartość wskaźnika z (z-score), obliczoną wg wzoru:

$$z = \frac{|U_i - U_{\text{sr}}|}{\sigma}, \quad (4.1)$$

w którym:

- U_i — wartość średnia ugięcia w danym punkcie pomiarowym danego testu,
- U_{sr} — wartość średnia wszystkich ugięć w danym punkcie, wykonanych w danym sezonie pomiarowym,
- σ — odchylenie standardowe dla wartości średnich wszystkich ugięć w danym punkcie, wykonanych w danym sezonie pomiarowym, łącznie z analizowanym badaniem.

Kryteria oceny są następujące:

- $z < 1$ — wynik bardzo dobry,
- $1 < z \leq 2$ — wynik dobry,
- $z > 2$ — wynik niezadowalający.

Jeżeli wyniki nie spełnią wymagań, to próbę należy powtórzyć. W przypadku stałej niezgodności należy znaleźć i wyeliminować przyczynę niezgodności.

5. Sprawozdanie

Sprawozdanie z przeprowadzonych badań powinno zawierać m.in. następujące elementy:

1. listę uczestników badań porównawczych,
2. warunki temperaturowe,
3. dane arkusza kalibracji,
4. wyniki pomiarów,
5. wyniki analizy powtarzalności,
6. wyniki analizy odtwarzalności,
7. współczynniki harmonizacji,
8. wnioski i rekomendacje.

6. Przykład tabeli i wykresów z analizą

Przykładowe zestawienie wyników, uzyskanych w trakcie badań kontrolnych ugięciomierza FWD, przedstawiono w tabeli 6.1.

Jeżeli dysponujemy serią badań ugięć w tych samych punktach pomiarowych z poprzednich sezonów pomiarowych, to możemy je również wykorzystać do analizy wskaźnika z-score (wykresy w tabeli 6.1).

Tabela 6.1. Przykład analizy ugięć na odcinku testowym (punktach pomiarowych) za pomocą wskaźnika z-score

Data	Temp, °C	Punkty sprawdzenia ugięć nawierzchni					
		Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4	Punkt 5	Punkt 6
Ugięcia, mm							
12-04-2011	16	0,190	0,280	0,236	0,314	0,250	0,342
19-04-2011	23	0,210	0,309	0,245	0,339	0,285	0,318
31-05-2012	17 (1 Z)	0,254	0,340	0,301	0,381	0,317	0,398
31-05-2012	17 (3 Z)	0,248	0,327	0,294	0,355	0,314	0,365
19-04-2013	25	0,207	0,321	0,262	0,332	0,274	0,313
07-01-2014	8	0,162	0,244	0,194	0,284	0,208	0,350
śr		0,21	0,30	0,26	0,33	0,27	0,35
S		0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03
z-score							
12-04-2011	16	-0,63	-0,66	-0,49	-0,60	-0,60	-0,18
19-04-2011	23	-0,05	0,15	-0,26	0,14	0,25	-0,94
31-05-2012	17 (1 Z)	-1,21	1,03	1,15	1,40	1,03	1,60
31-05-2012	17 (3 Z)	1,04	0,66	0,97	0,62	0,95	0,55
19-04-2013	25	-0,14	0,49	0,17	-0,06	-0,02	-1,10
07-01-2014	8	-1,43	-1,67	-1,55	-1,50	-1,62	0,07

