

Załącznik A

Zasady realizacji pomiarów w ramach diagnostyki nawierzchni

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. Pomiary punktowe ugięć nawierzchni	5
1.1. Pojęcia podstawowe	5
1.2. Metoda pomiaru	5
1.2.1. Zasady ogólne	6
1.2.2. Zasady szczegółowe — instrukcja realizacji pomiarów	6
1.3. Sprzęt pomiarowy	6
1.4. Metoda przetwarzania wyników pomiarów	7
1.5. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych	9
2. Pomiary ciągle ugięć nawierzchni	10
2.1. Opis systemu pomiarowego	10
2.2. Zasady wykonywania pomiarów	12
2.3. Kalibracja ugięciomierza	13
2.4. Kontrola temperatury warstw asfaltowych	13
2.5. Kontrola własna pomiarów w ramach kampanii pomiarowej	15
2.6. Korekta zarejestrowanych ugięć	15
3. Pomiary równości podłużnej nawierzchni oraz uskoków płyt betonowych	16
3.1. Pojęcia podstawowe	16
3.2. Metoda pomiaru	16
3.2.1. Zasady ogólne	17
3.2.2. Zasady szczegółowe — instrukcja realizacji pomiarów	17
3.3. Sprzęt pomiarowy	18
3.4. Metoda przetwarzania wyników pomiarów	20
3.5. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych	20
4. Pomiary równości poprzecznej nawierzchni	22
4.1. Pojęcia podstawowe	22
4.2. Metoda pomiaru	22
4.2.1. Zasady ogólne	22
4.2.2. Zasady szczegółowe — instrukcja realizacji pomiarów	23
4.3. Sprzęt pomiarowy	24
4.4. Metoda przetwarzania wyników pomiarów	24
4.5. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych	25
5. Pomiary makrotekstury nawierzchni	26
5.1. Pojęcia podstawowe	26
5.2. Metoda pomiaru	26
5.2.1. Zasady ogólne	26
5.2.2. Zasady szczegółowe — instrukcja realizacji pomiarów	27
5.3. Sprzęt pomiarowy	27
5.4. Metoda przetwarzania wyników pomiarów	27
5.5. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych	27

6. Pomiary punktowe właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni	28
6.1. Pojęcia podstawowe	28
6.2. Metoda pomiaru	28
6.2.1. Zasady ogólne	28
6.2.2. Zasady szczegółowe — instrukcja realizacji pomiarów	28
6.3. Sprzęt pomiarowy	29
6.4. Metoda przetwarzania wyników pomiarów	30
6.5. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych	30
7. Pomiary ciągłe właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni	31
7.1. Pojęcia podstawowe	31
7.2. Metoda pomiaru	31
7.2.1. Zasady ogólne	31
7.2.2. Zasady szczegółowe — instrukcja realizacji pomiarów	32
7.3. Sprzęt pomiarowy	32
7.4. Metoda przetwarzania wyników pomiarowych	33
7.5. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych	33
8. Automatyczna ocena uszkodzeń nawierzchni (stan spękań, stan powierzchni) ..	34
8.1. Pojęcia podstawowe	34
8.2. Metoda automatycznej oceny nawierzchni	34
8.3. Inwentaryzacja uszkodzeń/napraw nawierzchni asfaltowych	36
8.3.1. Założenia	36
8.3.2. Opis uszkodzeń/napraw nawierzchni asfaltowych	36
8.3.3. Przebieg inwentaryzacji uszkodzeń nawierzchni asfaltowych	37
8.4. Inwentaryzacja uszkodzeń/napraw nawierzchni betonowych	38
8.4.1. Założenia	38
8.4.2. Uszkodzenia nawierzchni betonowych na odcinku o długości 10 m	39
8.4.3. Przebieg inwentaryzacji uszkodzeń nawierzchni betonowych	42
8.5. Kontrola własna pomiarów w ramach kampanii pomiarowej	43
9. Pomiary właściwości oznakowania poziomego nawierzchni	44
9.1. Pojęcia podstawowe	44
9.2. Metoda pomiaru	44
9.2.1. Zasady ogólne	44
9.2.2. Zasady szczegółowe — instrukcja realizacji pomiarów	45
9.3. Sprzęt pomiarowy	45
9.4. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych	46
10. Pomiary konstrukcji nawierzchni drogowych metodą georadarową	48
10.1. Pojęcia podstawowe	48
10.2. Metoda pomiaru	48
10.2.1. Zasady ogólne	49
10.2.2. Zasady szczegółowe — instrukcja realizacji pomiarów	49
10.3. Sprzęt pomiarowy	50
10.4. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych	51

1. Pomiary punktowe ugięć nawierzchni

1.1. Pojęcia podstawowe

Nośność nawierzchni — zdolność do przenoszenia obciążeń od ruchu drogowego bez wywołania nadmiernych ugięć nawierzchni, powodujących trwałe odkształcenia strukturalne lub inicjację spękań warstw asfaltowych lub związanych spoiwem hydraulicznym.

Aparat FWD — ugięciomierz dynamiczny typu *Falling Weight Deflectometer*, w którym obciążenie testowe jest przekazywane na nawierzchnię w sposób uderowy, symulujący przejazd pojazdu ciężkiego.

Czasza ugięcia — wykres wyników ugięć nawierzchni zarejestrowanych w centrum oraz w określonych odległościach od osi działania obciążenia testowego.

Ugięcie standaryzowane — ugięcie maksymalne czaszy ugięcia (w osi obciążenia) sprowadzone do standardowych warunków nacisku 50 kN na kołowej powierzchni o średnicy 30 cm, przeliczone do temperatury 20°C, uwzględniające sezon i rodzaj materiału podbudowy.

Pomiar ugięć nawierzchni — ustalony sposób pomiaru ugięć nawierzchni pod znanym obciążeniem, z zachowaniem wymagań, wynikających z instrukcji obsługi urządzenia pomiarowego oraz odpowiednich procedur pomiarowych.

Temperatura warstw asfaltowych T (w °C) — temperatura pakietu warstw asfaltowych mierzona w połowie jego grubości, w odwiercie o średnicy około 10 mm, wypełnionym olejem lub gliceryną, zgodnie z instrukcją wykonywania pomiarów.

1.2. Metoda pomiaru

Zasady zawarte w niniejszym punkcie dotyczą prowadzenia prac związanych z badaniami i oceną nośności nawierzchni drogowych podatnych i półsztywnych metodą pomiaru ugięć sprężystych urządzeniem typu FWD (Dynatest lub KUAB).

Badanie polega na wykonaniu zrzutu obciążnika o ustalonej masie na płytę stalową, która służy do rozłożenia punkowego impulsu siłowego na powierzchnię kołową o średnicy $D = 300$ mm. Do wykonania powyższych czynności służy sterowany elektronicznie układ hydrauliczny. Procesor i komputer jest zespołem kontrolującym prawidłowość przebiegu procesu pomiarowego i zapisu danych z czujników przemieszczeń, siły, temperatur i dystansu. W zespole generatora indukowany jest impuls siły, przekazywany na badaną nawierzchnię za pośrednictwem płyty naciskowej. W wyniku działania obciążenia konstrukcja nawierzchni oraz podłoże ulegają odkształceniu sprężystemu na pewnym obszarze, którego wielkość jest zależna od wielkości zastosowanego obciążenia oraz sztywności badanej konstrukcji.

Pomiar wykonywany jest punktowo przy zatrzymanym pojeździe holującym. Na nawierzchni ustawiana jest płyta naciskowa z 1 geofonem oraz co najmniej z 5 geofonami znajdującymi się na belce pomiarowej. Z określonej wysokości wykonywany jest zrzut obciążnika o ustalonej wcześniej masie i rejestrowana jest czasza ugięcia.

Podczas pomiarów rejestruje się dane o lokalizacji punktu pomiarowego (pikietaż drogi oraz współrzędne geograficzne).

1.2.1. Zasady ogólne

Do wykonywania pomiaru ugięć nawierzchni może być wykorzystane tylko urządzenie, które posiada aktualne świadectwo dopuszczenia do wykonywania pomiarów (SDWP). Dotyczy to zarówno zestawu pomiarowego FWD, jak i innej metody równoważnej.

Badania ugięć nawierzchni należy wykonywać nie rzadziej niż co 50 m.

W przypadku przeprowadzania oceny nośności opartej jedynie o ugięcie maksymalne w osi obciążenia lub podstawowe parametry kształtu czaszy (rozstaw geofonów i zarejestrowane wartości ugięć) dopuszcza się stosowanie innej wiarygodnej metody równoważnej, pod warunkiem, że dysponuje się sprawdzoną zależnością korelacyjną umożliwiającą przeliczenie wyników pomiarów ugięć na wartości uzyskiwane aparatem FWD.

Tabela 1.1. Wartości liczbowe do wymagań dla pomiaru ugięć nawierzchni

Lp.	Parametr	Jednostka	Wymagany zakres
1	Gęstość pomiarów	M	≤ 50
2	Rozdzielczość pojedynczego odczytu ugięcia	μm	$= 1$
3	Obciążenie pomiarowe	kN	45–55
4	Temperatura warstw asfaltowych	$^{\circ}\text{C}$	5–25

1.2.2. Zasady szczegółowe – instrukcja realizacji pomiarów

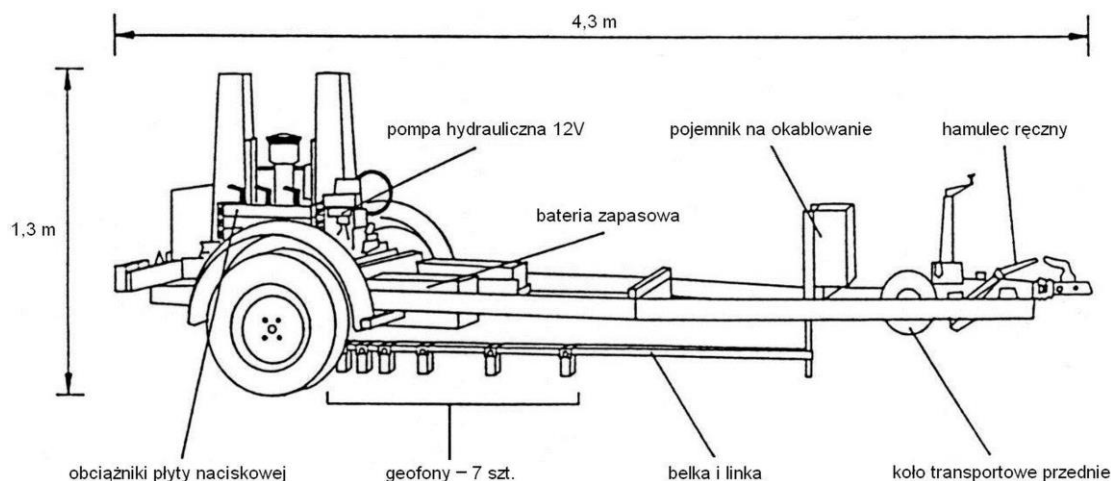
Zasady szczegółowe wykonywania pomiarów z wykorzystaniem zestawów FWD zostały zamieszczone w Załączniku D1.

Opis struktury plików z niezbędnymi danymi do przetwarzania wyników pomiarów ugięć nawierzchni został szczegółowo opisany w Załączniku H.

1.3. Sprzęt pomiarowy

Do wykonywania badań ugięć nawierzchni należy stosować zestaw pomiarowy składający się z przyczepy pomiarowej FWD oraz samochodu holującego. Dopuszcza się stosowanie innego równoważnego, wiarygodnego sprzętu, jeśli dysponuje się sprawdzoną zależnością korelacyjną umożliwiającą przeliczenie wyników pomiarów na wartości uzyskiwane zestawem FWD.

Schemat przyczepy pomiarowej FWD przedstawiono na rys. 1.1.



Rys. 1.1. Schemat przyczepy pomiarowej FWD na przykładzie urządzenia firmy Dynatest

Geofony

Wielkości ugięć nawierzchni są mierzone za pomocą co najmniej sześciu czujników przemieszczeń (geofonów), ustawionych w ściśle określonych odległościach od osi działania siły obciążającej.

Przebiegi procesów obciążenia i odkształcenia się konstrukcji są rejestrowane jednocześnie, impuls obciążenia trwa 20–60 ms., a geofony są rozstawione z reguły co 300 mm, licząc od geofonu centralnego do 1500 mm. Zalecane rozmieszczenie czujników jest następujące: 0 mm, 300 mm, 600 mm, 900 mm, 1200 mm i 1500 mm od punktu obciążenia.

Czujnik siły

1. Minimalna rozdzielczość odczytu: 0,1 kN.
2. Minimalna dokładność pomiaru: 0,5% pełnego zakresu skali lub 2% odczytu.
3. Minimalna powtarzalność pomiaru: $\pm 0,1\%$ pełnego zakresu skali.
4. Minimalna powtarzalność pomiaru: $\pm 2 \mu\text{m} + 1\%$ odczytu.
5. Maksymalny zakres pomiaru: 2000 μm .
6. Minimalna rozdzielczość odczytu: 1 μm .

Pomiar temperatury warstwy asfaltowej

1. Minimalna rozdzielczość odczytu: $0,5^{\circ}\text{C}$.
2. Minimalna dokładność pomiaru termometru: $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ w zakresie od -10°C do $+50^{\circ}\text{C}$.

Pomiar odległości

1. Minimalna rozdzielczość odczytu: 1,0 m.
2. Minimalna dokładność pomiaru: $\pm 0,5\%$ mierzonego dystansu.

Sprzęt dodatkowy

1. Sonda temperaturowa uniwersalna o długości około 15 cm.
2. Wiertarka udarowa z wiertłem — $\varnothing 10 \text{ mm}$.
3. Pojemnik z wodą — 1 l.

1.4. Metoda przetwarzania wyników pomiarów

W celu dokładniejszego porównania wartości ugięć nawierzchni powinny być normalizowane, tj. sprowadzane do jednakowego poziomu odpowiadającego warunkom standardowym.

Ugięcie standaryzowane jest to ugięcie maksymalne, sprowadzone do standardowych warunków nacisku 50 kN na kołowej powierzchni o średnicy 300 mm, przy temperaturze warstw asfaltowych 20°C , uwzględniające sezon i rodzaj materiału podbudowy [4].

$$u_s = D_0 \cdot \frac{50}{F} \cdot f_T \cdot f_S \cdot f_P \quad (1.1)$$

w którym:

u_s – standaryzowana wartość pojedynczego pomiaru ugięcia w punkcie centralnym, w μm

D_0 – maksymalne ugięcie zarejestrowane, w μm ,

F – obciążenie zarejestrowane, w kN,

f_T – współczynnik temperaturowy,

f_S – współczynnik sezonowości,

f_P – współczynnik podbudowy [5].

Normalizacja ugięć ze względu na temperaturę warstw asfaltowych

Współczynnik temperaturowy f_T koryguje wyniki pomiarów ugięć sprężystych wykonanych w różnej temperaturze warstw asfaltowych i sprowadza je do wartości odpowiadającej temperaturze miarodajnej, czyli średniej temperaturze tych warstw w okresie wiosennym. Współczynnik temperaturowy f_T określa się ze wzoru:

$$f_T = 1 + 0,02(20 - T), \quad (1.2)$$

w którym:

T — temperatura warstw asfaltowych podczas badania FWD, w °C.

Normalizacja ugięć ze względu na okres wykonywania pomiarów ugięć

Współczynnik sezonowości f_s , zależny jest od okresu przeprowadzania pomiarów. Normalizacja polega na sprowadzeniu wartości ugięć pomierzonych w różnych okresach w ciągu roku do standardowych warunków wykonywania pomiarów w jednym okresie roku, wyznaczonym doświadczalnie dla danej strefy klimatycznej. Wartości współczynnika f_s zamieszczono w tabeli 1.2.

Normalizacja ugięć ze względu na rodzaj podbudowy

Wartości współczynnika f_p zamieszczono w tabeli 1.3.

Większą wartość tego współczynnika zaleca się przyjmować, gdy ugięcia są mniejsze, a podbudowa sztywniejsza. Dla podbudowy związanej spoiwem hydraulicznym, która ulega znacznym spękanom zmęczeniowym, współczynnik f_p jest bliski jedności.

Tabela 1.2. Wartości współczynnika sezonowości w zależności od okresu wykonywania pomiarów

Lp.	Miesiąc wykonywania pomiarów FWD	Współczynnik f_s
1	Marzec	1,00
2	Kwiecień	1,04
3	Maj	1,08
4	Czerwiec	1,12
5	Lipiec	1,15
6	Sierpień	1,17
7	Wrzesień	1,20
8	Październik	1,22
9	Listopad	1,25
10	Grudzień	1,28

Tabela 1.3. Wartości współczynnika podbudowy w zależności od rodzaju nawierzchni

Lp.	Rodzaj nawierzchni	Współczynnik f_p
1	Nawierzchnia podatna	1,0
2	Nawierzchnia z podbudową z kruszywa lub gruntu stabilizowanego cementem	1,0–1,1
3	Nawierzchnia z podbudową z kruszywa związanego	1,1–1,2
4	Nawierzchnia z podbudową z betonu cementowego	1,2–1,4

1.5. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych

Urządzenie FWD podlega następującym sprawdzeniom okresowym:

1. Kalibracji bezwzględnej wykonywanej u producenta (częstotliwość nie rzadziej, niż co 4 lata).
2. Badaniach porównawczych wykonywanych wg procedury COST 336 oraz procedury opisanej w Załączniku E1. Wynikiem przedsezonowych badań porównawczych jest otrzymanie świadectwa dopuszczenia do wykonywania pomiarów (SDWP) dla określonego zestawu.
3. Na własnym odcinku testowym (punktach pomiarowych) po przeprowadzonych przedsezonowych badaniach porównawczych oraz po zrealizowaniu całego zakresu pomiarowego zgodnie z Załącznikiem F1.

2. Pomiary ciągłe ugięć nawierzchni

W związku z brakiem w GDDKiA zasobów sprzętowych umożliwiających realizację ciągłego pomiaru ugięć nawierzchni opisane w tym fragmencie dokumentu urządzenie i zasady pomiaru zostały opracowane z wykorzystaniem doświadczeń zdobytych podczas zleceń tego typu badań przez Oddział GDDKiA w 2014 roku.

2.1. Opis systemu pomiarowego

Jednym z najnowocześniejszych narzędzi mogących zasilać bazy danych systemu DSN w aktualne dane o przybliżonej nośności nawierzchni jest mobilny ugięciomierz laserowy np. TSD (Traffic Speed Deflectometer). Badania ugięć z wykorzystaniem tego urządzenia przeprowadza się przy prędkościach dochodzących do 80 km/h, w warunkach normalnego ruchu drogowego, unikając przy tym zakłóceń i ograniczeń w poruszaniu się innych pojazdów oraz zagrożeń wypadkiem uczestników ruchu. Ze względu na swą specyfikę oraz wynikającą z niej efektywność systemu, przykładowe urządzenie dostosowane jest do wykonywania pomiarów na sieciach drogowych, gdzie podstawowym celem jest weryfikacja nośności oraz identyfikacja miejsc o obniżonej trwałości zmęczeniowej.



Rys. 2.1. Przykładowy ugięciomierz laserowy

System pomiarowy urządzenia jest wyposażony w zestaw instrumentów i rejestratorów zainstalowanych na izolowanej naczepie kontenerowej. Naczepa jest zamontowana na podwoziu z pojedynczą osią z kołami bliźniaczymi, obciążoną naciskiem 10 t. W naczepie zainstalowano zestaw pięciu czujników laserowych, rozstawionych w odpowiednich odległościach od osi prawego koła naczepy. Zestaw tych czujników jest zamontowany na specjalnej belce wyposażonej w system bezwładnościowy oraz serwomechanizm, pozwalający utrzymywać stałą pozycję czujników względem nawierzchni (rys. 2.2).



Rys. 2.2. Belka z czujnikami pomiarowymi

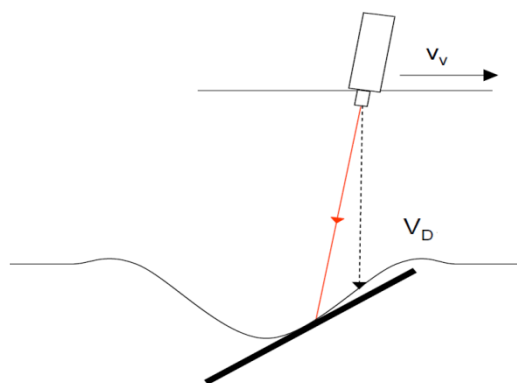
Trzy czujniki są zamontowane blisko tylnego koła naczepy, w odległościach: 0,10 m, 0,20 m i 0,30 m, kolejny — czwarty — w odległości 0,75 m. Pierwszy z czujników umieszczony jest pod takim kątem, aby wiązka oświetlacza laserowego kierowana była w punkt maksymalnego ugięcia nawierzchni. Ostatni czujnik, używany jako referencyjny, jest zainstalowany w odległości 3,6 m i około 3 m za osią napędową ciągnika. Taka pozycja czujnika umożliwia pomiar nawierzchni umownie uznanej jako nieobciążonej przez żadne koło, a uzyskane wyniki stanowią poziom odniesienia i korekty pozostałych czujników umieszczonych blisko prawego koła naczepy.

Pomiar ugięć polega na rejestracji prędkości pomiaru V_v oraz rzeczywistej prędkości ugięcia V_D (rys. 2.3).

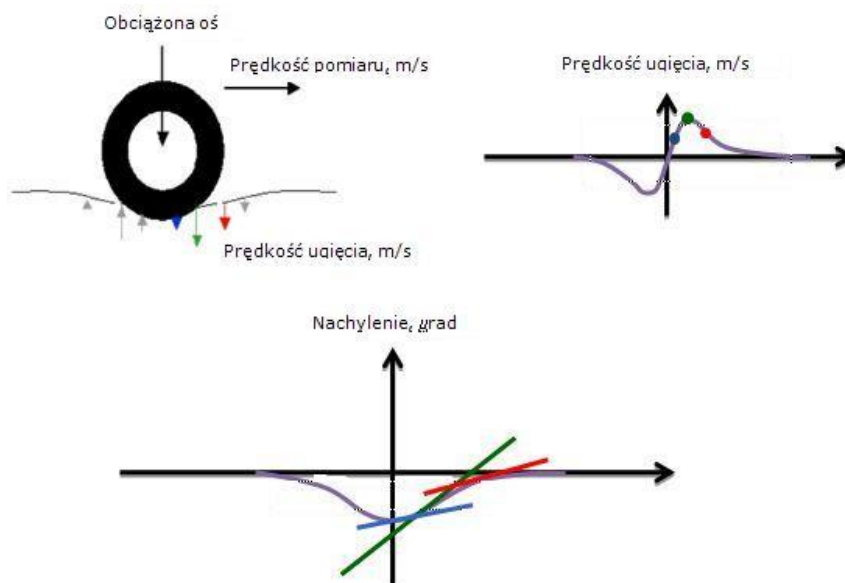
Na podstawie tych danych można określić nachylenie ugięcia wyrażone wzorem:

$$\text{nachylenie} = \frac{V_D}{V_v} \quad (2.1)$$

Obliczone dla każdego czujnika nachylenia służą do wyznaczenia czasu ugięcia i maksymalnych wartości ugięć na każdym z czujników (rys. 2.4). Teoretyczny model obliczeniowy wykorzystywany na etapie przetwarzania danych rejestrowanych przez TSD został omówiony przez konstruktorów urządzenia w pracy (Rasmussen, Aagaard, Baltzer, Krarup, 2008).

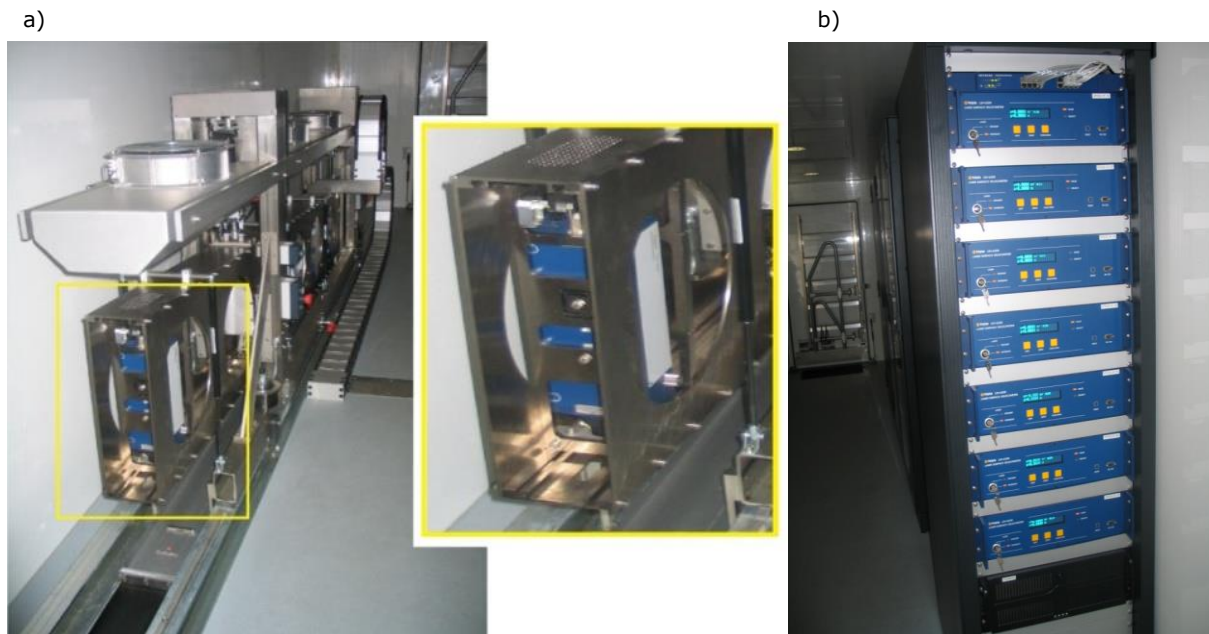


Rys. 2.3. Zasada pomiaru ugięcia



Rys. 2.4. Określenie czasu ugięcia (na dolnym rysunku czas ugięć „złożona” z trzech obliczonych nachyleń)

Każdy z czujników jest połączony z jednostką kontroli i wstępnego przetwarzania danych (rys. 2.5). Zestaw jednostek kontrolnych ma za zadanie monitorowanie pracy czujników laserowych oraz wstępne przetwarzanie pomiarów. W dalszym etapie procesu pomiarowego dane trafiają do głównego komputera pokładowego gdzie są zapisywane. Nad całością procesu pomiarowego czuwa operator, który w trakcie pomiaru ma możliwość weryfikacji i podglądu podstawowych danych funkcjonowania systemu pomiarowego.



Rys. 2.5. Belka pomiarowa:
a) z czujnikami laserowymi, b) jednostka kontroli

2.2. Zasady wykonywania pomiarów

W celu zapewnienia jakości uzyskanych danych, pomiary należy przeprowadzić zgodnie z następującymi zaleceniami oraz instrukcją użytkowania ugięciomierza:

1. Wykonanie kalibracji systemu pomiarowego, przed przystąpieniem do badań rutynowych, wg metody opisanej w odpowiedniej instrukcji.
2. Wszystkie podzespoły systemu pomiarowego muszą pracować w trybie WARMUP co najmniej 12 h przed pomiarem.
3. W trakcie pomiaru należy, w miarę możliwości, zapewnić jednakową prędkość pomiaru w przedziale 60–70 km/h.
4. Pomiary należy prowadzić na suchej nawierzchni.
5. Ponieważ pomiary wykonywane są w warunkach normalnego ruchu drogowego, nie ma konieczności zmiany organizacji ruchu, natomiast pojazd pomiarowy musi być oznakowany zgodnie z obowiązującymi przepisami.
6. W trakcie pomiaru zaleca się, aby temperatura warstw asfaltowych w połowie ich grubości wynosiła 5–25°C, natomiast optymalna temperatura warstw w trakcie pomiaru to 20°C.
7. W ramach kampanii pomiarowej zaleca się prowadzenie kontroli własnej pomiarów,
8. Podczas pomiarów należy rejestrować dane o lokalizacji punktu pomiarowego (pikietaż drogi oraz współrzędne geograficzne).
9. Eksport danych do plików maszynowych (pliki *.xls lub *.txt) należy wykonać z częstotliwością 10 m. Dane te, wraz z plikami pomiarowymi należy zarchiwizować na zewnętrznym dysku twardym, a pliki maszynowe przekazać do przetwarzania na dane elementarne.

2.3. Kalibracja ugięciomierza

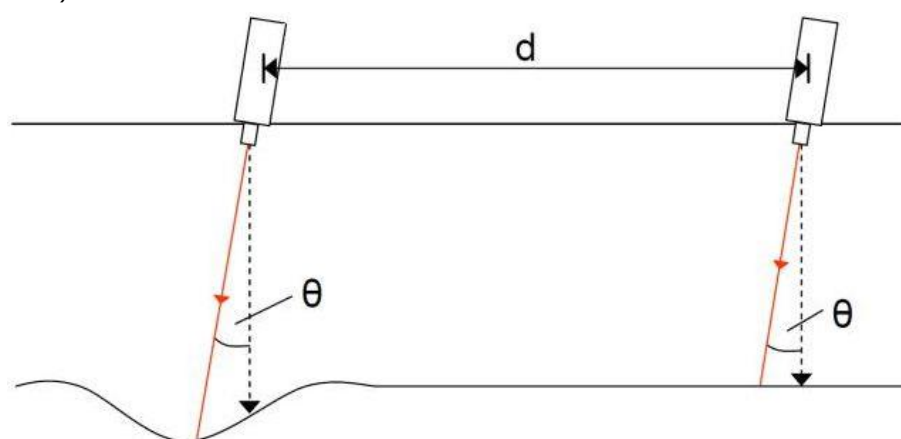
Urządzenie powinno podlegać regularnej kontroli i kalibracji. Kalibracja jest wykonywana średnio raz w miesiącu i prowadzona zgodnie z zaleceniami producenta. Procedura kalibracyjna może być prowadzona tak zwaną metodą z odciążeniem osi naczepy, bądź też metodą geometryczną (rys. 2.6.). Jako prostszą częściej stosuje się metodę geometryczną, która polega na weryfikacji kąta padania wiązki lasera pomiarowego względem czujnika referencyjnego.

W ramach kontroli kalibracji zaleca się testy ugięciomierza w warunkach terenowych. W tym celu należy przeprowadzić pomiary porównawcze z ugięciomierzem dynamicznym FWD na wytypowanych odcinkach testowych. Pomiary takie nie są konieczne, jeżeli średnia różnic korekty kątów jest mniejsza niż 20 μ rad.

a)



b)



Rys. 2.6. Metody kalibracji TSD:
a) z usunięciem obciążenia, b) geometryczna (schemat)

2.4. Kontrola temperatury warstw asfaltowych

Uzupełnieniem metodyki pomiarowej jest kontrola temperatury warstw asfaltowych w połowie ich grubości. Ponieważ metodyka pomiarowa nie przewiduje bezpośredniego pomiaru tej temperatury, natomiast automatycznie są mierzone temperatury powierzchni i powietrza, do wyznaczenia temperatury warstw asfaltowych w połowie ich grubości zastosowano zależność BEELS. Wartości temperatur obliczone wg schematu przedstawionego poniżej, należy zapisać w plikach elementarnych wraz z wartościami ugięć.

Przedstawiony poniżej model został opracowany w ramach programu LTPP Long-Term Pavement Performance (Lukanen, Stubstad, Briggs, 2000). W publikacji tej przedstawiono zaktualizowany model obliczeniowy BELLS, w którym najważniejszą zmianą było wprowadzenie średniej temperatury powietrza z dnia poprzedzającego pomiar, w miejsce średniej temperatury powietrza z 5 dni poprzedzających pomiar. W przypadku badań prowadzonych w Polsce, należy wykorzystać dane ze stacji meteorologicznych IMGW lub innych wiarygodnych źródeł.

Model BELLS powstał w oparciu o oryginalną pracę Herberta Southgate'a, przy czym zgodnie z podstawowymi parametrami metody Southgate'a wprowadzono do modelu kilka modyfikacji, których efektem był udoskonalony model oznaczony jako BELLS2. W celu przybliżenia kształtu funkcji rozgrzewania i schładzania nawierzchni funkcje sinusoidalne w modelu BELLS zostały zastąpione dwiema funkcjami sinusoidalnymi o cyklu 18-godzinnym. Aby uzyskać wersję modelu, która może być wykorzystywana w rutynowych pomiarach ugięć, dokonano korekty pomiarów temperatur o stan zacielenia. W ten sposób powstała zależność BELLS 3, umożliwiająca obliczenie temperatury pakietu warstw asfaltowych na zadanej głębokości, z uwzględnieniem efektu zacielenia powodowanego przez ugięciomierz:

$$T_d = 0,95 + 0,892 IR + [\log(d) - 1,25][- 0,448 IR + 0,621 (1-dniowa) + 1,83 \sin(h_{18} - 15,5)] + 0,042 IR \sin(h_{18} - 13,5), \quad (2.2)$$

w którym:

- T_d — temperatura nawierzchni na głębokości d , w °C;
- IR — temperatura zarejestrowana przez czujnik temperatury, w °C;
- \log — logarytm dziesiętny;
- d — głębokość, dla której obliczana jest temperatura, w mm;
- 1-dniowa — średnia temperatura powietrza dla dnia poprzedzającego dzień pomiarów;
- \sin — funkcja sinusoidalna dla 18-godzinnego systemu zegarowego, gdzie 2π radianów równa się 18-godzinnemu cyklowi;
- h_{18} — pora dnia w 24-godzinnym systemie zegarowym, lecz obliczona dla 18-godzinnego cyklu wzrostów i spadków temperatury asfaltobetonu, zgodnie z poniższymi uwagami.

W przypadku funkcji $\sin(h_{18} - 15,5)$ należy stosować tylko godziny od 11:00 do 05:00. Jeśli rzeczywisty czas nie mieści się w tym zakresie należy ją obliczyć tak jak dla godziny 11:00 ($\sin = -1$). Jeśli godzina wypada między północą, a 05:00 należy do czasu rzeczywistego (dziesiętnego) dodać 24. W funkcji $\sin(h_{18} - 13,5)$ należy stosować tylko godziny od 09:00 do 03:00. Jeśli rzeczywisty czas nie mieści się w tym zakresie, należy ją obliczyć tak, jak dla godziny 09:00 ($\sin = -1$). Jeśli godzina wypada między północą a 03:00, należy do czasu rzeczywistego (dziesiętnego) dodać 24. Należy zauważyć, że w obu przypadkach przyjęto funkcję sinusoidalną dla cyklu 18-godzinnego z „płaskim” odcinkiem o wartości (-1) odpowiednio między godziną 05:00 a 11:00¹ i 03:00 a 09:00².

¹ W takim wypadku należy dokonać obliczenia jak w przykładzie, tj. jeśli jest godzina 13:15, wówczas w postaci dziesiętnej, $13,25 - 15,50 = -2,25$; $-2,25/18 = -0,125$; $-0,125 \cdot 2\pi = -0,785$ rad; $\sin(-0,785) = -0,707$.

² W takim wypadku należy dokonać obliczenia jak w przykładzie, tj. jeśli jest godzina 15:08, wówczas w postaci dziesiętnej, $15,13 - 13,50 = 1,63$; $1,63/18 = 0,091$; $0,091 \cdot 2\pi = 0,569$ rad; $\sin(0,569) = 0,539$.

2.5. Kontrola własna pomiarów w ramach kampanii pomiarowej

Istotnym elementem procesu zapewnienia jakości pomiarów ugięć jest kontrola własna, realizowana regularnie przez wykonawcę pomiarów. Kontrola własna polega na cyklicznym powtarzaniu pomiarów na wybranych odcinkach dróg i na porównaniu uzyskanych wyników (badanie tzw. powtarzalności pomiarów w rozumieniu normy ISO 5725-2:2002).

Kontrolę własną pomiarów należy prowadzić wg następującego schematu:

1. Wykonawca powinien dokonać cyklicznych pomiarów ugięć po każdym dwóch dniach pomiarowych, na co najmniej jednym odcinku kontrolnym o długości nie mniejszej niż 1000 m.
2. Do przeprowadzenia kontroli własnej wykonawca używa wyników z dwóch pomiarów:
 - a) pomiar referencyjny (może to być jednocześnie pomiar rutynowy),
 - b) pomiar powtórny kontroli własnej wykonany zaraz po pomiarze referencyjnym.
3. W celu oceny powtarzalności pomiarów przeprowadzone zostają następujące obliczenia dla różnic wartości wskaźników SCI300:
 - a) wyznaczenie średniej różnic (r),
 - b) wyznaczenie odchylenia standardowego różnic (σ_r),
 - c) porównanie średniej i odchylenia standardowego różnic z określonymi tolerancjami, to jest $r=10$ i $\sigma_r=20$; uwaga: wartości progowe należy zweryfikować w ramach szczegółowych badań z uwzględnieniem wyników kontroli własnej prowadzonej w kolejnych kampaniach pomiarowych.

Wyniki pomiarów kontroli własnej muszą być zapisywane i w razie konieczności udostępniane zamawiającemu.

2.6. Korekta zarejestrowanych ugięć

Zarejestrowane ugięcia należy skorygować ze względu na zmiany temperatury, obciążenia dynamicznego osi pomiarowej i sezonu, w którym wykonano pomiary, typu podbudowy oraz funkcje przeliczeniowe pomiędzy urządzeniem mobilnym oraz urządzeniami FWD. Skorygowane wartości ugięć należy zapisać w plikach elementarnych.

Opis struktury plików z niezbędnymi danymi do przetwarzania wyników mobilnych pomiarów ugięć nawierzchni został szczegółowo opisany w Załączniku H.

3. Pomiary równości podłużnej nawierzchni oraz uskoków płyt betonowych

3.1. Pojęcia podstawowe

Równość podłużna — cecha eksploatacyjna określająca zdolność nawierzchni jezdni asfaltowych oraz betonowych do nie wzbudzania wstrząsów i drgań poruszającego się pojazdu. Ma wpływ na komfort i bezpieczeństwo jazdy oraz koszty ponoszone przez użytkowników drogi (zużycie paliwa i pojazdów) jak i administratorów dróg (zmniejszona trwałość nawierzchni powodowana oddziaływaniem dynamicznym pojazdów).

Profil podłużny — przecięcie pomiędzy powierzchnią nawierzchni i konwencjonalną płaszczyzną odniesienia prostopadłą do powierzchni nawierzchni i równoległą względem kierunku pasa ruchu. W sensie fizycznym profil podłużny stanowi zbiór punktów wysokościowych zarejestrowanych przez urządzenie pomiarowe w stałych odstępach wzdłuż określonej linii, w zakresie długości fali równości i megatekstury [37].

Uskok płyt betonowych — względne pionowe przesunięcie krawędzi sąsiadujących płyt betonowych w obrębie szczeliny dylatacyjnej lub pęknięcia poprzecznego nawierzchni. W systemie DSN uskok jest określany podczas pomiaru równości profilu podłużnego profilografem laserowym.

Nierówność (brak równości) — odchylenie powierzchni nawierzchni od rzeczywiście płaskiej powierzchni w zakresie długości fali 0,5–50 m.

Megatekstura — odchylenie powierzchni nawierzchni od rzeczywiście płaskiej powierzchni w zakresie długości fali 50–500 mm.

Międzynarodowy Wskaźnik Równości IRI (International Roughness Index) — podstawowy parametr równości podłużnej, obliczany na podstawie profilu podłużnego nawierzchni zgodnie z przyjętą powszechnie procedurą [34, 46]. Parametr IRI charakteryzuje komfort jazdy poprzez symulację pracy zawieszenia umownego pojazdu (Golden Car, quarter car) poruszającego się z prędkością 80 km/h na długości analizowanego odcinka nawierzchni. Wskaźnik IRI podawany jest w jednostkach nachylenia — mm/m lub m/km.

Wskaźnik uskoku płyt betonowych — służy do oceny równości nawierzchni związanej ze stopniem klawiszowania płyt i jest przyjmowany do klasyfikacji stanu nawierzchni betonowej. Wskaźnik uskoku jest określony jako największa wartość z uskoków, zarejestrowanych na odcinku diagnostycznym długości 50 m.

Pomiar równości podłużnej/uskoku płyt betonowych — ustalony sposób rejestracji profilu podłużnego nawierzchni, prowadzonej w obrębie pasa ruchu z zachowaniem wymagań, wynikających z instrukcji obsługi urządzenia pomiarowego i odpowiednich procedur pomiarowych.

3.2. Metoda pomiaru

Zasady zawarte w niniejszym rozdziale, dotyczą prowadzenia prac związanych z badaniami i oceną równości podłużnej/uskoku płyt betonowych nawierzchni w ramach systemu DSN.

Równość podłużna nawierzchni jest cechą eksploatacyjną nawierzchni, określającą odchylenie powierzchni jezdni od rzeczywiście płaskiej powierzchni, mierzoną wzdłuż kierunku jazdy w zakresie długości fali 0,05–50 m (równości i megatekstury).

Uskok płyt betonowych jest określany podczas pomiaru równości profilu podłużnego profilografem laserowym wg algorytmu z normy AASHTO R-36-04. Rejestrowane są jedynie uskoki o wartościach równych lub większych od zadanej wartości granicznej (5 mm) oraz ich lokalizacje.

Stan równości podłużnej nawierzchni w systemie DSN określa się metodą profilometryczną, to jest na podstawie pomiaru profilu podłużnego nawierzchni za pomocą profilografu mobilnego, wykonującego pomiar z prędkością potoku ruchu.

Podczas badania rejestruje się dane o lokalizacji toru pomiarowego, przez podanie pikietaża/systemu referencyjnego i współrzędnych geograficznych.

3.2.1. Zasady ogólne

Pomiary równości podłużnej/uskoków płyt betonowych na potrzeby systemu DSN należy wykonywać przy użyciu wieloczuJNIKOWYCH mobilnych profilografów laserowych RSP-3, umożliwiających jednoczesną rejestrację profili podłużnych nawierzchni w co najmniej dwóch torach pomiarowych (w śladzie prawym i lewym) z prędkością zbliżoną do prędkości potoku ruchu. Rzędne profilu podłużnego powinny zostać zarejestrowane w odpowiednich odstępach oraz z precyzją umożliwiającą obliczenie sumarycznych wskaźników równości i wskaźników uskoku płyt betonowych z wymaganą dokładnością.

Podstawowe wymagania techniczne dla czujników profilografu wykonującego pomiary równości podłużnej nawierzchni na potrzeby DSN wraz z klasyfikacją wg PN-EN 13036-6: 2008 przedstawiono w tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Wymagania sprzętowe dla profilografu wykonującego pomiary równości podłużnej

Lp.	Parametr	Jednostka	Wymagany zakres	Klasa profilografu
1	Rozdzielczość pionowa czujnika laserowego	mm	$\leq 0,2$	klasa 1
2	Interwał podłużnego próbkowania sygnału	mm	≤ 50	klasa 1
3	Interwał rejestracji rzędnych profilu	mm	≤ 100	klasa 1
4	Filtr fali długiej (-3 dB)	m	≥ 100	klasa 1
5	Prędkość pomiaru	km/h	20–100	—

Wskaźnikiem równości podłużnej nawierzchni w systemie DSN jest **Międzynarodowy Wskaźnik Równości** IRI wyrażony w mm/m.

Wskaźnik uskoków płyt betonowych nawierzchni w systemie DSN jest wyrażony w mm.

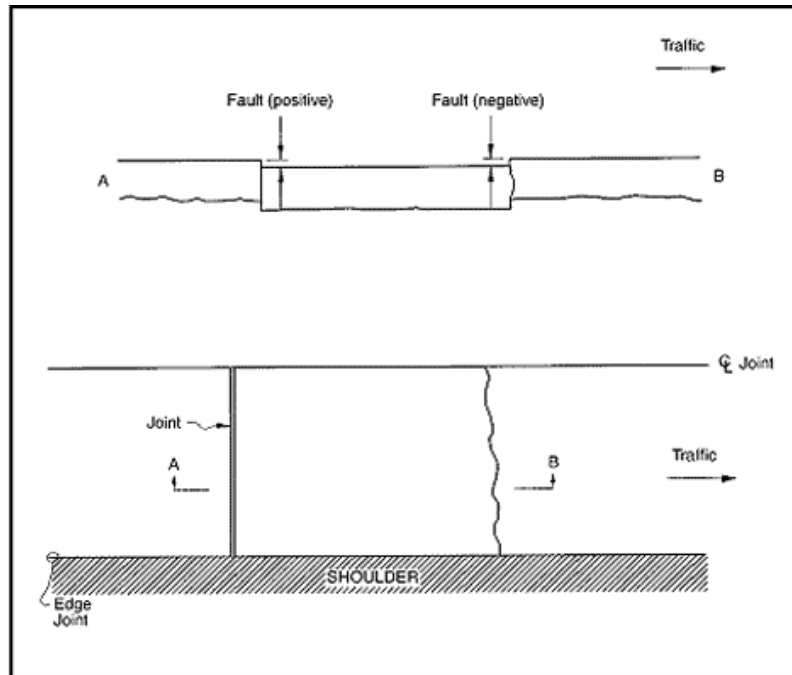
Określenie wskaźników IRI powinno być przeprowadzone za pomocą zweryfikowanego programu obliczeniowego zgodnie z procedurą obliczeniową wg normy ASTM E1926-08. W systemie DSN zaleca się wykorzystanie programu firmowego producenta profilografów DCC-RSP, obliczającego wartości wskaźników IRI w czasie rzeczywistym w sposób ciągły (krok próbkowania 25 mm). Program umożliwia jednoczesne określenie wartości wskaźników IRI w śladzie prawym, lewym oraz w środku pasa ruchu wraz z rejestracją wyników w pliku pomiarowym RSP z założoną wcześniej częstotliwością.

Zasady pomiaru różnych przypadków uskoków płyt betonowych zamieszczono na rys. 3.1.

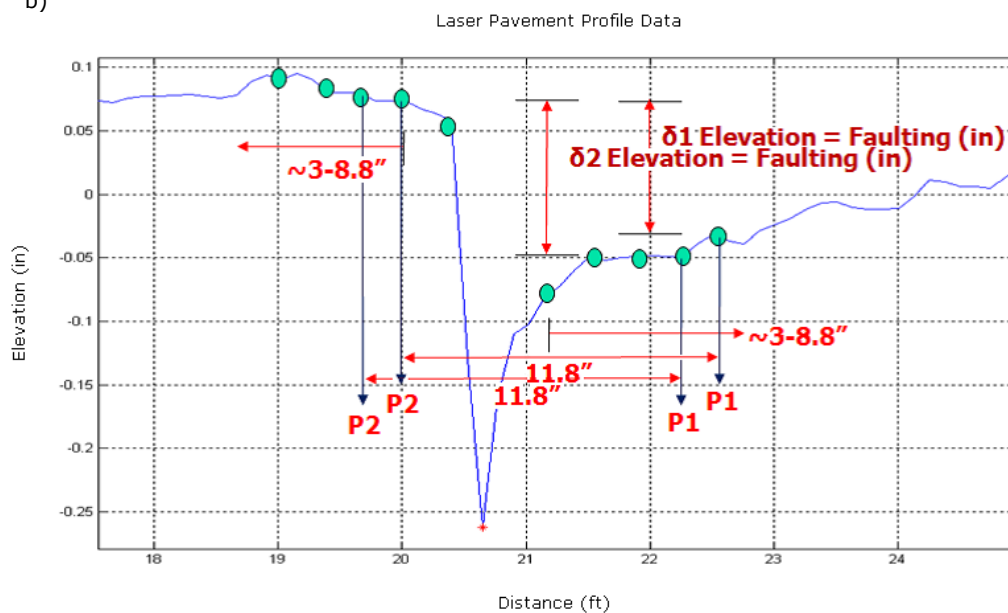
3.2.2. Zasady szczegółowe — instrukcja realizacji pomiarów

WieloczuJNIKOWE profilografy RSP oprócz pomiaru równości podłużnej wykonują jednocześnie pomiar równości poprzecznej oraz makrotekstury nawierzchni. Szczegółowe zasady wykonywania pomiarów profilografem RSP zamieszczono w Załączniku D2.

a)



b)



Rys. 3.1. Zasada pomiaru uskoku płyt betonowych a) schemat rodzaju uszkodzeń, b) zasada określenia wysokości uskoku na podstawie profilu podłużnego wg algorytmu AASHTO R-36-04

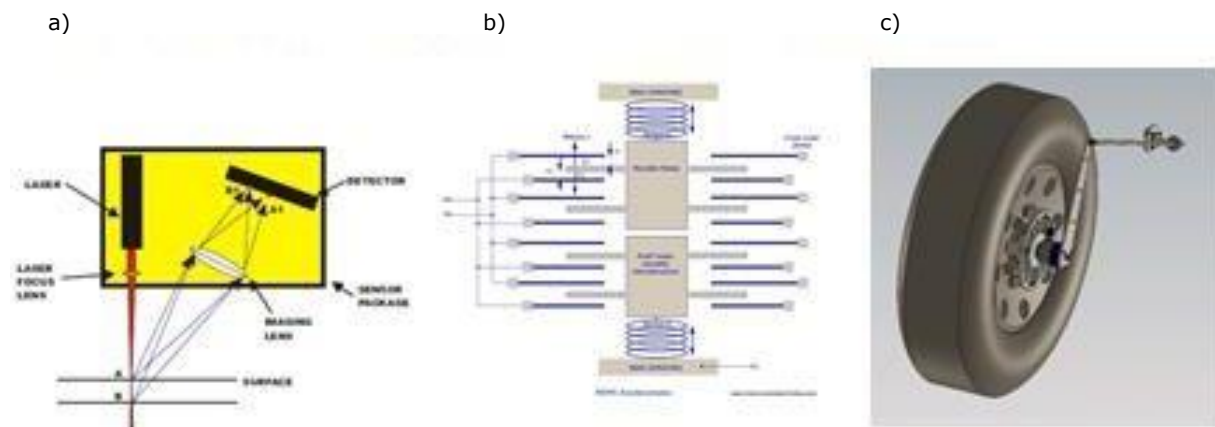
3.3. Sprzęt pomiarowy

System pomiarowy profilografu RSP-3 jest montowany na przystosowanym do tego celu pojeździe pomiarowym (rys. 3.2) i składa się z następujących elementów głównych (rys. 3.3):

1. Belki pomiarowej, w której zamontowane są: czujniki laserowe, akcelerometry, żyroskop.
2. Czujnika dystansu na kole profilografu.
3. Jednostki przetwarzania danych.
4. Komputera z zainstalowanym oprogramowaniem sterującym.
5. Odbiornika GPS.
6. Kamery zewnętrznej.

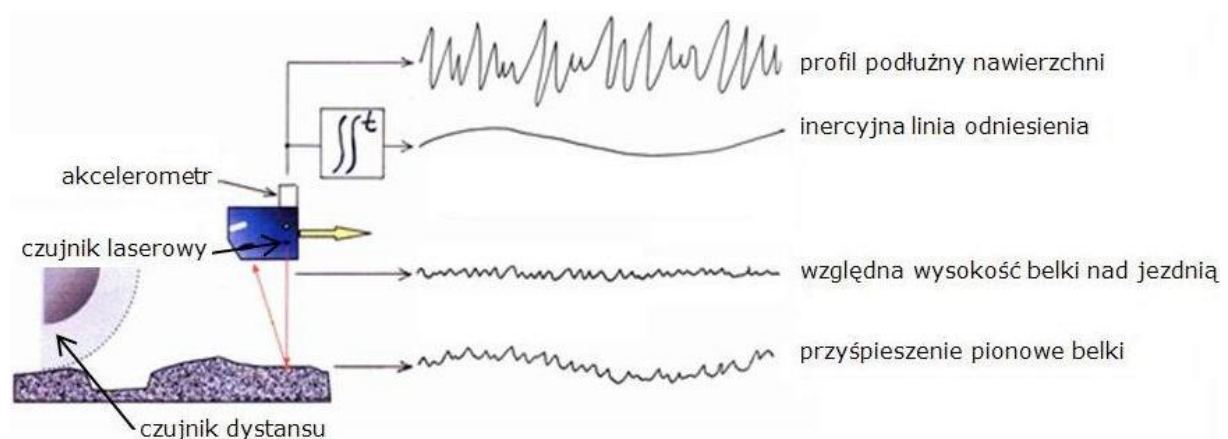


Rys. 3.2. Zdjęcie profilografu RSP-3



Rys. 3.3. Profilograf laserowy RSP i jego podstawowe komponenty pomiarowe:
 a) pomiar wysokości – laser, w mm, b) pomiar przyspieszenia – akcelerator, w m/s^2 ,
 c) pomiar odległości – DMI, w km

Profilograf RSP-3 jest urządzeniem pomiarowym typu inercyjnego, tj. wykorzystującym czujniki przyspieszenia (akcelerometry) do monitorowania wychylenia pionowego pojazdu (belki pomiarowej) w torze pomiaru w celu określenia linii odniesienia, względem której mierzone są nierówności powierzchni jezdni. Pomiar względnej wysokości belki pomiarowej nad powierzchnią jezdni odbywa się za pomocą czujników laserowych, a przebyta odległość za pomocą czujnika dystansu (DMI) zamontowanego na kole (rys. 3.4).



Rys. 3.4. Zasada określenia profilu podłużnego za pomocą profilografu laserowego

Rzędne profilu podłużnego w odległości x otrzymuje się poprzez sumowanie wychyleń belki pomiarowej oraz odpowiadającej jej względnej wysokości belki nad nawierzchnią wg wzoru:

$$Z(x) = R(x) + H(x) \quad (3.1)$$

w którym:

- $Z(x)$ — rzędna profilu w odległości x ;
- $H(x)$ — względna wysokość belki pomiarowej nad nawierzchnią wg pomiaru czujnikiem laserowym;
- $R(x)$ — wychylenie belki pomiarowej, pozycja linii odniesienia obliczona na podstawie pomiaru akcelometrem w odległości x .

Zaleca się, aby zespół pomiarowy profilografu RSP składał się z odpowiednio przeszkolonego kierowcy oraz operatora sprzętu. W czasie wykonywania pomiarów pojazd musi być oznakowany zgodnie z obowiązującymi przepisami.

Okresowo oraz po każdorazowych czynnościach serwisowych należy przeprowadzać kalibrację profilografu zgodnie z odpowiednimi procedurami producenta.

3.4. Metoda przetwarzania wyników pomiarów

Na podstawie ciągłego pomiaru profilu podłużnego, program sterujący oblicza w czasie rzeczywistym oraz zapisuje w pliku pomiarowym RSP (co 1 m) wartości wskaźników równości IRI oraz wysokości uskoków równych lub większych 5 mm.

Opis struktury plików z niezbędnymi danymi do przetwarzania wyników pomiarów równości podłużnej nawierzchni został szczegółowo opisany w Załączniku H.

3.5. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych

Zadaniem systemu zapewnienia jakości pomiarów jest zapewnienie sprawności sprzętu, odpowiedniego poziomu dokładności pomiaru, spójności pomiarowej oraz terminowości pomiarów wykonywanych na potrzeby systemu DSN.

W ramach programu zapewnienia jakości należy wykonywać:

1. Sprawdzenie bieżące sprawności technicznej profilografów.
2. Kalibracje podstawowych elementów profilografów.
3. Badania porównawcze przedsezonowe profilografów.
4. Okresowe kontrole profilografów na własnych odcinkach testowych.
5. Pomiary kontrolne po realizacji zakresu pomiarowego.

Sprawdzenie bieżące profilografu należy wykonywać codziennie — przed serią pomiarów w trakcie trwania kampanii pomiarowej DSN wg Diennej Listy Kontrolnej (przykład w Załączniku D2).

Kalibracje podstawowych elementów profilografów (czujniki laserowe, akcelometry, czujnik dystansu, żyroskop) należy przeprowadzać okresowo, w regularnych odstępach czasowych oraz każdorazowo po jakichkolwiek czynnościach serwisowych dotyczących przedmiotowych elementów.

Wszelkie czynności kalibracyjne należy wykonywać zgodnie z odpowiednimi procedurami producenta.

Badania porównawcze w zakresie równości powinny być przeprowadzone, każdorazowo przed rozpoczęciem kampanii pomiarowej, podczas przedsezonowych pomiarów porównawczych profilografów.

Przedsezonowe pomiary porównawcze profilografów powinny odbywać się wg procedury opisanej w Załączniku E2.

Na podstawie wniosków z raportu z pomiarów porównawczych równości podłużnej, jednostka nadzorującą kampanię pomiarową DSN, wydaje świadectwo dopuszczenia do pomiarów (SDWP) w ramach DSN.

Wykonawca pomiarów równości podłużnej w ramach DSN jest zobowiązany do założenia wewnętrznego odcinka testowego przed rozpoczęciem kampanii pomiarowej i wykonywania na nim kontroli okresowych sprawności sprzętu.

Badania obejmują sprawdzenie urządzenia jednocześnie dla zakresu równości podłużnej, równości poprzecznej oraz makrotekstury.

Okresowa kontrola profilografu RSP na własnym odcinku testowym powinna odbywać się wg procedury opisanej w Załączniku F2.

4. Pomiary równości poprzecznej nawierzchni

4.1. Pojęcia podstawowe

Równość poprzeczna — parametr techniczno-eksploatacyjny nawierzchni określający odchylenia powierzchni jezdni, od płaskiej powierzchni, mierzony w kierunku prostopadłym do osi jezdni (kierunku jazdy) w zakresie długości fali równości i megatekstury. Równość poprzeczna wpływa na komfort jazdy oraz bezpieczeństwo użytkowników (m.in. stabilność toru jazdy).

Profil poprzeczny — przecięcie pomiędzy powierzchnią nawierzchni i płaszczyzną odniesienia prostopadłą do powierzchni nawierzchni i kierunku pasa ruchu. W sensie fizycznym profil poprzeczny stanowi zbiór punktów wysokościowych zarejestrowanych przez urządzenie pomiarowe w określonym rozstawie prostopadle do osi drogi.

Głębokość koleiny — wskaźnik równości poprzecznej obliczany jako wielkość największego prześwitu pomiędzy zarejestrowanym profilem poprzecznym nawierzchni w danej lokalizacji a przyjętą linią odniesienia (łata teoretyczną). Łatę teoretyczną w DSN stanowi odcinek linii prostej o długości 2 m określony wg ustalonej procedury.

Pomiar równości poprzecznej — ustalony sposób rejestracji profili poprzecznych nawierzchni, prowadzonej w obrębie pasa ruchu z zachowaniem wymagań wynikających z instrukcji obsługi urządzenia pomiarowego i odpowiednich procedur pomiarowych.

4.2. Metoda pomiaru

Zasady zawarte w niniejszym rozdziale dotyczą prowadzenia prac związanych z badaniami i oceną równości poprzecznej nawierzchni w ramach systemu DSN.

Stan równości poprzecznej nawierzchni w DSN określa się metodą profilometryczną, to jest na podstawie pomiaru kolejnych profili poprzecznych nawierzchni za pomocą profilografu mobilnego, wykonującego pomiar z prędkością potoku ruchu.

Podczas badania rejestruje się dane o lokalizacji toru pomiarowego, przez podanie pikietaża/systemu referencyjnego i współrzędnych geograficznych.

4.2.1. Zasady ogólne

Pomiary równości poprzecznej na potrzeby DSN należy wykonywać przy użyciu wieloczuJNIKOWYCH mobilnych profilografów laserowych RSP-3, rejestrujących profile poprzeczne nawierzchni na pasie ruchu z prędkością zbliżoną do prędkości potoku ruchu. Rzędne profili poprzecznych powinny zostać zarejestrowane na szerokości pasa minimum 3,2 m, w stałych odstępach oraz z precyzją umożliwiającą obliczenie głębokości koleiny z wymaganą dokładnością.

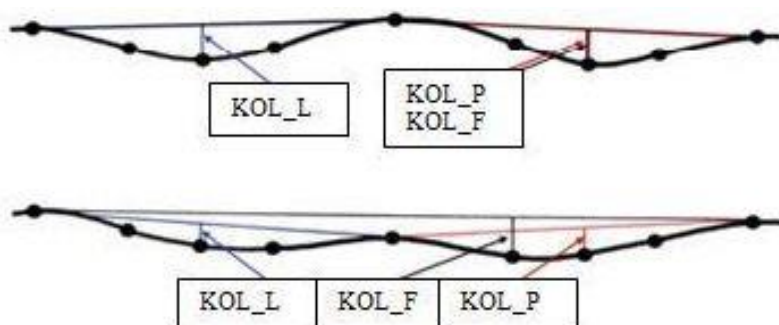
Podstawowe wymagania techniczne dla czujników profilografu wykonującego pomiary równości poprzecznej nawierzchni na potrzeby DSN wraz z klasyfikacją wg PN13036-6: 2008 przedstawiono w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Wymagania sprzętowe dla profilografu wykonującego pomiary równości poprzecznej

Lp.	Parametr	Jednostka	Wymagany zakres	Klasa profilografu
1	Rozdzielczość pionowa czujnika laserowego	mm	$\leq 0,2$	klasa 1
2	Rozstaw czujników laserowych	mm	≤ 350	klasa 3
3	Krok próbkowania profili poprzecznych	m	≤ 1	klasa 1
4	Prędkość pomiaru	km/h	20–100	—

Wskaźnikiem równości poprzecznej nawierzchni w systemie DSN jest głębokość koleiny wyrażona w mm.

Określenie głębokości koleiny powinno być przeprowadzone za pomocą zweryfikowanego programu obliczeniowego zgodnie z PN-EN 13036-8: 2008 [39]. W systemie DSN zaleca się wykorzystanie programu firmowego producenta profilografów DCC-RSP, obliczającego głębokości koleiny metodą „wire (string) line” dla każdego przekroju poprzecznego (rys. 4.1). Obliczenia przeprowadzane są w czasie rzeczywistym w sposób ciągły (krok próbkowania 25 mm) a przekroje poprzeczne i głębokości koleiny rejestrowane są w pliku pomiarowym RSP z założoną wcześniej częstotliwością.

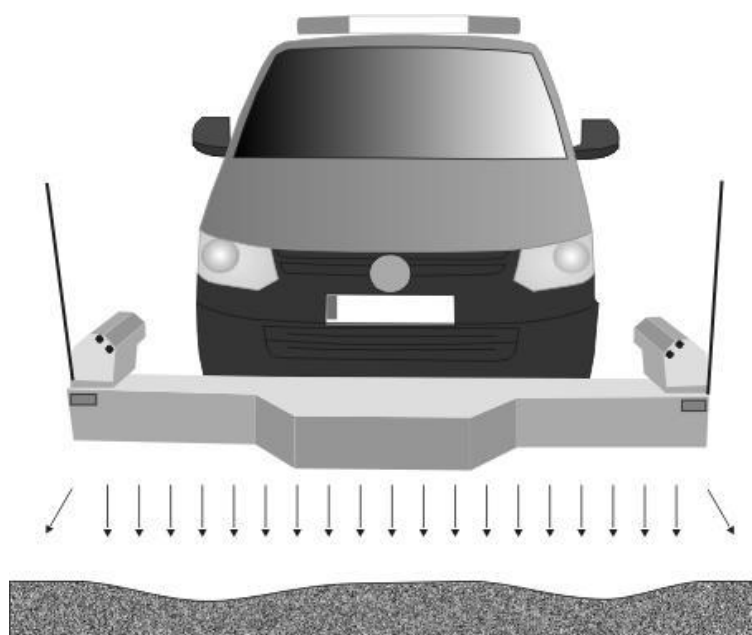


Rysunek 4.1. Zasada określenia głębokości koleiny wg metody wire (string) line

Program umożliwia, niezależne określenie średniej oraz maksymalnej głębokości koleiny prawej (KOL_P) i lewej (KOL_L) oraz koleiny pełnej (KOL_F) na całym przekroju przy zadanym interwale rejestracji. Zakres przekroju poprzecznego, na którym oblicza się głębokość koleiny może być modyfikowany w zależności od szerokości pasa ruchu i założonej długości łąty teoretycznej. W pliku są rejestrowane średnie wartości z profili poprzecznych na odcinkach o długości 1 m.

4.2.2. Zasady szczegółowe — instrukcja realizacji pomiarów

Szczegółowe zasady wykonywania pomiarów profilografem RSP zamieszczono w Załączniku D2.



Rys. 4.2. Schemat poglądowy pomiaru równości poprzecznej za pomocą profilografu

4.3. Sprzęt pomiarowy

Podstawowe elementy profilografu RSP wymieniono w p. 3.3.

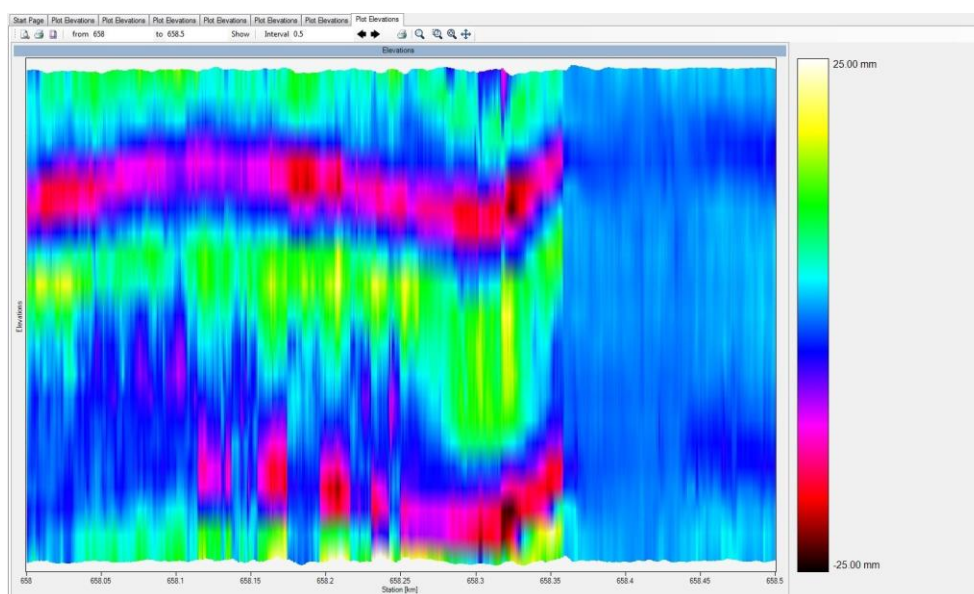
Podczas pomiaru równości poprzecznej profilograf wykorzystuje czujniki laserowe rozmieszczone prostopadłe do kierunku jazdy do określenia rzędnych profilu poprzecznego nawierzchni względem linii odniesienia związanej z belką pomiarową oraz czujnik dystansu do pomiaru przebytej odległości.

Rzędne profilu poprzecznego są następnie wykorzystywane do obliczeń w czasie rzeczywistym głębokości koleiny odpowiadającej danemu przekrojowi poprzecznemu.

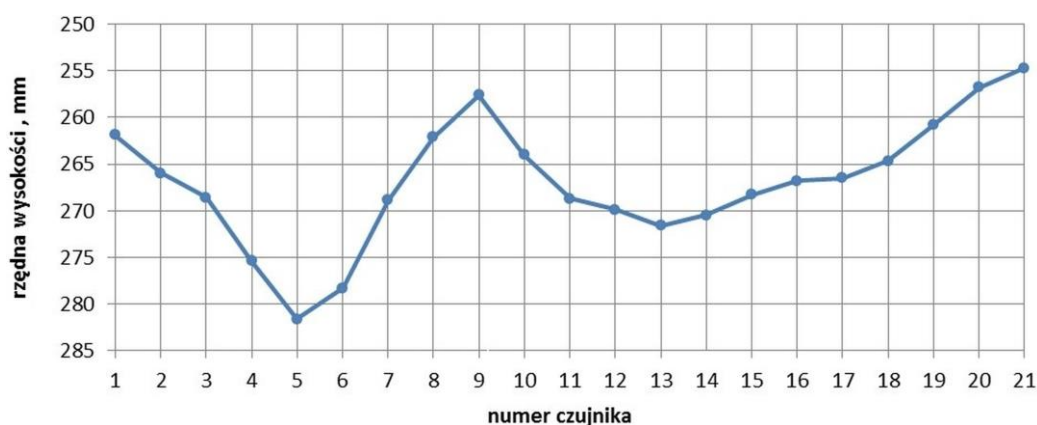
4.4. Metoda przetwarzania wyników pomiarów

Na podstawie ciągłego pomiaru profili poprzecznych program sterujący oblicza w czasie rzeczywistym oraz rejestruje w pliku pomiarowym RSP (co 1 m) średnie i maksymalne głębokości koleiny w każdym torze pomiarowym.

Rejestracja danych pomiarowych w pliku systemowym PPOC umożliwia wizualizację względnego stanu wysokościowego powierzchni jezdni (rys. 4.3) oraz przeprowadzanie dodatkowych szczegółowych analiz równości poprzecznej (rys. 4.4).



Rys. 4.3. Wizualizacja względnego stanu (wysokościowego) powierzchni jezdni w km 658+000–658+500



Rys. 4.4. Wykres pojedynczego przekroju poprzecznego w km 658+080

Opis struktury plików z niezbędnymi danymi do przetwarzania wyników pomiarów równości poprzecznej nawierzchni został szczegółowo opisany w Załączniku H.

4.5. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych

Badania weryfikacyjne odbywają się wg zasad pomiaru równości podłużnej opisanych w p. 3.5.

5. Pomiary makrotekstury nawierzchni

5.1. Pojęcia podstawowe

Makrotekstura — parametr techniczno-eksploatacyjny nawierzchni określający odchylenie rzędnych powierzchni nawierzchni od teoretycznie płaskiej powierzchni w zakresie długości fali od 0,5 mm do 50 mm. Makrotekstura nawierzchni ma wpływ na zdolność nawierzchni do odprowadzania wody spod opon pojazdów podczas deszczu oraz odgrywa ważną rolę podczas kontaktu opony z nawierzchnią (tarcie, opory toczenia, hałas). Podwyższone wartości wskaźników makrotekstury mogą również wskazywać na uszkodzenia powierzchniowe nawierzchni, np. ubytki ziaren lub segregację kruszywa.

Profil nawierzchni — dwuwymiarowe odwzorowanie powierzchni. W sensie fizycznym profil nawierzchni stanowi zbiór punktów wysokościowych zarejestrowanych przez urządzenie pomiarowe w stałych odstępach wzdłuż linii pomiaru w zakresie długości fali makrotekstury.

Wskaźnik MPD (Mean Profile Depth; średnia głębokość profilu) — średnia wartość głębokości profilu określona wg procedury PN-EN ISO 13473-1:2019 [40].

Wskaźnik MTD (Mean Texture Depth; średnia głębokość tekstury) — głębokość tekstury otrzymana za pomocą metody objętościowej wg PN-EN 13036-1:2010 [42].

Wskaźnik ETD (Estimated Texture Depth; szacowana głębokość tekstury) — termin używany, gdy wskaźnik MPD jest używany do szacowania wskaźnika MTD za pomocą formuły określonej wg PN-EN ISO 13473-1:2019 [40].

Pomiar makrotekstury — ustalony sposób rejestracji głębokości profilu nawierzchni prowadzonej w obrębie pasa ruchu z zachowaniem wymagań wynikających z instrukcji obsługi urządzenia pomiarowego i odpowiednich procedur pomiarowych.

5.2. Metoda pomiaru

Zasady zawarte w niniejszym rozdziale dotyczą prowadzenia prac związanych z badaniami i oceną makrotekstury nawierzchni w ramach systemu DSN.

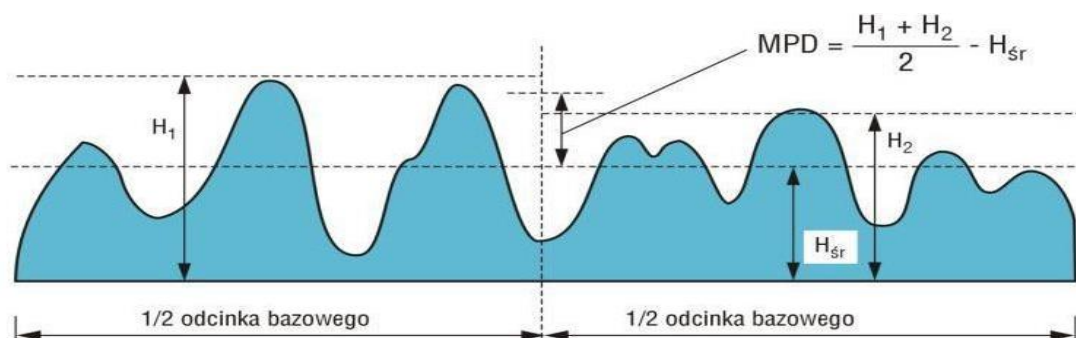
Makroteksturę nawierzchni w DSN określa się metodą profilometryczną, to jest na podstawie pomiaru profilu podłużnego nawierzchni w zakresie długości fali makrotekstury, za pomocą profilografu mobilnego wykonującego pomiar z prędkością potoku ruchu. Profil nawierzchni powinien zostać odwzorowany z wymaganą dokładnością, umożliwiającą obliczenie wskaźnika Średniej Głębokości Profilu MPD, zgodnie z normą [40] dla odcinka bazowego o długości 100 mm. Zasadę obliczania wskaźnika MPD przedstawiono na rys.5.1.

5.2.1. Zasady ogólne

Pomiary makrotekstury na potrzeby DSN należy wykonywać przy użyciu mobilnych profilografów RSP, wyposażonych w co najmniej jeden czujnik laserowy do pomiaru makrotekstury i umożliwiający pomiar z prędkością zbliżoną do prędkości potoku ruchu.

Podstawowe wymagania techniczne, dla czujników profilografu wykonującego pomiary makrotekstury nawierzchni na potrzeby DSN, przedstawiono w tabeli 5.1.

Wskaźnik makrotekstury nawierzchni w systemie DSN jest wyznaczany jako średnia głębokość profilu MPD wyrażona w mm.



Rys. 5.1. Zasada określenia wskaźnika MPD

Tabela 5.1. Wymagania sprzętowe dla profilografu wykonującego pomiary makrotekstury

Lp.	Nazwa	Jednostka	Wymagany zakres
1	Rozdzielczość pionowa czujnika laserowego	mm	$\leq 0,05$
2	Interwał podłużnego próbkowania sygnału	mm	≤ 1
3	Interwał obliczania wskaźnika MPD	mm	$= 100$
4	Zakres makrotekstury	mm	0,5–2,0
5	Prędkość pomiaru	km/h	20–100

Określenie wskaźników MPD powinno być przeprowadzone za pomocą zweryfikowanego programu obliczeniowego zgodnie z procedurą obliczeniową wg normy PN-EN ISO 13473-1:2019. W systemie DSN zaleca się wykorzystanie programu firmowego producenta profilografów DCC-RSP, obliczającego wartości wskaźników MPD w czasie rzeczywistym w sposób ciągły i rejestrującego wyniki w pliku pomiarowym RSP z założoną wcześniej częstotliwością.

5.2.2. Zasady szczegółowe – instrukcja realizacji pomiarów

Szczegółowe zasady wykonywania pomiarów profilografem RSP zamieszczono w Załączniku D2.

5.3. Sprzęt pomiarowy

Podstawowe elementy profilografu RSP wymieniono w p. 3.3.

Podczas pomiaru makrotekstury profilograf wykorzystuje czujnik laserowy o wysokiej częstotliwości (64 kHz) oraz czujnik dystansu do pomiaru przebytej odległości.

Rzędne profilu nawierzchni są następnie wykorzystywane do obliczenia w czasie rzeczywistym wskaźnika średniej głębokości profilu MPD.

5.4. Metoda przetwarzania wyników pomiarów

Na podstawie ciągłego pomiaru profilu podłużnego w zakresie długości fali makrotekstury program sterujący oblicza w czasie rzeczywistym oraz zapisuje w pliku pomiarowym RSP (co 1 m) średnie wartości wskaźników MPD w prawym śladzie kół.

Opis struktury plików z niezbędnymi danymi do przetwarzania wyników pomiarów makrotekstury nawierzchni został szczegółowo opisany w Załączniku H.

5.5. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych

Badania weryfikacyjne odbywają się wg zasad pomiaru równości podłużnej opisanych w p. 3.5 niniejszego załącznika.

6. Pomiary punktowe właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni

6.1. Pojęcia podstawowe

Właściwości przeciwpoślizgowe — zdolność do wytwarzania sił tarcia między nawierzchnią drogi a kołami pojazdów w warunkach wzajemnego poślizgu.

Współczynnik tarcia — stosunek wypadkowej sił tarcia wytwarzanych między hamowanym kołem urządzenia pomiarowego a nawierzchnią drogi do nacisku koła na drogę.

Urządzenie pomiarowe (zestaw pomiarowy) — urządzenie dynamometryczne o określonych cechach kinematycznych, konstrukcyjnych i funkcjonalnych, umożliwiające pomiar współczynnika tarcia podłużnego nawierzchni w warunkach 100% poślizgu koła pomiarowego, z zastosowaniem określonego typu opony testowej zgodnej z zaleceniami PIARC.

Pomiar punktowy współczynnika tarcia — ustalony sposób pomiaru na pasie ruchu pojazdu z zachowaniem wymagań, wynikających z instrukcji obsługi urządzenia pomiarowego oraz odpowiednich procedur pomiarowych.

6.2. Metoda pomiaru

Zasady zawarte w niniejszym rozdziale dotyczą prowadzenia prac związanych z badaniami i oceną właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni dróg w systemie DSN.

Właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni określane są współczynnikiem tarcia. Wartości współczynnika tarcia należy wyznaczać na podstawie pomiarów w prawym lub w lewym śladzie kół. Pomiar wykonuje się z pełną (100%) blokadą koła pomiarowego z oponą testową, przy temperaturze otoczenia 5–30°C, na czystej nawierzchni, zwilżanej wodą w ilości 0,5 l/m². Uzyskane wartości współczynnika tarcia rejestruje się z dokładnością do trzech miejsc po przecinku.

Podczas badania zestawem pomiarowym SRT-3 rejestruje się dane o lokalizacji toru pomiarowego (pikietaż, punkty systemu referencyjnego oraz współrzędne geograficzne).

6.2.1. Zasady ogólne

Do wykonywania badań współczynnika tarcia może być wykorzystane tylko to urządzenie pomiarowe, które posiada aktualne świadectwo dopuszczenia do wykonywania pomiarów. Dotyczy to zarówno zestawu pomiarowego SRT-3, jak i innej metody równoważnej.

Badania właściwości przeciwpoślizgowych należy wykonywać nie rzadziej niż co 100 m, na wyznaczonym pasie ruchu.

W badaniach współczynnika tarcia należy stosować oponę zalecaną przez World Road Association PIARC: oponę rowkowaną (ribbed tyre) rozmiaru 165 R 15. Użycie innej opony powinno być odpowiednio udokumentowane wraz z podaniem przelicznika normującego wyniki do opony referencyjnej.

6.2.2. Zasady szczegółowe — instrukcja realizacji pomiarów

Szczegółowe zasady wykonywania pomiarów urządzeniem SRT-3 zamieszczono w Załączniku D3.

Tabela 6.1. Wymagania sprzętowe dla zestawu SRT-3 do pomiaru współczynnika tarcia

Lp.	Parametr	Jednostka	Wymagany zakres
1	Krok pomiarowy	m	≤ 100
2	Dokładność pojedynczego pomiaru	—	$\leq 0,001$
3	Typ opony pomiarowej	—	PIARC (RIBBED) 165R15
4	Typ opony referencyjnej	—	PIARC (RIBBED) 165R15
5	Ilość wody	l/m ²	0,5
6	Prędkość pomiaru	km/h	58–62
7	Temperatura otoczenia	°C	5–30

6.3. Sprzęt pomiarowy

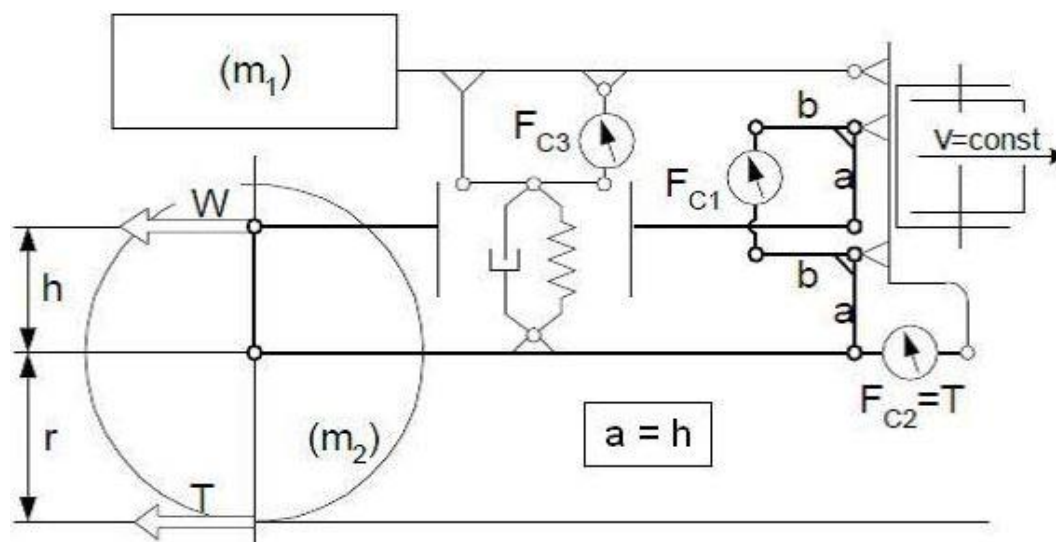
Do wykonywania badań współczynnika tarcia nawierzchni drogowych należy stosować zestaw pomiarowy SRT-3 (rys. 6.1) składający się z przyczepki pomiarowej oraz samochodu holującego. Dopuszcza się stosowanie innego równoważnego, wiarygodnego sprzętu, jeśli dysponuje się sprawdzoną zależnością korelacyjną umożliwiającą przeliczenie wyników pomiarów na wartości uzyskiwane zestawem SRT-3.

Każdy zestaw jest zaopatrzony co najmniej w dwie opony testowe. Jedna z nich jest oponą wzorcową, przygotowaną na dany sezon pomiarowy. Powinna być jednoznacznie oznakowana (np. Opona wzorcowa 2015). Opona wzorcowa jest skalowana w trakcie badań porównawczych. W ciągu sezonu służy ona tylko do wyznaczania poziomu odniesienia dla drugiej (i kolejnych) opony testowej — opony roboczej.

Na rys. 6.2 przedstawiono schemat kinematyczny przyczepki pomiarowej SRT-3.



Rys. 6.1. Zestaw pomiarowy i przyczepa pomiarowa SRT-3



- miM — wartość współczynnika przyczepności obliczona dla czujnika tensometrycznego umieszczonego w 1. kanale układu pomiarowego T1; tzw. pomiar moment hamującego W, czujnik pionowy F_{C1} ; wartość przyjmowana do dalszych obliczeń,
- miF — wartość współczynnika przyczepności obliczona dla czujnika tensometrycznego umieszczonego w 2. kanale układu pomiarowego T2; tzw. pomiar siły hamowania T, czujnik poziomy F_{C2} ,
- mik — skorygowana wartość współczynnika przyczepności uwzględniająca zmienną siłę pionowego obciążenia dynamicznego drogi F_z ,
- F_z — wartość pionowego nacisku dynamicznego koła pomiarowego na jezdnię zmierzona w 3. kanale T3 układu pomiarowego odniesiona do nacisku statycznego; czujnik F_{C3} .

Rys. 6.2. Schemat kinematyczny przyczepki pomiarowej SRT-3

6.4. Metoda przetwarzania wyników pomiarów

Ocenę przeprowadza się na podstawie wyników pomiarów współczynnika tarcia (wartość miM) nawierzchni w odstępach co 100 m.

Wartość pomierzonego współczynnika tarcia przypisuje się do dwóch sąsiadujących odcinków diagnostycznych.

Opis struktury plików z niezbędnymi danymi do przetwarzania wyników pomiarów szorstkości nawierzchni został szczegółowo opisany w Załączniku H.

6.5. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych

Przedsezonowe badania porównawcze właściwości przeciwoślizgowych przeprowadza się na wyznaczonym odcinku testowym przed rozpoczęciem sezonu pomiarowego. Końcowym rezultatem przedsezonowych badań porównawczych jest otrzymanie świadectwa dopuszczenia do wykonywania pomiarów (SDWP) dla określonego zestawu. Szczegółowa procedura przeprowadzania badań porównawczych została zamieszczona w Załączniku E3.

Sprawdzenia okresowe na własnym odcinku testowym należy wykonać bezpośrednio po przeprowadzonych przedsezonowych badaniach porównawczych, po zrealizowaniu całego zakresu pomiarowego, ale przed badaniami kontrolnymi oraz po każdym wzorcowaniu opony, czyli nie rzadziej niż co 3000 punktów pomiarowych.

7. Pomiary ciągłe właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni

7.1. Pojęcia podstawowe

Urządzenie pomiarowe (zestaw pomiarowy) — urządzenie dynamometryczne o określonych cechach kinematycznych, konstrukcyjnych i funkcjonalnych, umożliwiające pomiar współczynnika tarcia podłużnego nawierzchni w warunkach stałego poślizgu koła pomiarowego równego 17,8%, z zastosowaniem określonego typu opony testowej zgodnej z zaleceniami PIARC.

Pomiar ciągły współczynnika tarcia — ustalony sposób pomiaru na pasie ruchu pojazdu z zachowaniem wymagań, wynikających z instrukcji obsługi urządzenia pomiarowego oraz odpowiednich procedur pomiarowych.

7.2. Metoda pomiaru

Zasady zawarte w niniejszym rozdziale dotyczą prowadzenia prac związanych z badaniami i oceną właściwości przeciwoślizgowych.

Właściwości przeciwoślizgowe nawierzchni są określane przez współczynnik tarcia. Wartości współczynnika tarcia należy wyznaczać na podstawie pomiarów w prawym lub w lewym śladzie kół. Pomiar wykonuje się z niepełną (17,8%) blokadą koła pomiarowego z oponą testową bezbieżnikową, przy temperaturze otoczenia 5–30°C, na czystej nawierzchni, zwilżanej wodą w ilości 0,5 mm grubości filmu wodnego pod kołem pomiarowym. Uzyskane wartości współczynnika tarcia rejestruje się z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku.

Podczas badania zestawem pomiarowym TWO (Traction Watcher One) są rejestrowane dane o lokalizacji toru pomiarowego, przez podanie pikietaża/systemu referencyjnego i współrzędnych geograficznych.

7.2.1. Zasady ogólne

Do wykonywania badań współczynnika tarcia może być wykorzystane tylko to urządzenie pomiarowe, które posiada aktualne świadectwo dopuszczające do pomiarów.

Wyniki pomiarów właściwości przeciwoślizgowych należy uśrednić nie rzadziej niż co 10 m. Długość odcinka podlegającego ocenie nie powinna być większa niż 1000 m, a liczba pomiarów nie mniejsza niż 100.

W badaniach współczynnika tarcia należy stosować oponę zalecaną przez World Road Association PIARC bezbieżnikową o wymiarach 4.00x8 zgodnych z normą ASTM E 1551.

Tabela 7.1. Wymagania sprzętowe dla urządzenia TWO do pomiaru współczynnika tarcia

Lp.	Parametr	Jednostka	Wymagany zakres
1	Krok pomiarowy	m	10
2	Dokładność pojedynczego pomiaru	—	≤ 0,001
3	Typ opony pomiarowej	—	PIARC 4.00x8 ASTM E 1551
4	Grubość filmu wodnego pod oponą	mm	0,5
5	Prędkość pomiaru	km/h	58–62
6	Temperatura otoczenia	°C	5–30

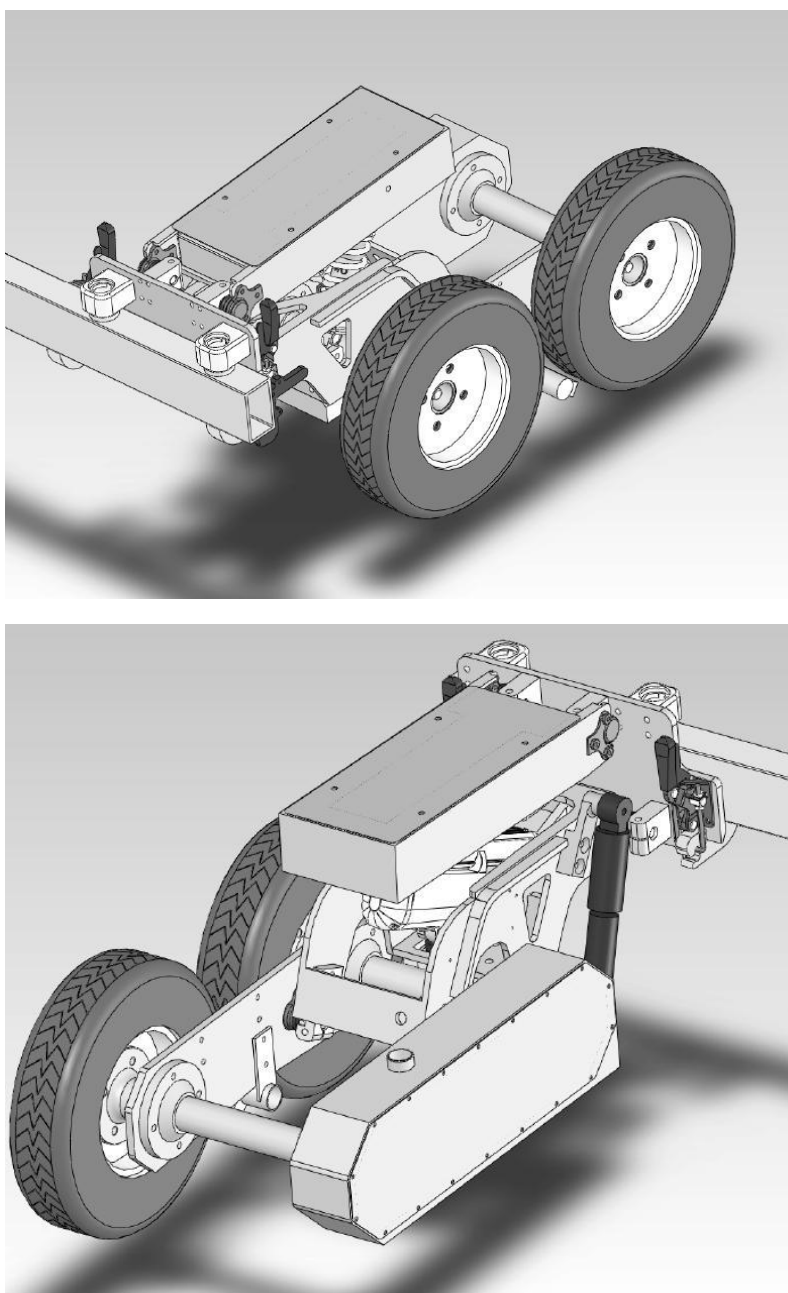
7.2.2. Zasady szczegółowe — instrukcja realizacji pomiarów

Szczegółowe zasady wykonywania pomiarów urządzeniem TWO zamieszczono w Załączniku D4.

7.3. Sprzęt pomiarowy

Do wykonywania badań współczynnika tarcia wykonywanych w ramach DSN na drogach krajowych należy stosować zestaw pomiarowy Traction Watcher One — TWO.

TWO jest urządzeniem pomiarowym służącym do pomiaru współczynnika tarcia na powierzchni w systemie ciągłym. Jest to konstrukcja mocowana do uchwytu na pojeździe holującym pozwalająca na przeprowadzenie badań w różnych śladach i z różnymi prędkościami pomiarowymi przy zadeklarowanym przyhamowaniu koła pomiarowego (17,8% — dla wersji 11-09-2014).



Rys. 7.1. Schemat poglądowy urządzenia TWO

W skład systemu pomiarowego TWO wchodzi następujące elementy główne:

1. Dwukołowy układ pomiarowy zamontowany na przyczepce umożliwiający niepełne hamowanie koła pomiarowego (17,8%).
2. System podawania wody pod oponę pomiarową (umożliwiający utrzymanie 0,5 mm filmu wodnego w trakcie pomiarów niezależnie od prędkości pomiaru).
3. Zbiornik na wodę.
4. Układ sterujący procesem badawczym (dozowanie wody dostosowane do prędkości pomiaru).
5. Frontowa kamera cyfrowa umożliwiająca uzyskanie obrazów w formacie JPG.
6. Dystansomierz zamontowany na przednim kole układu pomiarowego.
7. Odbiornik GPS umożliwiający określenie lokalizacji pomiaru.
8. System komputerowy wraz z oprogramowaniem — komputerowa jednostka rejestrująca i przetwarzająca dane ze wszystkich urządzeń i czujników systemu o parametrach podzespołów i mocy obliczeniowej zapewniających płynne przetwarzanie danych pomiarowych.



Rys. 7.2. Samochód pomiarowy z zamontowanymi elementami składowymi systemu TWO

7.4. Metoda przetwarzania wyników pomiarowych

Ocenę przeprowadza się na podstawie wyników pomiarów współczynnika tarcia nawierzchni w odstępach co 10 m.

Właściwości przeciwpślizgowe nawierzchni na odcinku diagnostycznym są określane przez średnią wartość pomierzonych współczynników tarcia na pięciu kolejnych odcinkach o długości 10 m.

Opis struktury plików z niezbędnymi danymi do przetwarzania wyników pomiarów szorstkości nawierzchni został szczegółowo opisany w Załączniku H.

7.5. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych

Sprawdzenia okresowe na własnym odcinku testowym należy wykonać zgodnie z Załącznikiem F4.

8. Automatyczna ocena uszkodzeń nawierzchni (stan spękań, stan powierzchni)

8.1. Pojęcia podstawowe

Stan spękań — cecha górnych warstw konstrukcyjnych nawierzchni, charakteryzująca stopień ich nieciągłości, stanowiąca przesłankę do określenia utraty nośności nawierzchni.

Stan powierzchni — cecha nawierzchni charakteryzująca spójność tworzywa warstwy ścieralnej nawierzchni.

Zakres występowania uszkodzeń — miara uszkodzeń na inwentaryzowanym odcinku drogi.

Stopień szkodliwości uszkodzeń — jakościowa ocena inwentaryzowanych uszkodzeń.

Odcinek pomiarowy — odcinek drogi, dla którego wykonano automatyczną ocenę wizualną uszkodzeń/napraw nawierzchni. Odcinek pomiarowy ma 1 km, na początku i na końcu drogi może mieć długość 500–1499 m.

Automatyczna ocena wizualna nawierzchni — wskaźnikowa ocena stanu spękań i stanu powierzchni nawierzchni odcinka drogi o dowolnej długości, na podstawie obmiaru uszkodzeń nawierzchni występujących na całej długości tego odcinka.

Siatka pomiarowa — wirtualna siatka dzieląca zdjęcie wykonane kamerami LCMS w sposób prostokątny na kwadraty o wymiarach 25 cm × 25 cm.

Zdjęcie pomiarowe — zdjęcie nawierzchni drogi z zaznaczonymi uszkodzeniami pokrywające fragment pojedynczego pasa ruchu o długości 10 m.

Zdjęcia identyfikacyjne — zdjęcie nawierzchni drogi z zaznaczonymi uszkodzeniami, pokrywające fragment pojedynczego pasa ruchu o długości 10 m wraz z wizualizacją siatki pomiarowej oraz zaznaczeniem pól posiadających zidentyfikowane uszkodzenia.

Ocena automatyczna nawierzchni — metoda oceny polegająca na zarejestrowaniu obrazu pasa ruchu przy pomocy kamer 3D a następnie na automatycznej analizie danych w celu identyfikacji uszkodzeń nawierzchni takich jak: spękania (powyżej 1 mm), wyboje, ubytki powierzchniowe (w przypadku nawierzchni asfaltowej), a także pęknięcia pojedyncze (podłużne, ukośne, poprzeczne), uszkodzenia przy krawędzi w tym narożników płyt, uszkodzenia szczelin, uszkodzenia powierzchni (w tym wyboje i ubytki), połamane płyty na sekcji 10 m (w przypadku nawierzchni betonowej) oraz analizie dodatkowo rozpoznanych uszkodzeń.

Wskaźnik ubytków (Ravelling Index) — wskaźnik określający zakres występowania ubytków powierzchniowych (ziaren lub lepiszcza) w pojedynczym polu siatki pomiarowej. Wyznaczany jest jako objętość brakującego materiału (kruszywa lub lepiszcza asfaltowego), wyrażona w cm^3/m^2 , przy pomocy symulacji obliczeń objętości powietrza (*ang.* Air Void Content — AVC) z uwzględnieniem porowatości nawierzchni (*ang.* Road Porosity Index — RPI).

8.2. Metoda automatycznej oceny nawierzchni

Automatyczna ocena stanu nawierzchni opiera się na wykonaniu wysokiej rozdzielczości obrazu 3D nawierzchni drogowej oraz zdjęć z wykorzystaniem kamer rejestrujących ogólny widok jezdni z przodu i z tyłu pojazdu. Specjalistyczne, szybkoklatkowe kamery rejestrują obraz nawierzchni pasa drogowego wraz z obrazem linii laserowej, wygenerowanej przy pomocy projektorów laserowych. W wyniku zastosowania takiej techniki powstaje obraz 3D, który służy do automatycznych analiz ukierunkowanych na wykrywanie uszkodzeń nawierzchni (w tym ich szerokości i głębokości, jeśli dotyczy).



Rys. 8.1. Zestaw do pomiaru spękań nawierzchni oraz widok ogólnej zasady działania systemu

Ogólne parametry systemu pomiarowego LCMS (kamer 3D):

1. Częstotliwość próbkowania: 5600 profili/s lub 11200 profili/s.
2. Prędkość pomiarowa: 10–100 km/h.
3. Odstęp między profilami: 1–5 mm (konfigurowalne).
4. Szerokość pomiarowa: 4 m.
5. Rozdzielczość pozioma: 4096 punktów/profil.
6. Głębokość płaszczyzny pomiarowej: 250 mm (konfigurowalne).
7. Dokładność odczytu: 0,5 mm.
8. Liczba kamer w zestawie: 2.
9. Możliwość pomiaru w dzień lub w nocy.
10. Rozdzielczość zdjęć z kamery przedniej min.: 1280 px × 960 px.



Rys. 8.2. Elementy urządzenia pomiarowego

Pomiar odbywa się z prędkością 10–100 km/h, co przy częstotliwości 5,6–11,2 kHz pozwala rejestrować profile z interwałem 5 mm. Przekroczenie prędkości 100 km/h może skutkować błędami w danych, wynikającymi z pominięcia pomiaru niektórych profili. Pomiar może się odbywać w temperaturze powietrza 0–40°C. Nawierzchnia musi być całkowicie sucha, aby zagwarantować najwyższą możliwą dokładność pomiaru. System musi posiadać magazyn dyskowy o dużej pojemności. Dane maszynowe z 1 km i interwału profili 5 mm to około 2 GB.

Tabela 8.1. Wymagania sprzętowe dla systemu do automatycznej oceny wizualnej nawierzchni

Lp.	Parametr	Jednostka	Wymagany zakres
1	Krok pomiarowy (profil)	mm	5
2	Krok pomiarowy (zdjęcie)	m	10
3	Rozdzielczość pozioma (profil)	mm	1
4	Dokładność pojedynczego pomiaru	mm	0,5
5	Prędkość pomiaru	km/h	10–100
6	Temperatura otoczenia	°C	0–40

8.3. Inwentaryzacja uszkodzeń/napraw nawierzchni asfaltowych

8.3.1. Założenia

Ocena automatyczna odbywa się w oparciu o inwentaryzację uszkodzeń nawierzchni, których rodzaje zostały wymienione w tabeli 8.2.

Stan uszkodzeń jest określany przez:

1. Stopień szkodliwości (w zastosowaniu do pęknięć i łat):
M — mały,
D — duży.
2. Zakres występowania w:
m — długość,
m² — powierzchnia.

Dla uszkodzeń typu pęknięcia siatkowe, pęknięcia pojedyncze i łaty wyznacza się ocenę w oparciu o zakres oraz stopień szkodliwości. Dla uszkodzeń typu wyboje oraz ubytki ziaren wyznacza się ocenę w oparciu o ich zakres.

Zakres uszkodzeń obliczany jest w sposób automatyczny dla każdego zdjęcia pomiarowego dzieląc zdjęcie wirtualną siatką pomiarową o wielkości pola 25 cm × 25 cm. Każde pole siatki pomiarowej ma powierzchnię 0,0625 m² oraz długość 0,25 m. Wielkości te wyznaczają zakresy uszkodzeń występujących w obrębie pola.

Tabela 8.2. Identyfikowane uszkodzenia nawierzchni asfaltowych

Lp.	Uszkodzenie nawierzchni	Sposób identyfikowania
1	Pęknięcia siatkowe	automatycznie
2	Pęknięcia pojedyncze — podłużne (w tym uszkodzenia krawędzi)	automatycznie
3	Pęknięcia pojedyncze — poprzeczne	automatycznie
4	Łaty	półautomatycznie z materiału zdjęciowego
5	Wyboje	automatycznie
6	Ubytki ziaren	automatycznie

8.3.2. Opis uszkodzeń/napraw nawierzchni asfaltowych

Pęknięcia siatkowe — wzajemnie przecinające się, nieregularnie rozmieszczone, poprzeczne, podłużne i ukośne pęknięcia warstwy asfaltowej, dzielące jej powierzchnię na wieloboki (także nawierzchnie frezowane, otwarte na erozję w okresie zimowym). Ich stan jest określany przez:

1. Szkodliwość:
 - a) mała — pęknięcia o szerokości do 3 mm;
 - b) duża — pęknięcia o szerokości powyżej 3 mm.
2. Zakres — suma powierzchni pól siatki pomiarowej, dla których uszkodzenie zostało zidentyfikowane, wyrażana w m², obliczana oddzielnie dla każdego stopnia szkodliwości, dla jednego zdjęcia pomiarowego.

Pęknięcia pojedyncze:

podłużne — przebiegające prosto lub krzywoliniowo pojedyncze pęknięcia warstwy asfaltowej o kierunku równoległym lub ukośnym do osi jezdni, w tym również nieszczelne spojenia technologiczne;

poprzeczne — przebiegające prosto lub krzywoliniowo pojedyncze pęknięcia warstwy asfaltowej o kierunku prostopadłym do osi jezdni.

Ich stan jest określany przez:

1. Szkodliwość:
 - a) mała — pęknięcia o szerokości do 3 mm;
 - b) duża — pęknięcia o szerokości powyżej 3 mm.

2. Zakres — suma długości pól siatki pomiarowej, dla których uszkodzenie zostało zidentyfikowane, wyrażana w m, obliczana oddzielnie dla każdego stopnia szkodliwości, dla jednego zdjęcia pomiarowego.

Łaty — miejsca nawierzchni, na których dokonano wymiany nawierzchni, uzupełnienia ubytków, wypełnienia zapadnięć lub naprawy wybojów. Ich stan jest określany przez:

1. Szkodliwość:
 - a) mała — łata, bez pęknięć lub z występującymi pęknięciami (pojedynczymi lub siatkowymi), których zakres występowania pokrywa do 20% jej powierzchni;
 - b) duża — łata, z występującymi pęknięciami (pojedynczymi lub siatkowymi), których zakres występowania pokrywa więcej niż 20% jej powierzchni.
2. Zakres — wyznaczany łącznie dla uszkodzeń typu łaty i wyboje. Suma powierzchni pól siatki pomiarowej, w których zidentyfikowano uszkodzenie, wyrażana w m², obliczana oddzielnie dla każdego stopnia szkodliwości, dla jednego zdjęcia pomiarowego. Do powierzchni łat o dużej szkodliwości dodawana jest powierzchnia wybojów. Zakres małej szkodliwości tych uszkodzeń jest równy zakresowi łat o małej szkodliwości

Wyboje — miejsce nawierzchni, gdzie występuje ubytek masy warstwy jezdnej na głębokości większej niż grubość warstwy ścieralnej (w przypadku nawierzchni asfaltowych przyjmuje się 40 mm). Ich stan jest określany przez:

1. Szkodliwość — nie określa się.
2. Zakres — suma powierzchni pól siatki pomiarowej, dla których uszkodzenie zostało zidentyfikowane, wyrażana w m², obliczana dla jednego zdjęcia pomiarowego.

Ubytki ziaren lub lepiszcza — miejsca nawierzchni, na których nastąpił ubytek materiału warstwy ścieralnej bez naruszenia warstw niżej leżących. Do uszkodzeń tego typu zaliczają się również ubytki powierzchniowe dla których wartość RI (wskaźnik ubytków) jest wyższa niż 20. Ich stan jest określany przez:

1. Szkodliwość — nie określa się.
2. Zakres — suma powierzchni pól siatki pomiarowej, dla których uszkodzenie zostało zidentyfikowane, wyrażana w m², obliczana dla jednego zdjęcia pomiarowego.

8.3.3. Przebieg inwentaryzacji uszkodzeń nawierzchni asfaltowych

Inwentaryzacja uszkodzeń przebiega w dwóch etapach:

1. Rejestracja obrazu 3D nawierzchni pasa ruchu oraz zdjęć z wykorzystaniem kamer inwentaryzujących ogólny widok jezdni z przodu i z tyłu pojazdu.
2. Identyfikacja uszkodzeń:
 - a) automatyczna identyfikacja spękań, ubytków i wybojów,
 - b) półautomatyczna identyfikacja łat.

Rejestracja obrazu 3D nawierzchni pasa ruchu wykonywana jest z wykorzystaniem pojazdu pomiarowego wyposażonego w kamery 3D, kamerę poglądową, odbiornik GPS oraz czujnik pomiaru długości. Kamery 3D zainstalowane są z tyłu pojazdu i rejestrują obraz 3D pasa ruchu w sposób ciągły dzieląc obraz nawierzchni na odcinki o długości 10 m. Kamera poglądowa zainstalowana jest z przodu pojazdu i rejestruje obraz pasa drogowego z określonym interwałem. Odbiornik GPS umożliwia rejestrację współrzędnych geograficznych położenia pojazdu z częstotliwością nie mniejszą niż 1 Hz oraz dokładnością 1 m. Czujnik pomiaru długości zainstalowany jest na kole pojazdu, na osi nie będącej osią napędową. System pomiaru długości musi posiadać opcję kalibracji w celu dostosowania pomiarów do panujących na drodze warunków.

Pojazd, z którego wykonywany jest pomiar powinien być wyposażony w niezbędne oznakowanie zgodnie z obowiązującym zarządzeniem. Pojazd podczas pomiarów powinien poruszać się optymalnie z prędkością powyżej 60 km/h z zachowaniem zasad ruchu drogowego — w tym ograniczeń prędkości na wybranych odcinkach.

Automatyczna identyfikacja spękań, ubytków i wybojów odbywa się z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania na podstawie danych zarejestrowanych w terenie. W sposób automatyczny zostają zidentyfikowane uszkodzenia wraz z parametrami opisowymi:

1. Pęknięcia podłużne (położenie na zdjęciu 10 m, głębokość i szerokość).
2. Pęknięcia poprzeczne (położenie na zdjęciu 10 m, głębokość i szerokość).
3. Pęknięcia siatkowe (położenie na zdjęciu 10 m, głębokość i szerokość).
4. Wyboje (położenie na zdjęciu 10 m, głębokość).
5. Ubytki powierzchniowe (położenie na zdjęciu 10 m, parametr RI).

Półautomatyczna identyfikacja łat odbywa się z wykorzystaniem materiału zdjęciowego (zdjęcie nawierzchni i zdjęcie pogładowe). W wyniku identyfikacji otrzymuje się położenie łaty na zdjęciu 10 m w postaci współrzędnych narożników prostokąta reprezentującego zidentyfikowaną łatę.

Przykłady plików ze zdjęciami oraz Katalog uszkodzeń nawierzchni asfaltowych zamieszczono w Załączniku L1.

8.4. Inwentaryzacja uszkodzeń/napraw nawierzchni betonowych

8.4.1. Założenia

Ocena automatyczna odbywa się w oparciu o inwentaryzację uszkodzeń nawierzchni, których rodzaje zostały wymienione w tabeli 8.3.

Stan uszkodzeń jest określany przez:

1. Stopień szkodliwości (w zastosowaniu do pęknięć i łat):
M — mały,
D — duży.
2. Zakres występowania w:
m — długość,
m² — powierzchnia,
T/N — występowanie.

Dla uszkodzeń, dla których rozróżnia się stopnie szkodliwości wyznacza się ocenę w oparciu o ich zakres oraz stopień szkodliwości. Dla pozostałych uszkodzeń wyznacza się ocenę w oparciu o ich zakres.

Zakres uszkodzeń obliczany jest w sposób automatyczny dla każdego zdjęcia pomiarowego dzieląc sekcję 10 m wirtualną siatką pomiarową o wielkości pola 25 cm × 25 cm. Każde pole siatki pomiarowej posiada powierzchnię 0,0625 m² oraz długość boku 0,25 m. Wielkości te wyznaczają zakresy uszkodzeń występujących w obrębie pola.

Tabela 8.3. Identyfikowane uszkodzenia nawierzchni betonowych

Lp.	Uszkodzenie nawierzchni	Sposób identyfikowania	Rozróżnienie szkodliwości	Miara
1	Pęknięcia pojedyncze — podłużne /ukośne (rozproszone)	automatycznie	tak	m
2	Pęknięcia pojedyncze — poprzeczne	automatycznie	tak	m
3	Uszkodzenia przy krawędzi, w tym narożników płyt	automatycznie	tak	m
4	Uszkodzenia szczelin	automatycznie	tak	m
5	Uszkodzenia powierzchni (w tym wyboje, ubytki)	automatycznie		m ²
6	Mikropęknięcia powierzchniowe na sekcji 10 m	półautomatycznie z materiału zdjęciowego		T/N
7	Łaty	półautomatycznie z materiału zdjęciowego	tak	m ²
8	Połamane płyty na sekcji 10 m	automatycznie z opcją identyfikacji manualnej		T/N

8.4.2. Uszkodzenia nawierzchni betonowych na odcinku o długości 10 m

Na rys. 8.3, 8.4, 8.5 i 8.6 zamieszczono schematy poszczególnych rodzajów uszkodzeń inwentaryzowanych w ramach pomiarów nawierzchni betonowych. W ilustracji schematów użyto następujących oznaczeń uszkodzeń na sekcji 10 m:

1. linie niebieskie — ilustrują krawędzie płyt betonowych,
2. linie czarne w obrębie prostokątów — ilustrują uszkodzenia nawierzchni.

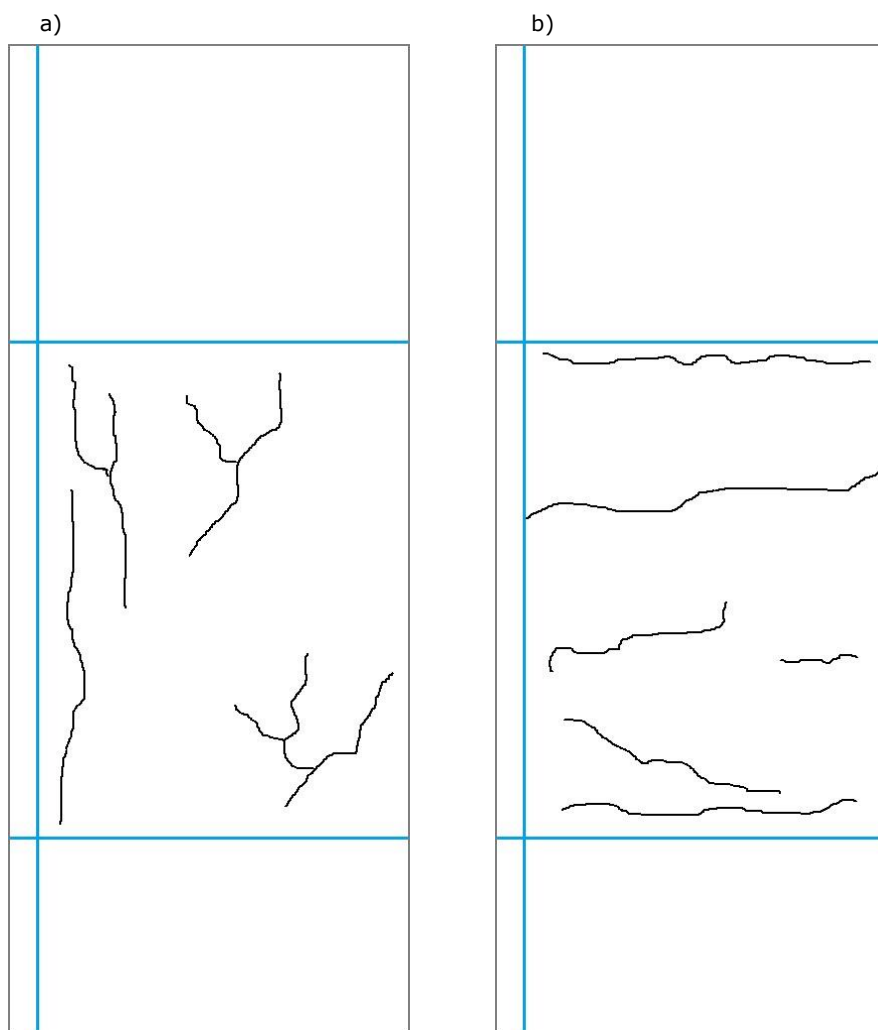
Pęknięcia pojedyncze:

podłużne/ukośne (rozproszone) — przebiegające prosto lub krzywoliniowo pojedyncze pęknięcia o kierunku równoległym lub ukośnym do osi jezdni, w tym również pęknięcia rozproszone, nieszczelne spoiny technologiczne, oraz uszkodzenia narożników powyżej 50 cm od krawędzi;

poprzeczne — przebiegające prosto lub krzywoliniowo pojedyncze pęknięcia o kierunku prostopadłym do osi jezdni.

Ich stan jest określany przez:

1. Szkodliwość, która może być:
 - a) mała — pęknięcia o szerokości do 3 mm,
 - b) duża — pęknięcia o szerokości powyżej 3 mm.
2. Zakres — suma długości pól siatki pomiarowej, dla których uszkodzenie zostało zidentyfikowane, wyrażana w m, obliczana oddzielnie dla każdego stopnia szkodliwości, dla jednego zdjęcia pomiarowego.



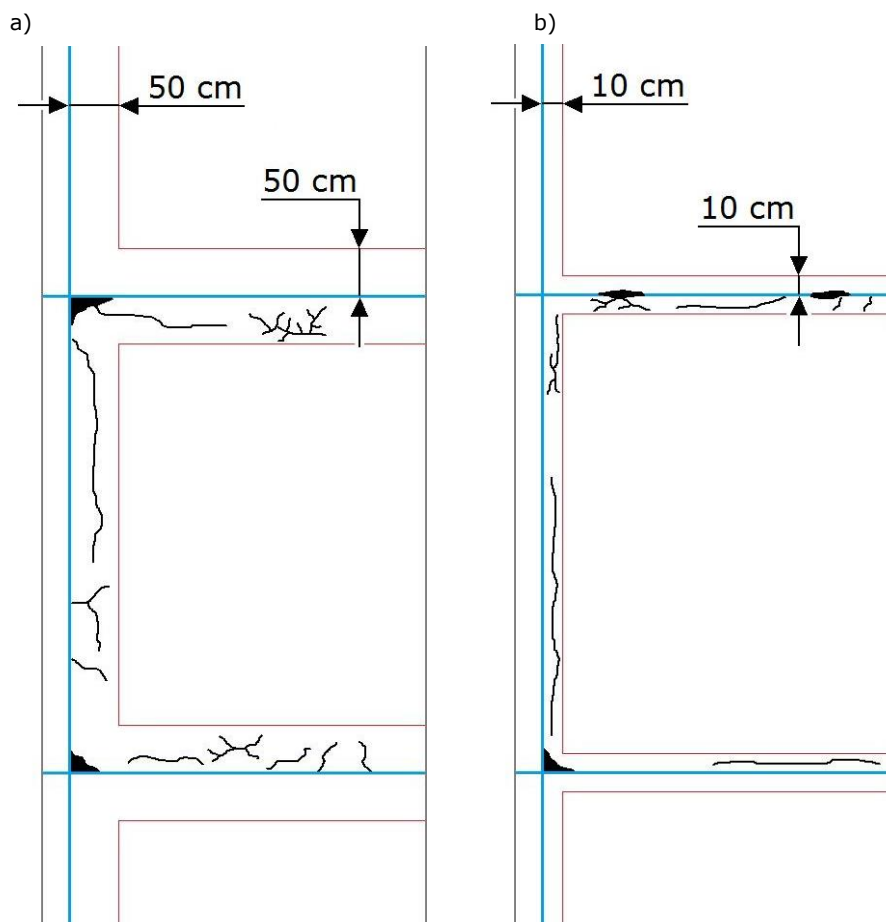
Rys. 8.3. Schematyczna ilustracja:
a) pęknięć podłużnych/ukośnych (rozproszonych), b) pęknięć poprzecznych

Uszkodzenia przy krawędzi — uszkodzenia w przybliżeniu równoległe do krawędzi albo pęknięcia w odległości do 50 cm od krawędzi, w tym uszkodzone narożniki płyt. Ich stan jest określany przez:

1. Szkodliwość, która może być:
 - a) mała — pęknięcia o szerokości do 3 mm,
 - b) duża — pęknięcia o szerokości powyżej 3 mm.
2. Zakres — suma długości pól siatki pomiarowej, dla których uszkodzenie zostało zidentyfikowane, wyrażana w m, obliczana oddzielnie dla każdego stopnia szkodliwości, dla jednego zdjęcia pomiarowego.

Uszkodzenia szczeliny — wykruszenia i obłamania w odległości do 10 cm od krawędzi szczeliny, zazwyczaj nie sięgają na całą głębokość lecz przecinają powierzchnię boczną płyty. Ich stan jest określany przez:

1. Szkodliwość, która może być:
 - a) mała — pęknięcia o małej szkodliwości,
 - b) duża — pęknięcia o dużej szkodliwości oraz wyboje.
2. Zakres — suma długości pól siatki pomiarowej, dla których uszkodzenie zostało zidentyfikowane, wyrażana w m b., obliczana dla jednego zdjęcia pomiarowego.



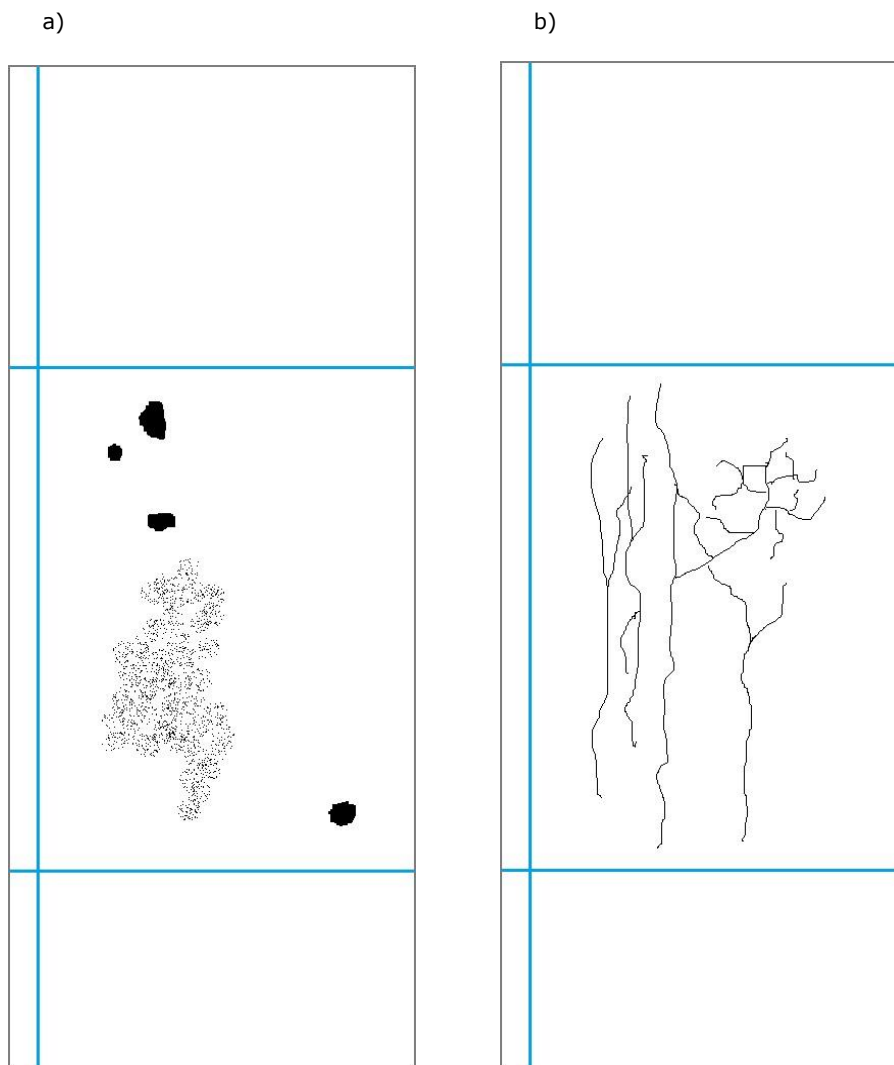
Rys. 8.4. Schematyczna ilustracja:
a) uszkodzeń przy krawędzi i narożników płyt, b) uszkodzeń szczeliny

Uszkodzenia powierzchni — do uszkodzeń tego typu zaliczają się wyboje, czyli miejscowe ubytki materiału (w przypadku nawierzchni betonowych przyjmuje się 20 mm), ubytki powierzchniowe (Ravelling), dla których wartość RI (Ravelling Index) jest większa niż 20 oraz wykruszenia warstwy nawierzchniowej. Ich stan jest określany przez:

1. Szkodliwość — nie określa się.
2. Zakres — suma powierzchni pól siatki pomiarowej, dla których uszkodzenie zostało zidentyfikowane, wyrażana w m², obliczana dla jednego zdjęcia pomiarowego.

Mikropęknięcia powierzchniowe — pęknięcia przebiegające prosto lub krzywoliniowo, z reguły tworzące siatkę pęknięć, o szerokości mniejszej niż 2 mm. Ich stan jest określany przez:

1. Szkodliwość — nie określa się.
2. Zakres (występowanie):
 - a) Tak — sekcja 10 m posiada uszkodzenia, wartość wyznaczana w sposób manualny przez operatora podczas analizy materiału zdjęciowego,
 - b) Nie — sekcja 10 m nie posiada uszkodzeń.



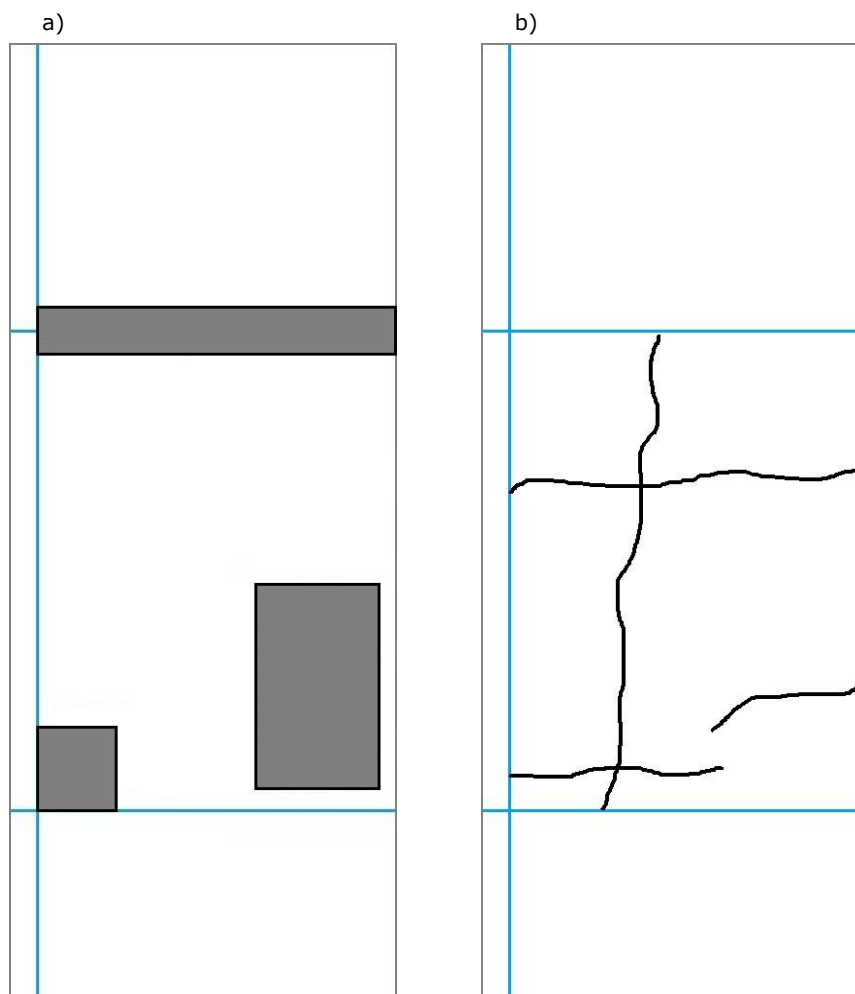
Rys. 8.5. Schematyczna ilustracja:
a) uszkodzeń powierzchni, b) mikropęknięć powierzchniowych (szerokość poniżej 2 mm)

Łaty — miejsca nawierzchni, na których dokonano wymiany nawierzchni, uzupełnienia ubytków, wypełnienia zapadnięć lub naprawy wybojów. Ich stan jest określany przez:

1. Szkodliwość, która może być:
 - a) mała — łata, bez pęknięć lub z występującymi pęknięciami (pojedynczymi lub siatkowymi), których zakres występowania pokrywa do 20% jej powierzchni;
 - b) duża — łata, z występującymi pęknięciami (pojedynczymi lub siatkowymi), których zakres występowania pokrywa więcej niż 20% jej powierzchni.
2. Zakres — suma powierzchni pól siatki pomiarowej, dla których uszkodzenie zostało zidentyfikowane, wyrażana w m^2 , obliczana oddzielnie dla każdego stopnia szkodliwości, dla jednego zdjęcia pomiarowego.

Połamane płyty na sekcji 10 m — przecinające się pęknięcia zmęczeniowe dzielące płytę/ty w obszarze sekcji na kilka fragmentów; w automatycznej ocenie przyjmuje się następujące założenia wskazujące połamaną płytę. Ich stan jest określany przez:

1. Szkodliwość — nie określa się.
2. Zakres (występowanie):
 - a) Tak — sekcja 10 m posiada uszkodzenia wskazujące połamaną płytę, wartość przyjmowana gdy na co najmniej 50% długości oraz w przypadku co najmniej 75% szerokości sekcji (liczonych po kratkach siatki pomiarowej) występują pęknięcia o szerokości większej niż 5 mm;
 - b) Nie — sekcja 10 m nie posiada uszkodzeń wskazujących na połamaną płytę.Opcjonalnie (w przypadku pęknięć uszczelnionych) zakres wyznaczany jest w sposób półautomatyczny przez operatora podczas analizy materiału zdjęciowego.



Rys. 8.6. Schematyczna ilustracja:
a) łat, b) sekcji z połamanymi płytami

8.4.3. Przebieg inwentaryzacji uszkodzeń nawierzchni betonowych

Inwentaryzacja uszkodzeń przebiega w dwóch etapach:

1. Rejestracja obrazu 3D nawierzchni pasa ruchu.
2. Identyfikacja uszkodzeń:
 - a) automatyczna identyfikacja spękań, ubytków, wybojów i połamanych płyt,
 - b) półautomatyczna identyfikacja łat i mikropęknięć.

Rejestracja obrazu 3D nawierzchni pasa ruchu wykonywana jest z wykorzystaniem pojazdu pomiarowego wyposażonego w kamery 3D, kamerę poglądową, odbiornik GPS oraz czujnik pomiaru długości. Kamery 3D zainstalowane są z tyłu pojazdu i rejestrują obraz

3D pasa ruchu w sposób ciągły dzieląc obraz nawierzchni na odcinki o długości 10 m. Kamera pogładowa zainstalowana jest z przodu pojazdu i rejestruje obraz pasa drogowego z określonym interwałem. Odbiornik GPS umożliwia rejestrację współrzędnych geograficznych położenia pojazdu z częstotliwością nie mniejszą niż 1 Hz oraz dokładnością 1 m. Czujnik pomiaru długości zainstalowany jest na kole pojazdu, na osi nie będącej osią napędową. System pomiaru długości musi posiadać opcję kalibracji w celu dostosowania pomiarów do panujących na drodze warunków.

Pojazd, z którego wykonywany jest pomiar powinien być wyposażony w niezbędne oznakowanie zgodnie z obowiązującym zarządzeniem. Pojazd podczas pomiarów powinien poruszać się optymalnie z prędkością powyżej 60 km/h z zachowaniem zasad ruchu drogowego — w tym ograniczeń prędkości na wybranych odcinkach.

Automatyczna identyfikacja parametrów nawierzchni odbywa się z wykorzystaniem komputerów i specjalistycznego oprogramowania na podstawie danych zarejestrowanych w terenie. W sposób automatyczny zostają zidentyfikowane uszkodzenia wraz z parametrami opisowymi:

1. Pęknięcia podłużne/poprzeczne/ukośne (położenie na zdjęciu 10 m, głębokość i szerokość).
2. Wyboje (położenie na zdjęciu 10 m, głębokość).
3. Uszkodzenia powierzchniowe (położenie na zdjęciu 10 m, parametr RI — Ravelling Index).
4. Krawędzie pasa ruchu na podstawie malowania linii krawędziowych pasa ruchu (położenie na zdjęciu).
5. Parametry makrotekstury MPD (oddzielnie dla powierzchni w obszarze kolein oraz pozostałych obszarów zdjęcia 10 m).
6. Dylatacje płyt.

Półautomatyczna identyfikacja łat odbywa się z wykorzystaniem materiału zdjęciowego (zdjęcie nawierzchni i zdjęcie pogładowe). W wyniku identyfikacji otrzymuje się położenie łaty na zdjęciu 10 m w postaci współrzędnych narożników prostokąta reprezentującego zidentyfikowaną łatę.

Mikropęknięcia oznaczane są poprzez nadanie wartości o występowaniu (Tak/Nie) na sekcji 10 m. Oznacza się je w przypadku możliwości zidentyfikowania ich na zdjęciach z kamer rejestrujących ogólny widok jezdni z przodu i tyłu pojazdu.

Przykłady plików ze zdjęciami oraz Katalog uszkodzeń nawierzchni asfaltowych zamieszczono w Załączniku L2.

8.5. Kontrola własna pomiarów w ramach kampanii pomiarowej

Istotnym elementem procesu zapewnienia jakości automatycznych pomiarów uszkodzeń/napraw nawierzchni przy pomocy specjalistycznego urządzenia jest kontrola własna, realizowana regularnie przez wykonawcę pomiarów. Kontrola własna polega na cyklicznym powtarzaniu pomiarów na wybranych odcinkach dróg i na porównaniu uzyskanych wyników.

Kontrolę własną pomiarów należy prowadzić zgodnie z Załącznikiem F6.

9. Pomiary właściwości oznakowania poziomego nawierzchni

9.1. Pojęcia podstawowe

Współczynnik luminancji retrorefleksyjnej R_L — iloraz luminancji L powierzchni oznakowania drogowego w kierunku obserwacji i luminancji powierzchni prostopadłej względem kierunku padającego światła (tzw. widzialność w nocy) [41].

Współczynnik luminancji przy oświetleniu rozproszonym Q_d — iloraz luminancji powierzchni oznakowania drogowego w określonym kierunku i iluminacji tej powierzchni (tzw. widzialność w dzień) [41].

Wartość odporności na poślizg SRT — jakość odporności na poślizg mokrej powierzchni zmierzonej w oparciu o tarcie gumowego suwaka o tę powierzchnię przy niskiej prędkości [41].

Oznakowanie poziome — znaki drogowe poziome, umieszczone na nawierzchni w postaci linii ciągłych lub przerywanych, pojedynczych lub podwójnych, strzałek, napisów, symboli oraz innych linii związanych z oznaczeniem określonych miejsc na tej nawierzchni [11].

Oznakowanie cienkowarstwowe — nakładane warstwą o grubości 0,3–0,89 mm, mierzoną na mokro [11].

Oznakowanie grubowarstwowe — nakładane warstwą o grubości 0,9–3,5 mm. Dla linii strukturalnych i profilowanych grubość linii może wynosić do 5 mm [11].

Mobilne urządzenie pomiarowe — odpowiednie do badań w sposób ciągły oznakowania poziomego urządzenie składające się z trzech elementów [11]:

1. Systemu mobilnego dla danych i akwizycji obrazu (samochód, kamery, itp.).
2. Oprogramowania do badań oraz pozycjonowania.
3. Oprogramowania do analizy.

9.2. Metoda pomiaru

Zasady zawarte w niniejszym rozdziale dotyczą prowadzenia prac związanych z badaniami i oceną właściwości oznakowania poziomego dróg. Ustalenia zawarte w wytycznych dotyczą zasad prowadzenia prac związanych z badaniami i oceną właściwości oznakowania poziomego dróg.

Podczas badania są rejestrowane dane o lokalizacji toru pomiarowego, przez podanie pikietaża/systemu referencyjnego i współrzędnych geograficznych.

9.2.1. Zasady ogólne

Pomiar w ramach DSN należy wykonywać na drogach krajowych klasy A i S oraz w szczególnych przypadkach GP na każdej głównej linii oznakowania poziomego (krawędziowa zewnętrzna — prawa, krawędziowa wewnętrzna — lewa, linia/e osiowa/e) urządzeniem, które jest w pełni sprawne, odpowiednio skalibrowane oraz dopuszczone do wykonywania pomiarów. Prędkość z jaką należy wykonywać pomiar nie może przekraczać 90 km/h.

W przypadku dróg dwujezdniowych pomiar należy wykonać urządzeniem pomiarowym zamontowanym na pojeździe pomiarowym z prawej lub lewej strony dla wewnętrznych pasów ruchu oraz z prawej strony dla pasów ruchu innych niż wewnętrzne. W przypadku dróg jednojezdniowych pomiar należy wykonać urządzeniem pomiarowym zamontowanym na pojeździe pomiarowym tak aby oznaczenie oznakowania poziomego zlokalizowanego w osi jezdni przypisane zostało do pasa z rosnącym pikietażem.

Tabela 9.1. Wymagania sprzętowe dla urządzeń do pomiaru właściwości oznakowania poziomego

Lp.	Parametr	Jednostka	Wymagany zakres
1	Krok pomiarowy	m	≤ 1
2	Zakres pomiarowy współczynnika R_L	$\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$	0–2000
3	Zakres pomiarowy współczynnika Q_d	$\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$	0–318
4	Częstotliwość miernika odbicia światła	kHz	≥ 15
5	Prędkość pomiaru	km/h	≤ 90
6	Temperatura otoczenia	°C	0–40

9.2.2. Zasady szczegółowe – instrukcja realizacji pomiarów

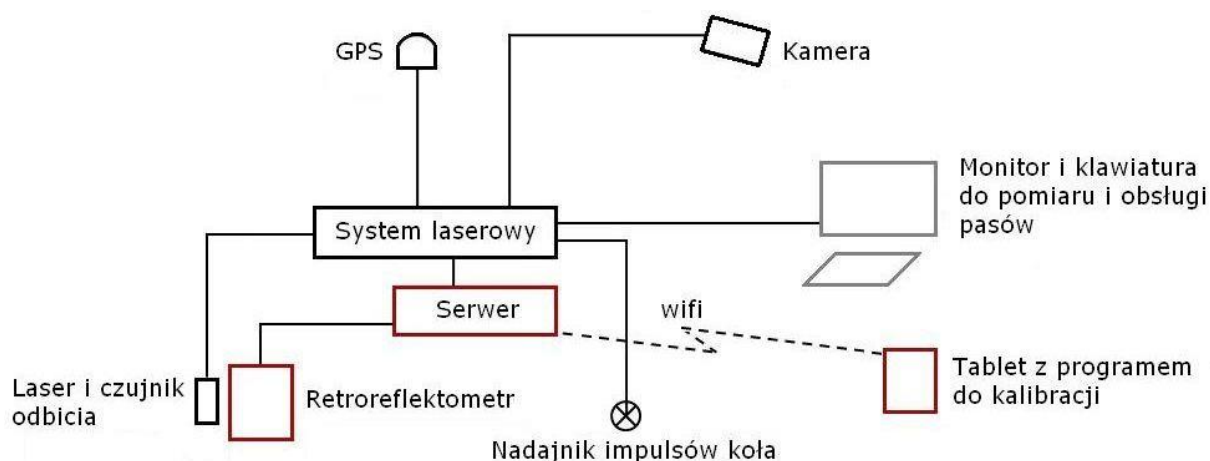
Zasady szczegółowe związane z realizacją pomiarów określające między innymi: instalację, uruchomienie systemu pomiarowego, kalibrację i pomiar opisano w instrukcji obsługi urządzenia oraz w Załączniku D5.

9.3. Sprzęt pomiarowy

Do wykonywania pomiarów właściwości oznakowania poziomego dróg wykonywanych w ramach DSN na drogach krajowych klasy A, S i GP należy stosować mobilne urządzenia pomiarowe RMT (Road Marking Tester), na których system pomiarowy składają się następujące elementy główne:

1. Retroreflektometr — umożliwiający pomiar współczynnika R_L w sposób ciągły w trakcie jazdy w zakresie 0–2000 $\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ na polu pomiarowym 1 m × 1 m].
2. Czujnik laserowy do pomiaru tekstury oznakowania, umożliwiający pomiar parametru MPD oznakowania poziomego zgodnie z [40].
3. Miernik odbicia światła o częstotliwości co najmniej 15 kHz.
4. Frontowa kamera cyfrowa umożliwiająca uzyskanie obrazów w formacie JPG.
5. Dystansomierz zamontowany na kole pojazdu pomiarowego.
6. System prowadzenia operatora dla zapewnienia prawidłowej pozycji bocznej na drodze, bazujący na zewnętrznej bocznej kamerze z wyświetlaczem ekranowym. System umożliwiający wykrywanie pomiarów na i poza linią oznakowania poziomego.
7. Odbiornik GNSS (Global Navigation Satellite System) umożliwiający określenie lokalizacji pomiaru.
8. System komputerowy wraz z oprogramowaniem — komputerowa jednostka rejestrująca i przetwarzająca dane ze wszystkich urządzeń i czujników systemu o parametrach podzespołów i mocy obliczeniowej zapewniających płynne przetwarzanie wszelkich danych pomiarowych.

Dopuszcza się stosowanie równoważnej wiarygodnej aparatury pomiarowej, jeśli ma ona świadectwo walidacji dla mierzonych parametrów (cechy geometryczne przyrządu pomiarowego, wykorzystywanego do pomiaru odbłaskowości powinny być zgodne z normą PN-EN 1436:2008) oraz ma możliwość do jednoczesnego określania trzech wartości właściwości fizycznych oznakowania poziomego: R_L , Q_d i SRT.



Rys. 9.1. Elementy składowe systemu pomiarowego [14]



Rys. 9.2. Samochód pomiarowy z zamontowanymi elementami składowymi systemu typu RMT 2.0.

Pojazd, z którego wykonywany jest pomiar, powinien być wyposażony w niezbędne oznakowanie, zgodnie z obowiązującym zarządzeniem.

Opis struktury plików, z niezbędnymi danymi do przetwarzania wyników pomiarów wartości właściwości fizycznych oznakowania poziomego nawierzchni, został szczegółowo opisany w Załączniku H.

9.4. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych

W ramach programu zapewnienia jakości należy wykonywać:

1. Sprawdzenie bieżące sprawności technicznej elementów pomiarowych systemu RMT.
2. Kalibrację podstawowych elementów pomiarowych systemu RMT.
3. Pomiary porównawcze przedsezonowe.
4. Okresowe kontrolne pomiary na własnych odcinkach testowych.

Sprawdzenie bieżące elementów pomiarowych systemu RMT należy wykonywać codziennie — przed serią pomiarów w trakcie trwania kampanii pomiarowej DSN.

Kalibracje podstawowych elementów pomiarowych systemu RMT (reflektometr, lampa błyskowa) należy przeprowadzać zgodnie z odpowiednimi procedurami producenta zawartymi w instrukcji obsługi zawartej w Załączniku D5.

Pomiary porównawcze przedsezonowe należy przeprowadzić w oparciu o procedurę zawartą w Załączniku E5.

Okresowe pomiary kontrolne na własnych odcinkach testowych, należy przeprowadzić w trakcie kampanii pomiarowej, w oparciu o procedurę zawartą w Załączniku F5, a ich liczbę należy uzależnić od między innymi, czasu trwania kampanii pomiarowej oraz długości odcinków pomiarowych — jednak nie mniej, jak jeden raz w trakcie trwania kampanii pomiarowej DSN.

10. Pomiary konstrukcji nawierzchni drogowych metodą georadarową

10.1. Pojęcia podstawowe

Metoda georadarowa — metoda geofizyczna oparta na wykorzystywaniu fal elektromagnetycznych (najczęściej o częstotliwościach 10–2500 MHz) do nieinwazyjnego kartowania warstw przypowierzchniowych i lokalizacji obiektów antropogenicznych (m.in. urządzenia infrastruktury podziemnej, wcześniejsze konstrukcje dróg) znajdujących się pod powierzchnią terenu.

Georadar — aparatura pomiarowa składająca się z zespołu zasilania, zapisu, sterowania, przetwarzania danych, jednostki centralnej wraz z komputerem oraz anten o różnych częstotliwościach emitowania fali elektromagnetycznej [62].

Pomiar georadarowy — polega na wysyłaniu przez antenę nadawczą w głąb ośrodka fali elektromagnetycznej o określonej częstotliwości oraz na odebraniu przez antenę odbiorczą fali odbitej (na skutek natrafiania na granice ośrodków różniących się między sobą wartością względnej stałej dielektrycznej). Rejestrowany jest zapis przejścia fali elektromagnetycznej od anteny nadawczej do odbiorczej w postaci tzw. echogramu.

Fala elektromagnetyczna — jest rozchodzącym się w przestrzeni polem elektrycznym (opisuje je wektor natężenia elektrycznego E) i magnetycznym (opisuje je wektor indukcji magnetycznej B), prostopadłych do siebie i do kierunku rozchodzenia się, o natężeniach zmieniających się sinusoidalnie. Fala elektromagnetyczna niesie ze sobą energię. Wielkością charakteryzującą fale jest częstotliwość, wyrażona w hercach. Drugą wielkością jest długość fali. Czym większa jest częstotliwość to długość fali jest mniejsza. Częstotliwość dla danej fali jest stała i niezależna od ośrodka. Natomiast długość fali zmienia się, bowiem zależy od prędkości fali a ta z kolei od rodzaju ośrodka. W metodzie georadarowej wykorzystuje się fale radiowe z zakresu długości od 100 m do 100 mm.

Przenikalność elektryczna ϵ — jest to wielkość skalarna równa stosunkowi indukcji pola elektrycznego do natężenia tego pola i ma wymiar farad na metr (F/m). Stanowi współczynnik proporcjonalności pomiędzy wektorem natężenia pola elektrycznego \vec{E} ($V \cdot m$) i wektorem indukcji elektrycznej \vec{D} ($C = A \cdot s$).

Względna przenikalność elektryczna (stała dielektryczna) ϵ_r — wartość bezwymiarowa definiowana jako stosunek przenikalności ośrodka do przenikalności próżni ϵ_0 , gdzie $\epsilon_0 \approx \frac{1}{36\pi} 10^{-9}$ (F/m).

Profilowanie refleksyjne — jest najczęściej stosowaną metodą w badaniach georadarowych i stanowi ona ponad 95% wykonywanych prac tego typu. Dzięki niej otrzymujemy w sposób ciągły informację o rozkładzie struktur w przypowierzchniowej części ośrodka i wyznaczenie głębokości ich występowania wzdłuż wytyczonego profilu. Efektem pomiaru jest zapis w postaci echogramu zależności czasu przejścia fali do odległości. Fizycznie profilowanie refleksyjne odbywa się na zasadzie jednoczesnego przesuwu anteny nadawczej i odbiorczej ze stałą prędkością po linii pomiarowej. Anteny oddalone są względem siebie o tą samą odległość przez cały czas trwania profilowania.

10.2. Metoda pomiaru

Zasady zawarte w niniejszym rozdziale dotyczą prowadzenia prac związanych z badaniami i oceną konstrukcji nawierzchni drogowych. Podczas badania rejestruje się dane o lokalizacji toru pomiarowego, przez podanie pikietaża/systemu referencyjnego i współrzędnych geograficznych.

10.2.1. Zasady ogólne

Pomiary w ramach DSN na drogach należy wykonywać poprzez rejestrację profili podłużnych dla każdego pasa ruchu (zasadnicze, awaryjne). W przypadku odcinków przeznaczonych do remontów badania można rozszerzyć wg potrzeb również o profile poprzeczne pasów ruchu i poboczy umocnionych oraz profile podłużne na poboczach umocnionych. Pomiary wykonuje się urządzeniem, które jest w pełni sprawne, odpowiednio skalibrowane oraz dopuszczone do wykonywania pomiarów.

Tabela 10.1. Wartości liczbowe do wymagań dla pomiaru konstrukcji nawierzchni drogowych metodą georadarową

Lp.	Parametr	Jednostka	Wymagany zakres
1	Krok pomiarowy	m	$\leq 0,25$
2	Zakres pomiarowy	m	do głębokości występowania podłoża gruntowego
3	Częstotliwość anten georadarowych	MHz	2000, 1000 lub 400 (opcjonalnie)
4	Rozdzielczość pionowa	cm	5–30 (w zależności od głębokości)
5	Prędkość pomiaru	km/h	20–80
6	Temperatura otoczenia	°C	0–40

Pomiary georadarem powinny być wykonywane z krokiem próbkowania nie większym niż 25 cm. Pomiary należy przeprowadzać zgodnie z instrukcją producenta sprzętu (wraz z niezbędnymi kalibracjami — co najmniej dwa razy w ciągu dnia i po każdym ponownym uruchomieniu systemu pomiarowego). Do rozpoznania pakietu górnych warstw konstrukcji należy korzystać z anteny 1 GHz (do głębokości: 0,0–1,0 m). Natomiast do rozpoznania dolnych warstw konstrukcji i podłoża gruntowego należy korzystać z anteny 400 MHz (do głębokości 2 m). Dopuszcza się wykorzystywanie anten o innej częstotliwości emitowania fali elektromagnetycznej, pod warunkiem spełnienia kryterium głębokościowego i rozdzielczości pionowej). Pomiar konstrukcji nawierzchni powinien być wykonany w stałych warunkach atmosferycznych, bez opadów deszczu i przy suchej nawierzchni. Zaleca się wykonywanie pomiarów po kilku dniach od intensywnych opadów atmosferycznych.

Interpretacja pomiarów georadarowych powinna uwzględniać dane uzyskane z pomiarów anteną 1 GHz a w razie konieczności również dla danych z anteny 400 MHz. Interpretowane warstwy konstrukcji nawierzchni powinny być opisane zgodnie z obowiązującymi kodami. W wyniku interpretacji powinna zostać określona grubość pakietu warstw asfaltowych (o ile będzie to możliwe również poszczególnych warstw asfaltowych) oraz grubość warstw podbudowy do poziomu podłoża gruntowego. Grubości warstw należy zapisać jako wartości średnie obliczone co 1 m. Strefy występowania obiektów (mosty, wiadukty, przepusty) nie będą podlegały interpretacji. Dla potrzeb interpretacji, na podstawie analizy echogramów (oraz danych archiwalnych), należy wyznaczać odcinki jednorodne konstrukcji w celu określenia miejsc wykonywania odwiertów kalibracyjnych.

10.2.2. Zasady szczegółowe — instrukcja realizacji pomiarów

Zasady szczegółowe związane z realizacją pomiarów, określające między innymi: instalację i uruchomienie systemu pomiarowego, kalibrację, pomiar — opisano w instrukcji obsługi urządzenia pomiarowego (Załącznik D7).

10.3. Sprzęt pomiarowy

Do wykonywania pomiarów konstrukcji nawierzchni drogowych w przypadku profili podłużnych, należy wykorzystywać georadar montowany na samochodzie pomiarowym, natomiast w przypadku wykonywania profili poprzecznych — georadar montowany na wózku pomiarowym.

Pojazd, z którego wykonywany jest pomiar, powinien być wyposażony w niezbędne oznakowanie, zgodnie z obowiązującym zarządzeniem.



Rys. 10.1. Samochód pomiarowy z zainstalowanymi antenami 1 GHz i 0,4 GHz.



Rys. 10.2. Wózek pomiarowy z anteną 0,4 GHz

10.4. Częstotliwość i terminy wykonywania badań weryfikacyjnych

W ramach programu zapewnienia jakości należy wykonywać:

1. Sprawdzenie bieżące sprawności technicznej elementów pomiarowych georadaru.
2. Kalibrację przed pomiarem zgodnie z instrukcją producenta sprzętu.
3. Pomiary porównawcze przedsezonowe.
4. Okresowe pomiary kontrolne na własnych odcinkach testowych (opcjonalnie).

Sprawdzenie bieżące aparatury georadarowej należy wykonywać codziennie — przed serią pomiarów w trakcie trwania kampanii pomiarowej DSN.

Kalibrację przed pomiarem należy przeprowadzać zgodnie z odpowiednimi procedurami producenta zawartymi w instrukcji obsługi zawartej w Załączniku D7.

Pomiary porównawcze przedsezonowe należy przeprowadzić w oparciu o procedurę zawartą w Załączniku E7.

Okresowe pomiary kontrolne na własnych odcinkach testowych, należy przeprowadzić w trakcie kampanii pomiarowej, w oparciu o procedurę opisaną w Załączniku F7 (opcjonalnie).