



**Projekt realizowany w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia RID,
finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju
oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad**

Przedmiot umowy pn:

**Ochrona przed hałasem drogowym
*Zadanie nr 4***

Tytuł przedmiotu umowy*:

**Wytyczne prowadzenia pomiarów hałaśliwości nawierzchni
dla metody CPX**

*zgodny z opisem, stanowiącym załącznik nr 1 do umowy nr DZP/RID-I-76/15/NCBR/2016
wytyczne/instrukcja/analiza/metodologia/wzór/rekomendacje

Akronim Projektu: OT1-1D/PK-PW-PWR-IBDiM-PL

Numer umowy: DZP/RID-I-76/15/NCBR/2016

Lider i Współwykonawcy: PK, PW, PWR, IBDiM, PL

Kierownik Projektu: prof. dr hab. inż. Marian Tracz

Data rozpoczęcia: 01.01.2016

Data zakończenia: 30.05.2018

Spis treści:

1. Zakres
2. Powiązane dokumenty
3. Podstawowe definicje i oznaczenia
4. Urządzenie CPX
5. Procedura wykonywania pomiarów CPX
6. Procedura obliczania poziomów LCPX
7. Elementy sprawozdania
8. Dokładność
9. Bibliografia

1. Zakres

Niniejsze wytyczne opracowano na podstawie normy PN-EN ISO 11819-2:2017-06 - Akustyka - Pomiary wpływu nawierzchni dróg na hałas drogowy - Część 2: Metoda pomiaru w polu bliskim. Określają metodę oceny różnych nawierzchni dróg pod kątem ich wpływu na hałas komunikacyjny, w warunkach dominującego hałasu pochodzącego z kontaktu opony z nawierzchnią. Interpretacja wyników dotyczy swobodnego ruchu pojazdu poruszającego się po zasadniczo równej drodze ze stałą prędkością powyżej 40 km/h, w którym to przypadku zakłada się przewagę hałasu generowanego na styku opony i nawierzchni. W innych warunkach jazdy, w których ruch nie jest płynny, na przykład na skrzyżowaniach lub przy dużym przyspieszeniu, w miejscach o dużym natężeniu ruchu, wpływ nawierzchni drogi na emisję hałasu jest bardziej złożony. Dotyczy to również dróg o dużych nachyleniach podłużnych i dużej liczbie ciężkich pojazdów.

Standardowa metoda porównywania charakterystyk hałasu na nawierzchniach drogowych daje organom drogowym i środowiskowym narzędzie do ustalania powszechnych praktyk lub ograniczeń w zakresie wykorzystania powierzchni spełniających pewne kryteria hałasu. Jednakże nie jest to w zakresie tego dokumentu sugerowanie takich kryteriów.

ISO 11819-1 definiuje inną metodę: metodę statystycznego przejazdu (SPB). Metoda CPX określona w niniejszych wytycznych ma takie same główne cele jak metoda SPB, ale jest przeznaczona do stosowania w aplikacjach, które ją uzupełniają, takich jak:

- 1) charakterystyka hałaśliwości nawierzchni dróg (wpływ nawierzchni na hałas generowany przez poruszające się po niej opony pojazdów) w prawie każdym dowolnym miejscu, którego głównym celem jest sprawdzenie zgodności ze specyfikacją nawierzchni,
- 2) sprawdzenie trwałości akustycznej, np. pod wpływem zużycia, uszkodzenia powierzchni, „zatykania” wolnych przestrzeni oraz ocena efektywności czyszczenia nawierzchni porowatych,
- 3) sprawdzenie jednorodności odcinka drogi,
- 4) rozwój cichszych nawierzchni drogowych i badanie interakcji opony z drogą.

Pomiary metodą CPX są szybsze i bardziej praktyczne niż w przypadku metody SPB, ale są bardziej ograniczone w tym sensie, że mają znaczenie tylko w przypadku, gdy dominuje hałas generowany na styku opony z drogą i hałas jednostki napędowej może być pominięty. Co więcej, nie może uwzględniać wpływu na hałas drogowy ruchu pojazdów ciężarowych tak dokładnie, jak może to być realizowane metodą SPB, ponieważ wykorzystuje oponę do lekkich samochodów ciężarowych jako zastępczą dla ciężkich opon samochodowych i nie uwzględnia hałasu generowanego przez jednostkę napędową.

Metoda CPX ma na celu pomiar właściwości nawierzchni dróg, a nie właściwości opon. Jeżeli metoda ta jest wykorzystywana do celów badawczych, aby wskazać różnice między

oponami, parametry badania będą dostosowywane do innych wartości niż określone w wytycznych.

2. Powiązane dokumenty

- 1) ISO 5725-2, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method
- 2) PN-EN ISO 11819-1, Akustyka - Pomiary wpływu nawierzchni dróg na hałas drogowy - Część 1: Metoda statystyczna pomiaru podczas przejazdu
- 3) PN-EN ISO 11819-2, Akustyka - Pomiary wpływu nawierzchni dróg na hałas drogowy - Część 2: Metoda pomiaru w polu bliskim
- 4) ISO/TS 11819-3, Acoustics — Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise — Part 3: Reference tyres
- 5) ISO/TS 13471-1, Acoustics — Temperature influence on tyre/road noise measurement — Part 1: Correction for temperature when testing with the CPX method
- 6) IEC 60942, Electroacoustics — Sound calibrators
- 7) IEC 61260-1, Electroacoustics — Octave-band and fractional-octave-band filters — Part 1: Specifications
- 8) IEC 61672-1, Electroacoustics — Sound level meters — Part 1: Specifications
- 9) ISO/IEC Guide 98-3, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995),

3. Podstawowe definicje i oznaczenia

Odcinek testowy – odcinek pasa drogowego poddany badaniom.

Segment testowy – część odcinka testowego, długości 20 m, na której następuje normalizacja poziomów ciśnienia akustycznego od rzeczywistej prędkości na tym segmencie do prędkości odniesienia.

Metoda statystycznego pomiaru podczas przejazdu (metoda SPB) – procedura pomiarowa mająca na celu ocenę hałasu pojazdu i ruchu ulicznego generowanego na różnych odcinkach nawierzchni drogi w określonych warunkach ruchu. Metoda SPB jest opisana szczegółowo w normie PN-EN ISO 11819-1.

Opony referencyjne – testowane opony określone w celu reprezentowania określonych cech emisji dźwięku generowanego na styku opony i drogi, zaprojektowane i wykonane do zastosowania w metodzie CPX, z określonymi i powtarzalnymi standardowymi właściwościami. Opony referencyjne zostały opisane w normie ISO/TS 11819-3.

L_{CPX}, poziom CPX – poziom dźwięku ważony filtrem A zmierzony metodą CPX. Może być wyznaczany poziom całkowity lub poziom dla poszczególnych częstotliwości, dB.

$L_{CPX:P}$, poziom CPX dla samochodów osobowych i innych lekkich pojazdów – poziom dźwięku ważony filtrem A zmierzony metodą CPX, charakteryzujący badaną nawierzchnię drogi, oparty na pomiarach wykonanych przy użyciu jednej lub więcej opon reprezentatywnych dla opon stosowanych w samochodach osobowych, dB.

$L_{CPX:H}$, poziom CPX dla pojazdów ciężkich – poziom dźwięku ważony filtrem A zmierzony metodą CPX, charakteryzujący badaną nawierzchnię drogi, oparty na pomiarach wykonanych przy użyciu jednej lub więcej opon reprezentatywnych dla opon pojazdów ciężkich, dB.

$L_{CPX:I}$, indeks CPX – indeks będący średnią ważoną poziomów $L_{CPX:P}$ i $L_{CPX:H}$, dB.

s_t , zmienność akustyczna spowodowana niejednorodnością powierzchni drogi - odchylenie standardowe poziomów ciśnienia akustycznego ważonych filtrem A we wszystkich segmentach testowych, w przypadku użycia opony wzorcowej t , dB

v , zmierzona prędkość – rzeczywista prędkość podczas pomiaru, km/h.

v_{ref} , prędkość referencyjna – prędkość preferowana podczas badania metodą CPX, km/h. Najczęściej stosowane prędkości referencyjne to: 50 km/h, 80 km/h i 110 km/h, ale mogą być stosowane alternatywne prędkości, jeśli jest to wymagane ze względów technicznych, bezpieczeństwa lub prawnych.

B , współczynnik prędkościowy – określający zależność prędkości od poziomów ciśnienia akustycznego, zwykle stosowany do korygowania poziomu ciśnienia akustycznego do prędkości referencyjnej.

γ_t , współczynnik temperaturowy – stosowany do korygowania poziomu CPX, uwzględniający wpływ temperatury dla pomiar, przy zastosowaniu opony t , dB/°C.

β_t , współczynnik twardości bieżnika opony – stosowany do korygowania poziomu CPX, uwzględniający wpływ twardości gumy opony pomiarowej t , dB/Shore A.

$C_{d,f}$, korekcja odbić dźwięku – specyficzna dla każdego urządzenia pomiarowego CPX określana dla pasm tercjowych o częstotliwościach środkowych f w zakresie od 315 do 5000 Hz uwzględniające wpływ odbić dźwięku.

4. Urządzenie CPX

1) Ogólne wymagania

W metodzie CPX, pomiarowi podlegają wazone filtrem A uśrednione poziomy dźwięku rejestrowane na odcinku testowym, przy określonej prędkości, przez co najmniej dwa mikrofony umieszczone blisko opon. W badaniach wykorzystuje się specjalny pojazd testowy, który jest z napędem własnym lub jest holowany za innym pojazdem. Opony referencyjne są montowane w pojeździe badawczym, pojedynczo lub dwie jednocześnie.

Testy są wykonywane w celu określenia poziomu CPX (LCPX) rejestrowanego przez mikrofony, przy jednej lub większej liczbie prędkości referencyjnych. Można to osiągnąć, wykonując badania z prędkością referencyjną lub normalizując odchylenia prędkości.

W przypadku każdej opony referencyjnej i każdego indywidualnego przejazdu testowego z tą oponą rejestruje się średnie poziomy LCPX na krótkich segmentach testowych (odcinki po 20 m każdy), wraz z odpowiednimi prędkościami pojazdu. Poziom LCPX każdego segmentu normalizuje się do prędkości odniesienia za pomocą prostej procedury korekcji. Uśrednianie przeprowadza się następnie zgodnie z celem pomiaru, tj. mierząc konkretny segment lub określoną liczbę kolejnych segmentów (sekcję).

Poziom CPX (LCPX: t v_{ref}), to wynikowy średni poziom dla dwóch obowiązkowych mikrofonów przy prędkości odniesienia, v_{ref} dla opony referencyjnej t , gdzie t to P lub H (w zależności od zastosowanej opony). Jeżeli wyznaczono poziomy CPX dla obu opon referencyjnych indeks LCPX: I jest średnią LCPX: P i LCPX: H z jednakową wagą nadaną obu poziomom.

2) Urządzenia

Urządzenia do pomiaru hałaśliwości nawierzchni metodą CPX muszą być wyposażone w mierniki poziomu dźwięku i w mikrofony. W zakresie częstotliwości nie węższym niż od 315 Hz do 5 000 Hz miernik poziomu dźwięku lub równoważny system pomiarowy muszą spełniać wymagania normy IEC 61672-1, klasa 1. Mikrofony powinny być typu "pola swobodnego" (free-field). Muszą być ponadto wyposażone w osłony przeciwwiatrowe o średnicy co najmniej

90 mm. Właściwości dźwiękowe osłon ulegają pogorszeniu wraz z progresywnym narażeniem materiału na zabrudzenia. Dlatego dobrą praktyką jest częste sprawdzanie stanu osłon przeciwwiatrowych i zastępowanie ich nowymi, gdy wykazują zabrudzenia.

System analizy widmowej musi zapewniać możliwość prowadzenia analiz w pasmach tercjowych przynajmniej w zakresie od 315 Hz do 5 000 Hz (środkowe częstotliwości pasm tercjowych). Filtry muszą spełniać wymagania normy IEC 61260-1.

Na początku, na koniec pomiarów oraz przynajmniej co każde 4 godziny pracy konieczne jest wykonanie kalibracji systemu pomiarowego. Wszelkie odchylenia zapisuje się w sprawozdaniu z badań. Jeżeli odczyty kalibracji różnią się o więcej niż 0,5 dB między

kontrolami, wszystkie pomiary pośrednie uznaje się za nieważne. Kalibrator dźwięku powinien spełniać wymagania normy IEC 60942, klasa 1.

Średnią prędkość pojazdu mierzy się, przy maksymalnym dopuszczalnym błędzie $\pm 1\%$ ustalonej wartości. W przypadku pomiaru prędkości z jednego z kół pojazdu badawczego, koła tego nie należy montować na osi napędowej.

Bardzo użyteczne w badaniach metodą CPX jest używanie systemu GPS lub innych metod identyfikacji pozycji początkowych pomiarów, w celu uniknięcia problemów w lokalizacji sekcji testowej. Zalecane jest, aby system GPS umożliwiał lokalizację z maksymalnym dopuszczalnym błędem ± 5 m.

Przyrządy do pomiaru temperatury powietrza i (nieobowiązkowo) nawierzchni muszą zapewniać dokładność nie gorszą niż $\pm 1^\circ\text{C}$, określoną przez producenta. Mierników wykorzystujących technikę podczerwieni nie stosuje się do pomiarów temperatury powietrza.

Urządzenie wykorzystywane do określenia obciążenia badanego koła powinno zapewniać dokładność pomiaru nie gorszą niż $\pm 5\%$, zgodnie ze wskazaniem producenta.

Urządzenie stosowane do określania ciśnienia powietrza w oponach testowych powinno zapewniać dokładność pomiaru nie gorszą niż $\pm 4\%$.

Zgodność kalibratora dźwięku z wymaganiami odpowiedniej klasy IEC 60942 podlega corocznej weryfikacji. Zgodność miernika poziomego dźwięku lub równoważnego systemu pomiarowego z wymaganiami normy IEC 61672-1 jest weryfikowana co najmniej co dwa lata. Badanie to powinno zostać wykonane przez laboratorium upoważnione do przeprowadzania kalibracji zgodnych z odpowiednimi normami. Zaleca się kalibrację wszystkich pozostałych instrumentów co najmniej co dwa lata.

Badanym pojazdem może być jeden z następujących typów.

- pojazd z własnym napędem, na którym montuje się jedną lub dwie opony referencyjne (testowe) na osi znajdującej się najbliżej mikrofonów. Może to być również pojazd z dodatkową oponą przystosowaną do celów testowych,
- przyczepa holowana przez oddzielny pojazd. Jedną lub więcej opon testowych montuje się na przyczepie. Przyczepa może mieć dodatkowe koła pomagające w zachowaniu stabilności przyczepy (koła podporowe).

Wymagania dotyczące pojazdu badawczego mają na celu zbliżenie się do warunków odniesienia (wzorcowych) tzn. braku udziału innych źródeł hałasu niż opona poruszająca się po nawierzchni drogi, bez odbić dźwięku od innych powierzchni niż nawierzchnia drogi. Pomocne w zbliżeniu się do warunków wzorcowych jest stosowanie osłon akustycznych.

Poniższe wymagania i zalecenia projektowe mają na celu zbliżenie się do tej idealnej sytuacji w warunkach praktycznych.

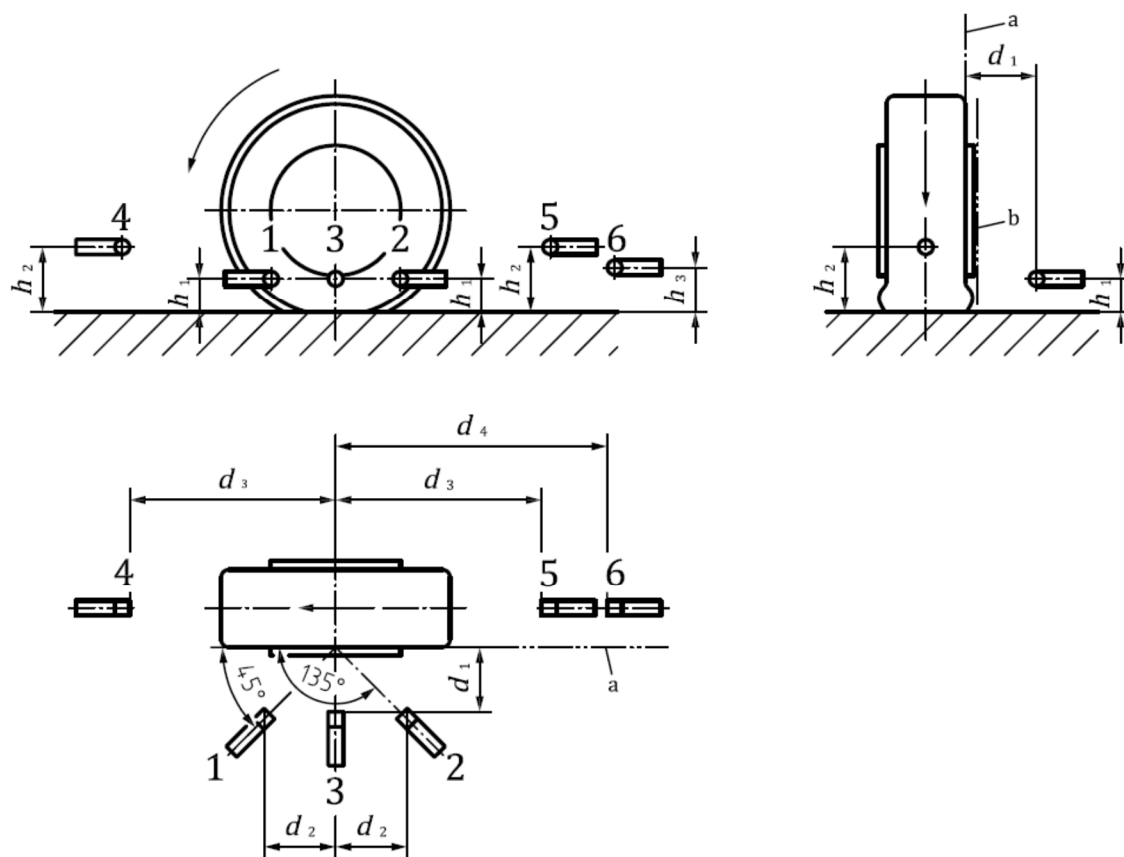
W badaniach metodą CPX należy się liczyć z występowaniem trzech źródeł zakłóceń pomiaru:

- a) hałas powodowany przez wiatr opływający przyczepę pomiarową i dźwięk z pojazdu ciągnącego,
- b) hałas w tle pochodzący z niepowiązanych źródeł, takich jak przejeżdżające pojazdy i odbicia od obiektów przy drodze,
- c) niepożądane odbicia od części układu, takie jak niedostatecznie absorbujące obudowy i części układów zawieszenia przyczepy.

Pojazd musi spełniać wymagania określone w załączniku A normy PN-EN ISO 11819-2 .

3) Montaż

W pomiarach należy używać co najmniej dwóch mikrofonów. Oba obowiązkowe mikrofony muszą działać jednocześnie. Położenia mikrofonów obowiązkowych w warunkach statycznych względem badanej opony są następujące (patrz rysunek 1 i tabela 2).



Rysunek 1. Pozycje mikrofonów

Objaśnienia do rysunków:

- a płaszczyzna boczna nieugiętej opony
- b płaszczyzna boczna ugiętej opony
- d₁ - d₄ patrz Tab. 1
- h₁ - h₃ patrz Tab. 1
- 1 przedni obowiązkowy mikrofon
- 2 tylny obowiązkowy mikrofon
- 3 środkowy opcjonalny mikrofon
- 4 opcjonalny mikrofon przedni
- 5 tylny opcjonalny mikrofon
- 6 najbardziej wysunięty do tyłu opcjonalny mikrofon

Mikrofony	h ₂	h ₂	h ₃	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄
1, 2	0,10 m			0,20 m	0,20 m		
3	0,10 m			0,20 m	0,00 m		
4, 5		0,20 m				0,65 m	
6			0,15 m				0,80 m

Tabela. 1 Pozycje mikrofonów

Wszystkie pomiary odnoszą się do środka membrany mikrofonu. Zaleca się, aby "przedni" mikrofon (1) został obrócony o kąt 45° w stosunku do kierunku toczenia, a "tylny" mikrofon (2) został obrócony o kąt 135° w kierunku toczenia, jak pokazano w Rys. 1. Jednakże, w przypadku systemów bez obudowy, może być korzystne zamontowanie mikrofonów równoległe do kierunku jazdy w celu zmniejszenia potencjalnego wpływu turbulencji powietrza.

Opcjonalne położenia pod kątem 0°, 90° i 180° względem kierunku obrotu, jak wskazano na Rys. 1, mogą być stosowane w przypadkach, w których użytkownik chce dokładniejszego odwzorowania kierunkowych właściwości hałasu generowanego na styku opony i drogi.

Rys. 1 pokazuje mikrofony po lewej stronie zespołu koła testowego. W zależności od konstrukcji badanego pojazdu, mikrofony mogą być również montowane po prawej stronie, ale mikrofony 1 i 4 powinny pozostać w pozycji przedniej.

Podczas montażu mikrofonów ważne jest upewnienie się, że mocowanie jest solidne, aby drgania w mikrofonach nie wpływały na pomiary.

Oponami referencyjnymi są opony testowe określone w celu przedstawienia określonych cech emisji dźwięku na styku opony i drogi, wybrane do użycia w metodzie CPX, z określonymi i powtarzalnymi standardowymi właściwościami.

Standardowymi oponami referencyjnymi są P1 i H1 określone w ISO/TS 11819-3. W zależności od celu pomiaru stosuje się jeden lub oba rodzaje opon. Opony inne niż referencyjne mogą być wykorzystywane w celu wykonania badań specjalnych. Opis opon alternatywnych należy włączyć do sprawozdania z badań.

Opona P1 klasyfikuje właściwości akustyczne nawierzchni dróg w sposób podobny do większości opon samochodów osobowych. Opona H1 klasyfikuje właściwości akustyczne w podobny sposób jak większość opon pojazdów ciężkich. W konsekwencji połączenie wyników pomiarów dla tych dwóch opon dobrze obrazuje, w jaki sposób na nawierzchnie dróg wpływa emisja hałasu w połączeniu lekkiego i ciężkiego ruchu samochodowego.

Opona P1: opona radialna dla stosunkowo dużych samochodów osobowych lub dostawczych, wyszczególniona w ASTM F2493: 2014, o kodzie wymiarowym P225/60R16 i określana jako standardowa referencyjna opona testowa (SRTT). Zarówno tekst "Standardowa referencyjna opona testowa", jak i kod wymiarowy P225/60R16 są wytłoczone na bocznej ścianie opony.

Opona H1: wzmocniona opona radialna do lekkich ciężarówek i samochodów dostawczych, wyprodukowana przez Cooper Tire & Rubber Co. w Wielkiej Brytanii pod nazwą "Supervan AV4", o kodzie wymiarowym 195R14C. Zarówno tekst "Avon Supervan AV4", jak i kod wymiarowy 195R14C są wytłoczone na bocznej ścianie opony. Supervan AV4 ma wzmocnioną konstrukcję szkieletu umożliwiającą przewóz ciężkich ładunków i ma bardzo wytrzymałą mieszankę gumową na ścianie bocznej.



Rysunek 2. Widok bieżnika opon referencyjnych, po lewej P1, po prawej H1
Początkowa głębokość rzeźby bieżnika mierzona w obwodowych rowkach musi wynosić:

- a) $(8,0 \pm 0,5)$ mm dla opony P1,
- b) $(10,0 \pm 0,5)$ mm dla opony H1.

Bieżniki opon muszą być oryginalnie formowane bez szlifowania bieżnika, z wyjątkiem przypadków spowodowanych przez normalne docieranie i bez jakichkolwiek napraw, które

zmieniają powierzchnię opony. Zużycie bieżnika powinno wynosić maksymalnie 1,0 mm w stosunku do początkowej głębokości bieżnika.

Opony bada się regularnie pod kątem uszkodzenia bieżnika i obecności ciał obcych w bieżniku. Odpryski lub inne zabrudzenia w bieżniku należy usunąć przed przeprowadzeniem badania i, w stosownych przypadkach, podczas badania. Jeżeli występuje wyraźnie zauważalne zużycie lub deformacja jakiegokolwiek części opony, należy zaprzestać jej użytkowania.

Twardość gumy mierzy się po dotarciu opony i co najmniej co trzy miesiące w okresie, w którym są wykorzystywane do pomiarów. Pomiar przeprowadza się w temperaturze $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ za pomocą twardościomierza typu A, stosując procedurę opisaną w załączniku A normy ISO/TS 11819-3. Wartości twardości gumy H_A (wyrażone w jednostkach "Shore A") mieszczą się w zakresie:

- a) od 62 do 73 w przypadku opony P1,
- b) od 60 do 73 dla opony H1.

Opony powinny być docierane na drogach lub torze testowym przez co najmniej 400 km przed pierwszym użyciem. Docieranie powinno odbywać się z takim samym obrotem opony, jak opona będzie się obracać podczas badania. Jeżeli docieranie odbywa się z oponami zamontowanymi na pojeździe z napędem na cztery koła, odległość jest zredukowana do minimum 200 km (ze względu na trudniejsze warunki operacyjne dla opony używanej w tego typu pojeździe).

Twardość gumy opony wpływa na emisję hałasu. Wobec tego wprowadzono korektę związaną z tym czynnikiem. Korektę twardości gumy należy przeprowadzić w następujący sposób.

Każdy zmierzony poziom CPX (L_{CPX}) zgodnie z ISO 11819-2 należy skorygować za pomocą współczynnika $C_{HA,t}$ (w dB), stosując wzór (1):

$$C_{HA,t} = \beta_t (H_A - H_{ref}) \quad (1)$$

gdzie:

β_t - jest współczynnikiem twardości gumy dla opony t, w dB/Shore A;

H_A - oznacza zmierzoną twardość gumy, w Shore A;

H_{ref} - jest referencyjną twardością kauczuku = 66 Shore A;

$C_{HA,t}$ - to korekta poziomu CPX dla twardości gumy (H_A) dla opony t, w dB.

Aby zrekomensować wpływ twardości gumy, współczynnik korygujący β_t , jak określono w ISO 11819-2, oparty na twardości Shore'a o twardości referencyjnej wynoszącej 66 Shore A, powinien wyglądać następująco:

- Opona P1: $\beta_{P1} = 0,20$ dB/Shore A
- Opona H1: $\beta_{H1} = 0,20$ dB/Shore A

Opony wykorzystywane w badaniach montuje się w pojeździe testowym tak, aby był przestrzegany wskazany kierunek obrotu, lub ścianka boczna opony z pełnym znakiem DOT (w tym numer tygodnia produkcji/rok) była od strony mikrofonów.

Po wybraniu sposobu mocowania opony, opony powinny być montowane w ten sposób przez cały czas ich używania jako opon referencyjnych do tego celu. Więcej informacji dotyczących opon referencyjnych można uzyskać z normy ISO/TS 11819-3.

5. Procedura wykonywania pomiarów CPX

Podczas wykonywania pomiaru CPX istnieje szereg praktycznych ograniczeń, które określają minimalne wymagania dla odcinka drogi. Można je podsumować w następujący sposób:

- a) dojazd do badanego odcinka drogi powinien mieć długość wystarczającą do osiągnięcia założonej prędkości referencyjnej przed dotarciem do odcinka drogi. Minimum 10 m nawierzchni przed odcinkiem badanym musi mieć nawierzchnię tego samego typu,
- b) odcinek drogi, na którym jest wykonywany pomiar musi mieć długość co najmniej 20 m, a najlepiej więcej niż 100 m,
- c) pomiarów nie wykonuje się na łukach poziomych drogi o promieniu mniejszym niż 250 m przy prędkości 50 km/h i 500 m przy prędkości 80 km/h,
- d) powierzchnia odcinka drogi w odległości 0,5 m od powierzchni bocznej opony (od strony mikrofonu), musi być taka sama, jak w torze kół lub mieć podobną charakterystykę impedancji akustycznej,
- e) jeżeli pomiary są wykonywane przy użyciu pojazdu badawczego bez obudowy, te części odcinka drogi, na których występują powierzchnie odbijające w odległości 2 m od mikrofonu, są wykluczone z oceny. Dotyczy to barier ochronnych, barier Jersey lub innych barier lub nasypów, skał, zaparkowanych pojazdów, mostów i budynków. W przypadkach, w których pojazd badany ma obudowę zgodną z wymogami załącznika A normy PN-EN ISO 11819-2, wymienione ograniczenia nie występują.

Zaleca się, aby nie wykonywać pomiarów gdy prędkość wiatru przekracza 5 m/s (na wysokości mikrofonu) w przypadku urządzeń bez obudowy. W przypadku przyczep z obudową dopuszczalna prędkość wiatru wynosi 10 m/s.

Pomiary przeprowadza się tylko wtedy, gdy nawierzchnia drogi jest sucha, a temperatura powietrza mieści się w zakresie reprezentatywnym dla strefy klimatycznej:

- a) umiarkowane i kontynentalne: 5°C do 30°C,

b) tropikalny i subtropikalny: 10°C do 35°C.

Można założyć, że powierzchnie są wystarczająco suche, jeśli zostaną zastosowane minimalne okresy osuszania drogi po opadach, podane w Tab. 2.

Typ nawierzchni	Zalecany okres czasu	Uwagi
Nawierzchnie o strukturze zamkniętej, nieprzepuszczalnej, np. beton asfaltowy, beton cementowy	Bez wymagań	Ocena wizualna
Nawierzchnie o znacznej teksturze, np. SMA, cienkie warstwy ścieralne	3h	Ocena wizualna
Nawierzchnie porowate	24 – 48 h	Niższa wartość jest akceptowalna tylko w przypadku nasłonecznienia w ciągu dnia i znacznego ruchu powietrza nad powierzchnią przez wiatr lub ruch drogowy, w wiosennej lub letniej porze roku (długi czas operowania słońca)

Tabela 2. Zalecane okresy czasu na osuszenie nawierzchni przed pomiarami

Pozycja mikrofonu musi być regularnie sprawdzana, np. za każdym razem, gdy zmienia się oponę testową lub gdy dokonywana jest kalibracja akustyczna. W przypadku stosowania pojazdu badawczego z własnym zasilaniem należy sprawdzić położenie mikrofonów w typowych warunkach działania, tj. z kierowcą i ewentualnymi operatorami na pokładzie oraz z typową ilością paliwa w zbiorniku itp.

Przed przystąpieniem do jakichkolwiek standardowych pomiarów opony należy doprowadzić do normalnej temperatury roboczej. Można to osiągnąć przez prowadzenie pojazdu testowego przez co najmniej 15 minut w celu rozgrzania reprezentatywnego dla prędkości odniesienia do 80 km/h i co najmniej 10 minut przy wyższych prędkościach odniesienia.

Badane opony sprawdza się regularnie pod kątem uszkodzenia bieżnika i obecności ciał obcych w bieżniku. Odpryski lub inne zabrudzenia w bieżniku należy usunąć przed przeprowadzeniem badania i w stosownych przypadkach podczas badania.

Poziom dźwięku ważony filtrem A określony dla pasm tercjowych o częstotliwościach środkowych w zakresie od 315 Hz do 5 000 Hz ustala się dla każdej pozycji mikrofonu, uśredniając każdy odcinek drogi o długości 20 m. Stanowi to podstawę dla wszystkich dalszych ocen. Konieczne jest mierzenie widm częstotliwości w paśmie jednej trzeciej oktawy. Nie jest wymagany oddzielny pomiar całkowitego SPL.

Uśredniony w czasie SPL dla pojedynczego pasma o jednej trzeciej oktawy z częstotliwością środkową f mierzona przy pozycji mikrofonu m przy śladzie koła w dla

odcinka drogi o indeksie **i** w przejeździe **r** przy użyciu opony **t** i mierzonej przy prędkości odniesienia **v_{ref}** jest oznaczony jako: $L_{CPX}: t, w, r, i, f, m, v_{ref}$.

Po wyeliminowaniu segmentów dróg, na których wymagania testowe nie są spełnione (np. z powodu hałasu tła lub zbyt dużej różnicy prędkości, odcinek drogi uznaje się za właściwie zmierzony, tzn. przejazd dopuszczalny, jeżeli co najmniej w połowie segmentów dróg, z rozsądnym rozkładem na całej sekcji, zostały zmierzone w akceptowalnych warunkach. Jednakże nie mniej niż pięć takich segmentów musi być prawidłowo zmierzonych.

Dla każdego warunku badania (odcinek, segment, tor przejazdu, ...) należy wykonać co najmniej dwie serie w jednym lub obu śladach kół. Jeżeli poziomy hałas CPX uzyskane podczas kolejnych przejazdów dla danych warunków badania różnią się o więcej niż 0,5 dB, należy wykonać co najmniej dwa dodatkowe przejazdy testowe. Końcowy wynik jest obliczany jako średnia arytmetyczna wszystkich testów.

W przypadku równoczesnych pomiarów tego samego rodzaju opony w obu śladach kół urządzeniem z dwoma kołami testowymi, jeżeli różnica między wartościami w obu torach przekracza 0,5 dB, możliwe, że nie oznacza to błędnego pomiaru, lecz raczej systematyczne różnice związane z technologią lub zużyciem nawierzchni.

Prędkości mogą czasami odbiegać od zakładanych z powodu ograniczeń narzuconych przez inne pojazdy w ruchu. Należy wówczas odrzucić dane zebrane przy nienormalnych prędkościach.

Sekcja drogi składa się z kilku odcinków drogi (zwykle co najmniej pięciu). Jeżeli dostępna sekcja testowa ma tylko 20 m do 100 m (plus odcinek rozbiegowy), można wykonywać pomiary, ale liczba przejazdów powinna być wystarczająca do uzyskania całkowitej zmierzonej długości wynoszącej co najmniej 200 m. Informację o liczbie takich powtarzających się przejazdów i długość każdego z nich należy zamieścić w protokole z badań.

Standardowo, pomiary należy wykonywać w linii odpowiadającej jednej lub obu kolein (w śladzie kół pojazdów). Wybór toru pomiarowego (jeśli wybrano tylko jeden) może być podyktowany zachowaniem odpowiednich warunków bezpieczeństwa jazdy samochodem. Informację o wybranym torze pomiarowych zapisuje się w protokole z badań.

Do innych celów, np. oceny niejednorodności powierzchni w przekroju poprzecznym, pomiary mogą być dokonywane w innych torach pomiarowych.

Segmenty drogi, na których poziomy hałas są uważane za zakłócone lub potencjalnie zaburzone, należy oznakować do późniejszego przetworzenia lub odrzucić natychmiast, stosownie do przypadku.

Zalecane prędkości odniesienia wynoszą 50 km/h, 80 km/h i 110 km/h. Rzeczywistą prędkość (prędkości) odniesienia należy zawsze zanotować w protokole z badań. Dla każdego odcinka drogi prędkość badawcza jest średnią prędkością pojazdu.

Rzeczywista prędkość badawcza na każdym segmencie drogi nie może odbiegać od prędkości odniesienia o więcej niż $\pm 15\%$. Ponadto średnia prędkość we wszystkich przejazdach i na przebadanym odcinku drogi dla danej opony powinna się mieścić w granicach $\pm 5\%$ prędkości odniesienia. Należy dokonać korekty zmierzonego poziomu ciśnienia akustycznego, aby dostosować go do prędkości odniesienia.

W celu uniknięcia hałasu zakłócającego, zwłaszcza w przypadku napędzanych samodzielnie pojazdów testowych, zaleca się stosowanie najwyższego biegu, przy którym pojazd i jego regulacja prędkości działają dobrze.

Statyczne obciążenie koła pomiarowego powinno wynosić $3200\text{ N} \pm (200\text{ N})$.

Opona (-y) badana (-e) powinna być napompowana do ciśnienia $200\text{ kPa} \pm 10\text{ kPa}$, w stanie zimnym. Stan zimny występuje, gdy temperatura opony jest zbliżona do temperatury otoczenia, tj. opona nie została jeszcze znacznie rozgrzana podczas jazdy. Jeżeli ciśnienie musi zostać istotnie zmienione, aby uzyskać tę wartość, wówczas drugą kontrolę ciśnienia należy przeprowadzona po około 2 minutach (z oponą w stanie spoczynku).

Korzystne jest stosowanie azotu do pompowania opon testowych. Wykorzystanie tego gazu powoduje wolniejszą zmianę właściwości mieszanki gumowej opony niż przy użyciu powietrza, a zmiana ciśnienia w trakcie procesu rozgrzewania jest zwykle niższa niż w przypadku stosowania powietrza o pewnej wilgotności. Innym dobrym wyborem gazu napełniającego jest suche powietrze, ponieważ wilgotność powietrza wpływa na stabilność ciśnienia. Jeśli nie zastosowano azotu ani suchego powietrza, można wykorzystać zwykłe powietrze.

Obciążenie i wartości ciśnienia mają zastosowanie wyłącznie do opon referencyjnych P1 i H1. W przypadku zastosowania innych opon ciśnienie może być inaczej dostosowane do ładunku.

Pomiary temperatury powietrza są obowiązkowe, a pomiary temperatury powierzchni drogi są zalecane jako uzupełniające. Pomiary temperatury przeprowadza się w czasie zbliżonym do pomiaru dźwięku, w sposób ciągły lub z przerwami, a wynik podaje się w zaokrągleniu do najbliższego stopnia Celsjusza. Jeśli to możliwe, zaleca się ciągłe pomiary temperatury i w synchronizacji z pomiarami poziomu CPX, tj. dla każdego segmentu drogi i indeksowane w ten sam sposób.

Jeżeli pomiary temperatury są dokonywane z przerwami, każdy pomiar temperatury powinien trwać dostatecznie długo, aby uzyskać stabilny odczyt przyrządu. Temperaturę należy mierzyć co najmniej raz dla każdego odcinka drogi w miejscu reprezentatywnym dla tej sekcji. Korzystne jest instalowanie czujników temperatury na pojeździe badawczym. Jeżeli nie jest to możliwe, temperaturę należy mierzyć na poboczu tak blisko drogi, jak to możliwe i bezpieczne.

Czujnik temperatury należy umieścić w taki sposób, aby był poddany przepływowi powietrza i chroniony przed bezpośrednim promieniowaniem słonecznym, np. przez zastosowanie ekranu zacieniającego. Czujnik należy umieścić na wysokości 0,5 m do 1,5 m nad poziomem powierzchni drogi.

6. Procedura obliczania poziomów L_{CPX}

Podstawowe wyniki badań: $L_{CPX:t}$, v_{ref} , $L_{CPX:P}$, $L_{CPX:H}$ i $L_{CPX:I}$ uzyskuje się tylko w przypadku używania opon referencyjnych. Otrzymane poziomy $L_{CPX:P}$, $L_{CPX:H}$ oblicza się na podstawie indywidualnych zmierzonych danych $L_{CPX:t}$, w , r , i , f , m v_{ref} .

Procedura obliczeniowa jest następująca:

- a) dla każdego pasma tercjowego należy uśrednić poziomy dla przednich i tylnych mikrofonów (mikrofony 1 i 2 na Rys. 1), wg wzoru:

$$L'_{CPX:t, w, r, i, f} = 10 \cdot \lg[0,5(10^{0,1(L_{CPX:t, w, r, i, f, 1})} + (10^{0,1(L_{CPX:t, w, r, i, f, 2})})] \quad (2)$$

- b) zastosować korektę zależną od urządzenia, uwzględniając odbicia dźwięku $C_{d, f}$,
- c) obliczyć całkowite poziomy dźwięku bazując na poziomach tercjowych dla pasm od 315 Hz do 5 000 Hz ,
- d) zastosować korektę prędkości dla odchyień od prędkości odniesienia B, która wynosi:

B = 25 dla nowych nawierzchni porowatej lub starszych, ale bez poważnego zanieczyszczenia (zapchania porów),

B = 30 dla nawierzchni porowatych lecz zanieczyszczonych lub nawierzchni o strukturze zamkniętej (np. z betonu asfaltowego),

B = 35 dla (nieporowatej) nawierzchni z betonu cementowego,

B = 30 dla wszystkich pozostałych przypadków, w których typ nawierzchni nie jest nieznan.

Aby rozróżnić przypadki, można uznać nawierzchnię za "porowatą" (i nie zatkana), jeśli pory powietrzne są $\geq 18\%$. Jeśli puste przestrzenie powietrzne są nieznanne lub trudne do oszacowania, wybierz B = 30.

- e) zastosować współczynniki temperaturowe γ_t dla odchyień od temperatury odniesienia. Współczynniki dla opony P1 i opony H1 określono w normie ISO/TS 13471-1, w przypadku innych opon współczynniki będą musiały zostać określone po wybraniu opon. Należy pamiętać, że wpływ ten może często wynosić nawet -1 dB przy zmianie temperatury powietrza o 10°C. W związku z tym mogą wystąpić poważne błędy, jeśli nie zostanie zastosowana żadna korekta. Według wersji normy ISO/TS 13471-1 z 2017 roku korektę temperaturową wyznacza się ze wzorów:

$$C_{T, t} = - \gamma_t (T - T_{ref}) \quad (3)$$

gdzie:

$C_{T, t}$ korekta temperaturowa, dBa,

γ_t współczynnik korekty temperaturowej, dB/°C,

T temperatura powietrza podczas pomiaru, °C,

T_{ref} temperatura referencyjna, wynosząca 20°C.

Współczynnik temperaturowy γ_t przyjmuje się w zależności od rodzaju nawierzchni, na której są wykonywane badania:

$\gamma_{P1} = \gamma_{H1} = -0,14 + 0,0006v$ dla nawierzchni zamkniętych, np. SMA,

$\gamma_{P1} = \gamma_{H1} = -0,10 + 0,0004v$ dla nawierzchni z betonu cementowego,

$\gamma_{P1} = \gamma_{H1} = -0,08 + 0,0004v$ dla nawierzchni porowatych,

- f) zastosować korektę ze względu na twardość gumy opon referencyjnych na podstawie współczynnika twardości β_t . Współczynnik β_t został określony w normie ISO/TS 11819-3. Sposób wyznaczenia korekty, według wersji normy z 2017 roku przedstawiono wcześniej, w rozdziale 4, punkt c),
- g) łączyć korekty ze względu na zmiany prędkości, temperatury oraz twardości gumy zastosowanych opon (punkty d), e), f)) wyrażają się wzorem:

$$L_{CPX:t, w, r, i, f, v_{ref}} = L'_{CPX:t, w, r, i, f} + C_{d, f} - B \cdot \lg(v_{t, w, r, j} / v_{ref}) - \gamma_t (T - 20) - \beta_t (H_A - H_{ref}) \quad (4)$$

- h) należy odrzucić segmenty dróg, na których poziom hałasu jest w oczywisty sposób zakłócony przez podmuchy wiatru lub hałas z innych źródeł, takich jak przejeżdżające pojazdy,
- i) obliczyć średnią arytmetyczną dla pozytywnie zweryfikowanych segmentów drogi,
- j) obliczyć średnią arytmetyczną ze wszystkich przejazdów w danym torze pomiarowym, przy określonej prędkości i danej oponie testowej, w celu określenia poziomów CPX (L_{CPX}),
- k) obliczyć wskaźniki $L_{CPX: P}$, $L_{CPX: H}$ lub $L_{CPX: I}$, na podstawie wyników uzyskanych przy zastosowaniu poszczególnych opon referencyjnych P1 i H1 oraz wybranej prędkości odniesienia. Aby uzyskać łączny (ogólny) poziom wpływu nawierzchni drogi na hałas drogowy, można obliczyć indeks CPX ($L_{CPX: I}$) dla prędkości v_{ref} według wzoru:

$$L_{CPX: I, v_{ref}} = 0,50L_{CPX: P, v_{ref}} + 0,50L_{CPX: H, v_{ref}} \quad (5)$$

7. Elementy sprawozdania

Sprawozdanie z pomiarów powinno zawierać następujące dane:

- a) data i czas przeprowadzenia pomiarów,
- b) firma i operatorzy wykonujący pomiary,
- c) cel realizacji pomiarów,
- d) informacje o sprzęcie pomiarowym (pojazd badawczy, opony testowe, rodzaj kalibratora i miernika poziomu dźwięku, sprzęt do danych meteorologicznych, pozycje mikrofonów),
- e) informacje o certyfikacji sprzętu pomiarowego w postaci odwołania do źródła (dokumentów z wynikami badań, zgodnie z Załącznikiem A do normy PN-EN ISO 11819-2),
- f) lokalizacja odcinka pomiarowego (pozycja koła testowego w stosunku do śladu kół na nawierzchni, początek i koniec odcinka, ew. współrzędne geograficzne początku i końca odcinka),
- g) informacje dotyczące badanej nawierzchni (zalecane jest podawanie wszelkich dostępnych danych, np.: typ, wielkość kruszywa, grubość warstwy ścieralnej, zawartość wolnych przestrzeni, współczynnik pochłaniania dźwięku, zdjęcie powierzchni),
- h) średnia głębokość profilu (MPD), jeśli jest dostępna,
- i) specyfikacja techniczna warstwy ścieralnej, jeśli jest dostępna,
- j) wiek warstwy ścieralnej i stan utrzymania, jeśli jest dostępny,
- k) informacje o dodatkowych zabiegach, którym została poddana nawierzchnia,
- l) informacje o jednorodności nawierzchni,
- m) informacje o liczbie dni od ostatniego opadu (dotyczy tylko nawierzchni porowatych),
- n) średnia temperatura powietrza, opcjonalnie - średnia temperatura powierzchni drogi,
- o) zastosowane opony, ich identyfikatory i data produkcji,
- p) twardość gumy opon testowych,
- q) liczba przejazdów w celu określenia L_{CPX} ,
- r) prędkość referencyjna,
- s) średnia prędkość uzyskana dla odcinka testowego,
- t) wartości L_{CPX} uzyskane dla każdej opony testowej i prędkości referencyjnej, po skorygowaniu o poprawkę temperaturową,
- u) wartości $L_{CPX: I v_{ref}}$ (opcjonalnie),
- v) współczynnik prędkości B stosowany do korekcji prędkości,
- w) inne informacje uznane za istotne.

8. Dokładność

Jako podstawowe źródła niepewności pomiarów w metodzie CPX należy wskazać:

- x) niepewność wynikającą z różnic w procedurze pomiarowej (zmiany prędkości, niestabilność systemu pomiarowego w czasie, nieprawidłowy tor jazdy),
- y) niepewność związaną ze sprzętem do pomiaru dźwięku i prędkości,
- z) niepewność związaną z odmiennymi warunkami środowiskowymi,
- aa) niepewność związaną z hałasem w tle, pochodzącym ze źródeł zewnętrznych,
- bb) niepewność związaną z niepożądanymi dźwiękami pochodzącymi ze strony pojazdu badawczego i pojazdu ciągnącego,
- cc) niepewność związaną z wybraną oponą pomiarową.

Analiza budżetu niepewności daje łączną standardową niepewność na poziomie 0,5 dB. Szacowana rozszerzona niepewność pomiarowa wynosi 0,7 dB przy współczynniku rozszerzenia $k = 1,3$ oraz prawdopodobieństwie ok. 80% oraz 1,0 dB przy współczynniku rozszerzenia $k = 2,0$ oraz prawdopodobieństwie ok. 95%.

9. Bibliografia

W celu uzyskania więcej informacji dotyczących metody CPX, podano poniżej wykaz przydatnych publikacji (za normą PN-EN ISO 11819-2:2017-06).

Conter M. *Proposal for a draft European standard on the characterisation of the acoustic properties of road surfaces*. ROSANNE Deliverable 2.4, 2016 <http://rosanne-project.eu/M+P>; TÜV Automotive (2000-I). *International CPX validation test ISO/TC43/SC1/WG33 1998–2000*. By M+P Raadgevende ingenieurs bv ('s Hertogenbosch, Netherlands) and TÜV Automotive GmbH (Herzogenrath, Germany). Compilation of Final Report and data files, on CDROM May 2000

M+P; TÜV Automotive (2000-II). *International CPX validation test ISO/TC43/SC1/WG33 1998-2000 — Summary report*. By M+P Raadgevende ingenieurs bv ('s Hertogenbosch, Netherlands) and TÜV Automotive GmbH (Herzogenrath, Germany). M+P/TÜV report ISO.95.1.1, May 2000

Sandberg U., & Ejsmont J.A. Keeping reference tyres and other tyres stable with respect tonoise emission. Proc. Euro-Noise, Edinburgh, 2009

Hung W.T., Lam Y.K., Leung C.K.R., Ng C.F. Which is a better metric — road or air temperature in assessing temperature effects on tyre/road noise? Proc. of Acoustics, Hong Kong, 2012

Sandberg U., Glaeser K.P., Ejsmont J.A., Schwalbe G. *The influence of tyre wear and ageing on tyre/road noise emission and rolling resistance*. Report C.D6 of the SILENCE project, 2009. Available at (viewed 2016-04-06): www.fehrl.org/index.php?m=32&mode=download&idfile=6134

Phillips S.M., & Abbott P.G. Factors affecting statistical pass-by measurements. *Proc. Inter-Noise 2001*, The Hague, 2001, pp. 2031–6

Anfosso-Lédée F., & Pichaud Y. Acoustic monitoring of a road network: investigation of the ageing effect of thin layer asphalt. *6th Symp. Pavement Surface Characteristics SURF2008*, PIARC, Portoroz, 2008

Sandberg U. Noise emission influence of road surfaces, as measured with the statistical passby and close-proximity methods, using different vehicle classes and different tyres. *Proc. of the Tyre/road Noise Seminar*, 1997, Gdansk. VTI Konferens 8A, Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), Linköping, Sweden

Ronneberger D., & Preuss C. Optimum positions of microphones in trailers. *Proc. of the International Tire/road Noise Conference*, 1990, Gothenburg. STU Information No. 794–1990, Stockholm: Swedish National Board for Industrial and Technical Development. Available from the Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), Linköping, Sweden

de Roo F., Telman J., van Blokland G., van Leeuwen H., Reubsaet J., van Vliet W.-J. Uncertainty of close proximity (CPX) tyre road noise measurements — Round robin test results. Paper No. 281, *Proceedings of NAG-DAGA 2009*, Rotterdam

Nord 2000 (2006): Acoustic Source Modelling of Nordic Road Vehicles. By Hans Jonasson, SP Swedish National Testing and Research Institute, SP Report 2006:12, Borås, Sweden. ISBN 91-85303-96-8 ISSN 0284-5172

Jonasson H. Source modelling of road vehicles. Deliverable 9 of the Harmonoise project, HARMONOISE Technical Report HAR11TR-020614-SP09v8, SP, Boras, Sweden (www.sp.se/en/Sidor/default.aspx)

Sandberg U. The concept of virtual reference pavement for noise prediction and comparison purposes. *Proc. of Inter-Noise*, Honolulu, 2006

Anon. COMMISSION DIRECTIVE (EU) 2015/996 of 19 May 2015 establishing common noise assessment methods according to Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*, L 168/1, 1.7.2015

Anfosso-Lédée F., & Kragh J. Wind noise influence on close-proximity tyre/road noise measurements with uncovered systems. *Inter-Noise*. 2013 September, **2013** pp. 15–18 [Innsbruck]

Bühlmann E., & van Blokland G.J. Temperature effects on tyre/road-noise – A review of empirical research. *Proc of Forum Acusticum*, 7–12 September 2014, Krakow

ECE. Uniform provisions concerning the approval of tyres with regard to rolling sound emissions and/or to adhesion on wet surfaces and/or to rolling resistance. Regulation 117, E/ECE/324/Rev.2/Add.116/Rev.3–E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.116/Rev.3, 24 February 2014, United Nations, ECE, Geneva

Lam Y.K., Leung R.C.K., Hung W.T. Impact of Microphone Vibration on Tyre/road Noise Measurement with Close-Proximity (CPX) Method. *Proceedings of the 5th Cross-strait Many Cities Symposium on Acoustics*, 23–24 November, 2012, Hong Kong, pp. 143–7

ISO 3911, *Wheels and rims for pneumatic tyres – Vocabulary, designation and marking*

ISO 10844, *Acoustics – Specification of test tracks for measuring noise emitted by road vehicles and their tyres*

ISO 13472-1, *Acoustics – Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ Part 1: Extended surface method*

ISO 13473-1, *Characterization of pavement texture by use of surface profiles – Part 1: Determination of mean profile depth*

ISO 80000-2, *Quantities and units Part 2: Mathematical signs and symbols to be used in the natural sciences and technology*

XP S31-145-1, *Acoustique – Caractérisation in situ des performances acoustiques des revêtements de chaussées – Mesures du bruit de contact pneumatique/chaussée en continu Partie 1: Mesure d'expertise*